ПО «ИНТЕРСКАН» — НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ КОНТРОЛЯ СОЕДИНЕНИЙ ТРУБНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

СЕМЕРЕНКО Алексей Владимирович
Руководитель отдела средств НК, ООО «ПАНАТЕСТ», Москва

Сварные швы могут подвергаться большим нагрузкам и деформациям в зависимости от того, где используется объект контроля (ОК), поэтому контроль имеет решающее значение для обеспечения безопасности. В процессе сварки могут появляться такие дефекты, как трещины, несплавления, непровары, шлак, пористость, и со временем в результате нагрузки эти дефекты могут увеличиваться в размерах. Чтобы убедиться в том, что сварные швы пригодны для эксплуатации, необходимо провести тщательный неразрушающий контроль.

Одной из самых сложных задач для специалистов по неразрушающему контролю, требующей высокой квалификации и опыта как для проведения дефектоскопии, так и для интерпретации результатов контроля, является дефектоскопия сварных швов трубных соединений: приварка штуцеров, патрубков, бобышек, люков к криволинейному основанию, сварные тройники и т.д. (рис. 1).

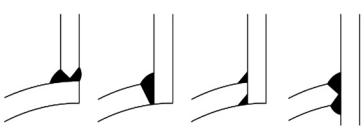


Рис. 1. Варианты сварки трубных элементов

При обнаружении и оценке дефектов необходимо учитывать тип патрубка, сложность конструкции, включая переменную кривизну поверхности основания, тип сварного шва, величины усиления или катета шва, материал изделия, толщину стенок сварного соединения, характер и расположение возможных дефектов. Наряду с этим могут возникать серьезные проблемы с доступом к месту контроля, часто приводящие к появлению зон с ограниченным доступом или только с односторонним доступом.

Для успешного проведения ультразвукового контроля указанных соединений необходимо учитывать все перечисленные факторы. В противном случае можно спутать мешающие (ложные) сигналы с сигналами от дефекта, и наоборот. В результате — неправильная диагностика, аварийная ситуация или неоправданный ремонт. Ложные эхосигналы могут быть образованы неровностями поверхности, конструктивными особенностями и т.д. (рис. 2).

Согласно нормативным документам [1, 2] угловые и тавровые соединения цилиндрических сосудов, аппаратов и днищ с толщиной стенки до 60 мм следует контролировать по наружной или внутренней поверхности корпуса прямым или однократно отраженным лучом, преобразователь при этом перемещают вокруг патрубка. Допускается проводить контроль по внутренней поверхности корпуса.

Контроль по поверхности патрубка (штуцера, люка и т.д.) применяется в тех случаях, когда невозможно выполнить контроль по поверхности

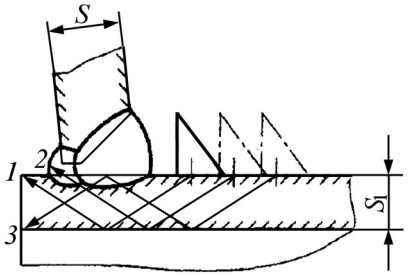


Рис. 2. Элементы конструкции, дающие ложные сигналы: 1, 3 — лучи, отраженные от углов патрубка; 2 — луч, отраженный от поверхности валика усиления

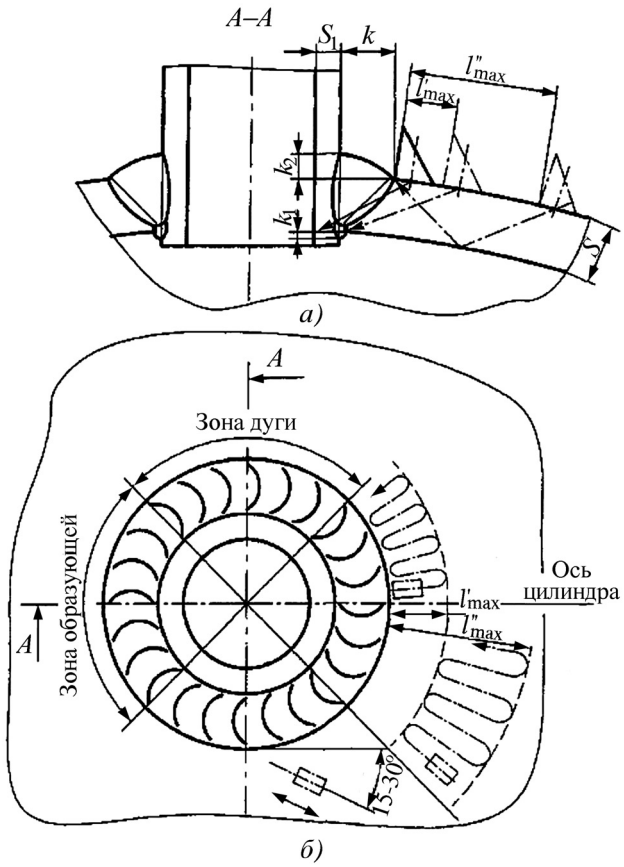


Рис. 3. Схема контроля сварных соединений прямым и однократно отраженным лучами по поверхности корпуса при малых радиусах кривизны корпуса:
а — схема прозвучивания; б — схема сканирования

корпуса из-за конструктивных особенностей сварного соединения.

При сканировании по наружной или внутренней цилиндрической поверхности радиусом менее 400 мм для надежного акустического контакта рабочая часть призмы наклонного преобразователя должна соответствовать поверхности изделия, т.е. притираться.

Контроль по наружной поверхности основания при диаметрах от 400 до 800 мм из-за переменной кривизны поверхности осуществляется по четырем секторам с углом 90° (рис. 3, *б*):

– в зонах образующей цилиндрической поверхности (два сектора);
– в зонах дуги цилиндрической поверхности (два сектора).

Контроль рекомендуется проводить в два приема: нижнюю (корневую) часть шва контролировать прямым лучом, среднюю и верхнюю — однократно отраженным лучом (рис. 3, *а*).

Параметры преобразователей выбирают по табл. №3 из инструкции [2] в зависимости от толщины стенки и диаметра свариваемых элементов.

Максимальная протяженность зоны перемещения пьезоэлектрического преобразователя (ПЭП) при контроле по криволинейной поверхности радиусом кривизны от 200 до 750 мм рассчитывается по формуле [1]

$$L_{max}=\frac{2\pi R}{180}(m+1)\arcsin\frac{\sin\alpha[R\cos\alpha-\sqrt{(R-s)^2-R^2\sin^2\alpha}]}{R-s}, \quad (1)$$

где R — радиус основания; s — толщина стенки; α — угол ввода; m — число отражений ультразвукового луча от поверхности.

Контроль по внутренней поверхности патрубка проводят при внутреннем диаметре патрубка не менее 100 мм в два приема: преобразователем с углом ввода ультразвукового луча 39, 50 или 65° прямым лучом за два прохода (с разворотом преобразователя на 180°). Сканирование проводят вдоль образующей цилиндра с шагом перемещения в кольцевом направлении 4 – 6 мм (рис. 4).

Протяженность зоны перемещения преобразователя следует определять по формуле [1]

$$L_{max}\approx S+K_1+K_2, \quad (2)$$

где S – толщина стенки патрубка; K_1 — катет шва, прилегающего к патрубку внутри корпуса; K_2 — катет шва, прилегающего к патрубку снаружи корпуса.

Контролю по наружной поверхности патрубка подвергаются соединения в тех случаях, когда невозможно выполнить контроль по поверхности

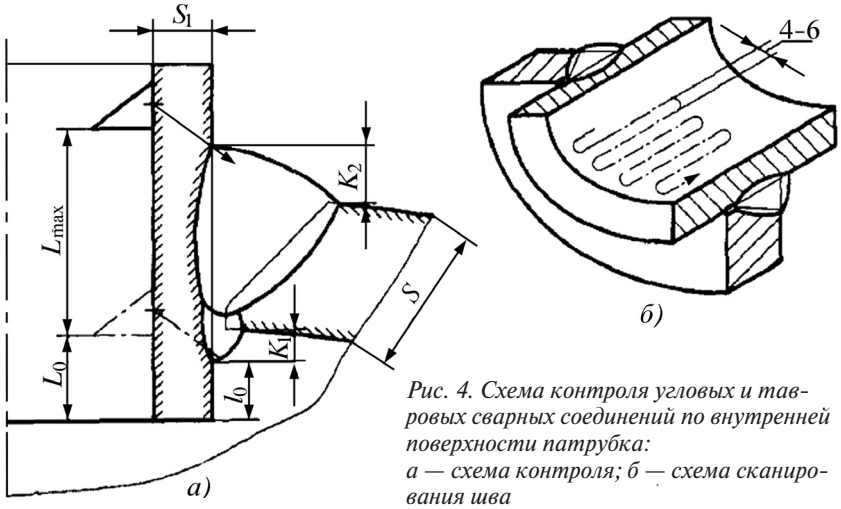


Рис. 4. Схема контроля угловых и тавровых сварных соединений по внутренней поверхности патрубка:
а — схема контроля; б — схема сканирования шва

корпуса. Контроль проводится однократно отраженным лучом за один проход. Преобразователь перемещают по поверхности патрубка вдоль его оси, совершая при этом возвратно-поступательные движения относительно линии шва с шагом 4 – 6 мм (рис. 5).

Протяженность зоны перемещения преобразователя определяется по формулам [1]:

$$L \approx L_{max} - L_0 \approx S + K_1 + K_2; \quad (3)$$

$$L_0 \approx 2S_1 \operatorname{tg}\alpha - (S + K_1 + K_2). \quad (4)$$

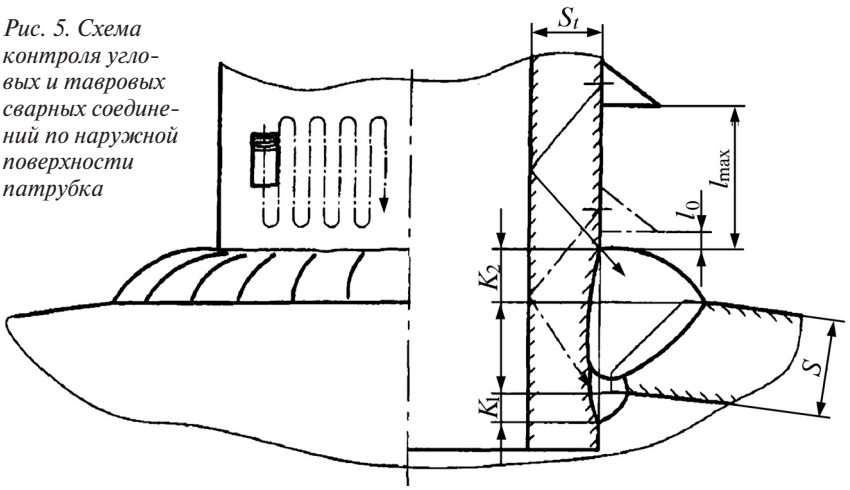


Рис. 5. Схема контроля угловых и тавровых сварных соединений по наружной поверхности патрубка

При обычных обстоятельствах специалисту приходится чертить профиль сварного шва, моделировать ход лучей вручную, рассчитывать по формулам (1)–(4) протяженность зон перемещения преобразователя по поверхности трубных элементов. Для некоторых конфигураций приварки патрубков могут потребоваться три и более диаграмм, чтобы охватить различные профили вокруг сварного шва.

Значительно упростить процедуру подготовки и контроля трубных сварных соединений поможет новая современная технология контроля. Технология включает в себя встроенное программное обеспечение (ПО) «ИНТЕРСКАН» (ИС), реализованное в ультразвуковом дефектоскопе с сенсорным дисплеем «Харфанг Вейф». ИС облегчает контроль сложных промышленных ОК и проведение обучения специалистов по контролю в учебных центрах.

Возможности ИС:

1) создание профиля ОК любой сложности на дисплее дефектоскопа (рис. 6);
2) построение пути центрального ультразвукового луча по созданному профилю;
3) наложение А-скана на путь луча в реальном времени.

На рис. 7 показан пример комбинированного отображения А-скана и ИС на дисплее дефектоскопа при контроле таврового сварного соединения.

Для демонстрации преимущества применения ИС рассмотрим контроль сварных швов соедине-

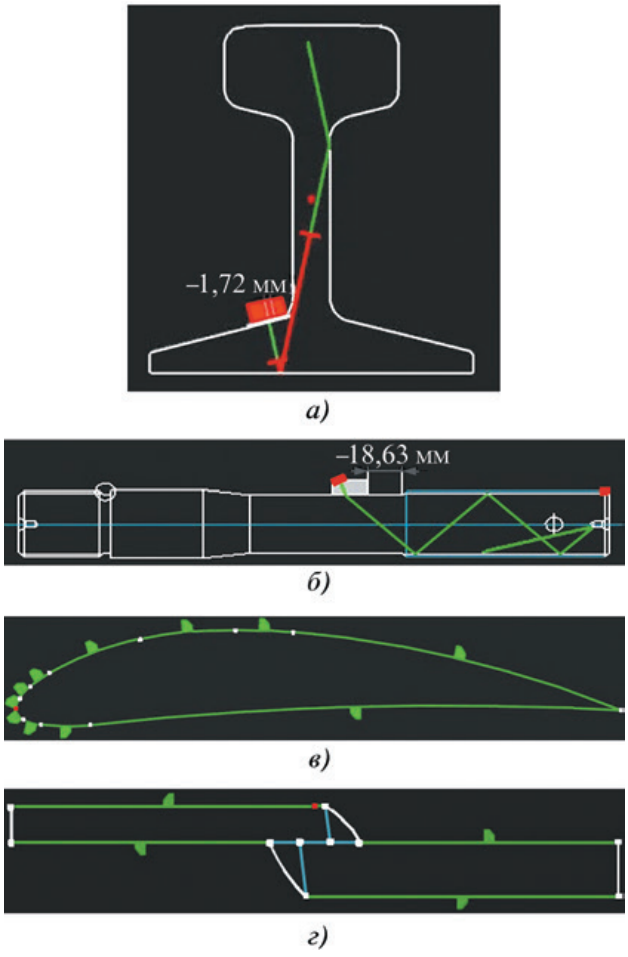


Рис. 6. Создание профилей: а – рельса; б – шпильки; в – крыла; г – нахлесточного сварного соединения

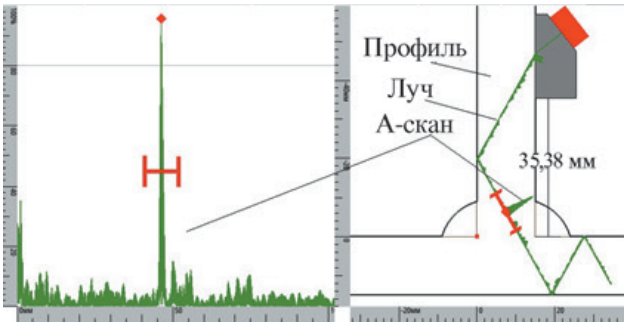


Рис. 7. Комбинированное отображение А-скана и ИС

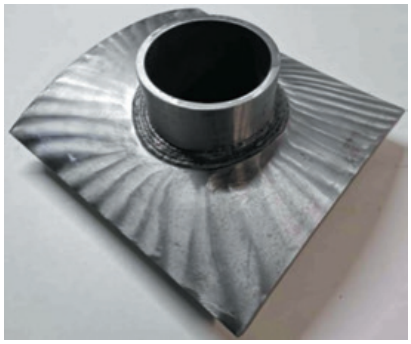


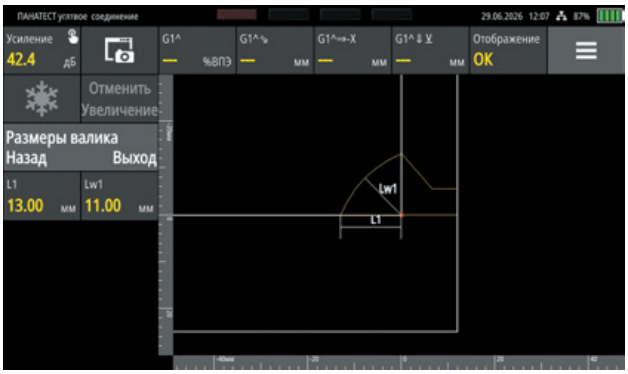
Рис. 8. Образец с трубным сварным соединением

ния трубных элементов на образце (рис. 8). Материал образца — углеродистая сталь. Основание: диаметр 450 мм, толщина стенки 25 мм. Патрубок: диаметр 200 мм, толщина стенки 12 мм.

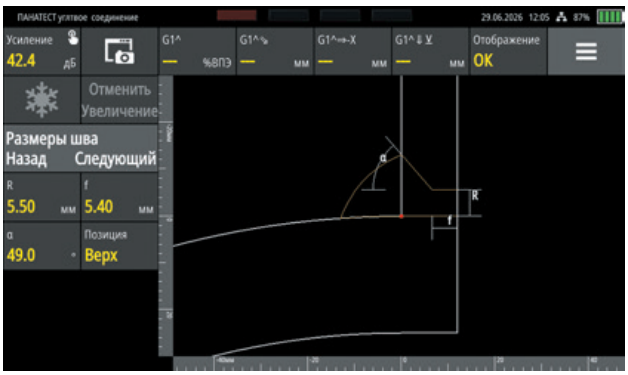
Образец имеет дефекты: непровар в корне шва, несплавление по кромке, пористость.

Для контроля используются наклонные преобразователи с частотой 4 МГц и углами ввода 45, 60 и 70°. Сканирование проводится по поверхностям основания и патрубка, чтобы обеспечить контроль всего сечения наплавленного металла.

Подготовка к контролю заключается в создании необходимого количества профилей трубного сварного соединения. Возможны два варианта решения этого вопроса.



а)



б)

Рис. 9. Построение профилей с помощью встроенного помощника:
а — профиль по образующей цилиндрической поверхности; б — профиль по дуге цилиндрической поверхности

Первый вариант — использовать встроенный помощник. Это позволяет создавать профили следующих сварных соединений:
- стыкового сварного соединения;
- углового сварного соединения, в том числе с криволинейным основанием;
- таврового сварного соединения;
- продольного трубного сварного шва.

Этот вариант проще, но для данного случая поможет создать только два профиля (рис. 9) для сканирования по четырем секторам (см. рис. 3), что может оказаться недостаточным.

Второй вариант — использовать графическую программу AutoCAD и интерфейсную программу «Компаньон». Этот вариант дает возможность создать неограниченное количество профилей, что при контроле определит более точную локализацию дефектов на профиле.

Выберем второй вариант и разобьем поверхность основания на восемь секторов сканирования (рис. 10).

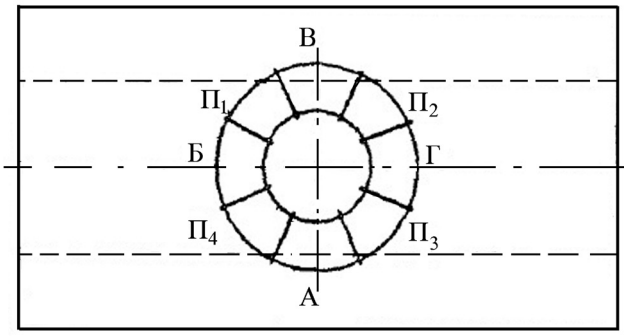


Рис. 10. Разбивка сварного соединения на секторы сканирования: А, Б, В, Г, П1, П2, П3, П4

Используя графическую программу AutoCAD, построим три профиля, соответствующих восьми секторам сканирования (рис. 10). Профиль 1 будет соответствовать секторам А и В, профиль 2 – секторам П1, П2, П3 и П4; профиль 3 – секторам Б и Г.

Загружаем эти профили в интерфейсную программу «Компаньон» для несложной обработки. Отмечаем на профилях плоскости, по которым выполняем сканирование (зеленый цвет линий), плоскости, которые отражают ультразвук (белый цвет линий), плоскости, которые не отражают ультразвук (голубой цвет линий), и точку отсчета (красная точка). На чертеже учтены все возможные варианты сканирования соединения наклонным преобразователем (рис. 11):
- сканирование по наружной и внутренней сторонам основания;

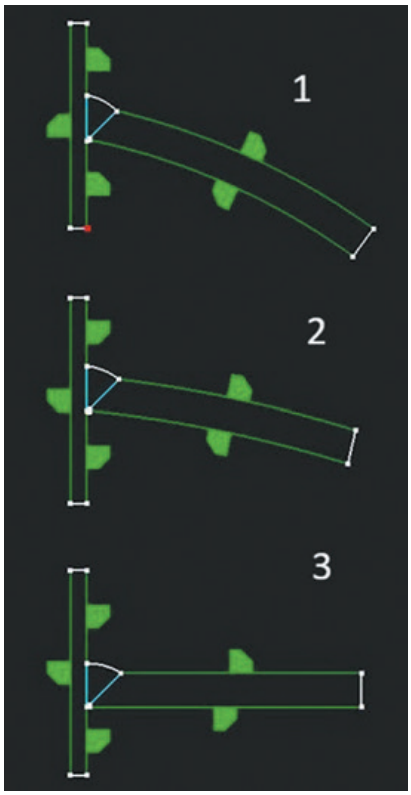


Рис. 11. Профили (1–3) сварного соединения, созданные в AutoCAD и загруженные в программу «Компаньон» для обработки

– сканирование по наружной и внутренней сторонам патрубка.

Загружаем обработанный чертеж в дефектоскоп.

Далее работа делится на два этапа. На первом этапе выбираем поверхности, по которым будет осуществляться сканирование, угол ввода преобразователя, схемы сканирования, зоны перемещения преобразователя. Другими словами, создаем методику контроля. Установка преобразователя на любую поверхность осуществляется просто и быстро — перетаскиванием его пальцем по сенсорному дисплею.

На втором этапе осуществляем контроль. Для удобства на поверхности корпуса делается разметка мелом или фломастером: наносятся зона перемещения преобразователя, начало и направление отсчета.

При проведении контроля образца были обнаружены все три дефекта (рис. 12). Трассировка луча, отображение сигналов на нем в реальном времени и возможность быстро переключаться между построенными профилями сварного соединения сделали процесс оценки и интерпретации сигналов гораздо проще и быстрее, чем контроль с использованием диаграмм и схем хода лучей, построенных вручную.

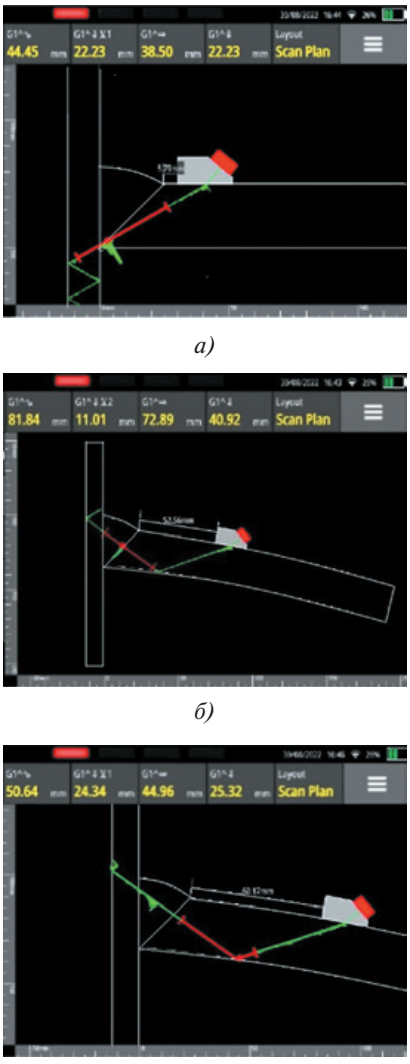


Рис. 12. Результаты контроля с ИС: а – непровар в корне шва, сканирование в секторе Б; б – несплавление по кромке шва, сканирование в секторе П2; в – пористость в шве, сканирование в секторе П3

Преимущества использования новой технологии

1. Программа ИС избавляет от необходимости вручную создавать профили сварных швов, а также формирует всю необходимую информацию на дисплее дефектоскопа «Харфанг Вейф», используемом при проведении контроля (рис. 13).
2. Трассировка луча и наложение эхосигналов на него в реальном времени помогают специалисту правильно интерпретировать эхосигналы, идентифицировать отражатели и получать информацию о местонахождении отражателей в ОК. На ИС отображаются эхосигналы от дефекта в корне шва и от поверхности валика усиления (рис. 14).

Рис. 13. Контроль трубного сварного соединения с использованием ИС

Рис. 14. Отображение эхосигналов от дефекта в корне шва и от поверхности валика усиления на ИС

3. Проработка вариантов контроля ОК может проводиться заблаговременно, даже на этапе проектирования ОК, позволяя составлять более детальное представление о предмете контроля. Это сокращает время, проведенное на объекте, и уменьшает неточности, связанные с созданием профилей шва вручную на бумаге.
4. Программа «Компаньон» позволяет создавать уникальные приложения по применению для решения конкретных задач по контролю, а также создавать меню, в которое включены только необходимые для работы параметры.
5. Скриншоты дисплея дефектоскопа во время контроля делаются одним касанием клавиши, что значительно упрощает процесс создания отчетов. Эти скриншоты вставляются в отчет, автоматически создаваемый прибором, чтобы специалист имел визуальное представление о местах расположения дефектов в сварном шве и мог сделать правильное заключение.
6. ИС оказывает помощь в разработке технологических карт и методик контроля.
7. ИС позволяет проводить более эффективное обучение по НК.

Предлагаемая технология повышает уверенность специалистов при проведении дефектоскопии разнообразных объектов, составлении заключений о результатах контроля и уменьшает затраты на проведение порой неоправданных ремонтов.

Библиографический список

1. **СТО 002202565–005–2005.** Швы стыковых, угловых и тавровых сварных соединений сосудов и аппаратов, работающих под давлением. Методика ультразвукового контроля. М., 2006. 117 с.
2. **РДИ 38.18.016–94.** Инструкция по ультразвуковому контролю сварных соединений технологического оборудования. Волгоград, 1994. 61 с.

ЖУРНАЛ «ТЕРРИТОРИЯ NDT»

У нашей ТЕРРИТОРИИ нет границ —
попасть на нее можно ИЗ ЛЮБОЙ ТОЧКИ МИРА.
Наша ТЕРРИТОРИЯ — это ОБЪЕМ и ПРОСТОР информации в области НК.

В свободном доступе НА САЙТЕ
www.tndt.idspektr.ru

СВЕЖИЙ НОМЕР журнала
http://tndt.idspektr.ru/index.php/current-issue

АРХИВЫ номеров
http://tndt.idspektr.ru/index.php/archive

Редакция: +7 (499) 393-30-25 • tndt@idspektr.ru