

ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ УСТАНОВОК ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ СЕРИИ «СКАНЕР» ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ И ОЦЕНКИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ РЕМОНТЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ ПАО «ГАЗПРОМ»

УДК 620.179.16

А.С. Анненков, ООО «АЛТЕС» (Москва, РФ)

Т.Н. Белослудцев, ООО «Газпром трансгаз Чайковский» (Чайковский, РФ), belosludtsevtn@ptg.gazprom.ru

Е.М. Вышемирский, к.т.н., ПАО «Газпром» (Санкт-Петербург, РФ)

Одними из ключевых факторов, обеспечивающих надежность работы магистральных газопроводов (МГ), являются высокоэффективный и достоверный неразрушающий контроль сварных соединений при строительстве, реконструкции и ремонте объектов добычи и транспорта газа, а также диагностическое обследование сварных соединений эксплуатируемых участков. Ультразвуковой контроль (УЗК) – более безопасный по сравнению с радиационным контролем оперативный метод обнаружения внутренних дефектов различных объектов – получил широкое распространение в ПАО «Газпром». С развитием цифровой техники УЗ-дефектоскопия занимает лидирующее положение, заменяя радиационные методы контроля. И большую роль в этом процессе играют российские разработки. Так, к примеру, отечественные установки измерительные ультразвуковые (УИУ) серии «СКАНЕР» на сегодняшний день не уступают, а по некоторым показателям и превосходят уровень аналогичных мировых разработок. Применение многоэлементных систем (акустических блоков) и программной автоматизации процесса фиксации и расшифровки результатов УЗК позволяет повысить достоверность и качество дефектоскопии, дает возможность на порядок сократить временные затраты и, соответственно, трудозатраты в сравнении с УЗК одиночным датчиком в ручном режиме. Также следует отметить более низкую стоимость по сравнению с автоматизированными системами контроля иностранного производства.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: СВАРНОЕ СОЕДИНЕНИЕ, УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ, АКУСТИЧЕСКИЕ БЛОКИ, ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ, МАГИСТРАЛЬНЫЙ ГАЗОПРОВОД, УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА.

Магистральные трубопроводы ПАО «Газпром» расположены в регионах с различными природно-климатическими условиями, и зачастую строительство, реконструкция, ремонт и техническое обслуживание данных инженерных сооружений связаны с техническими сложностями и большими затратами. Для поддержания газотранспортной системы в исправном техническом состоянии и снижения возможных рисков эксплуатации особую актуальность для ПАО «Газпром» приобретают

планово-предупредительные работы, позволяющие осуществлять ремонт наиболее изношенных участков трубопроводов. Одной из базовых составляющих ремонта является неразрушающий контроль сварных соединений трубопроводов, сосудов, металлоконструкций различными методами: визуально-измерительным, радиографическим, ультразвуковым и др.

Стоит отметить, что УЗК – более безопасный по сравнению с радиографическим контролем и

оперативный метод, позволяющий решать задачи выявления и оценки внутренних дефектов объектов.

Существующие технологии неразрушающего контроля и нормы оценки качества регламентируются отраслевыми нормативными документами (НД), базирующимися на опыте работ 1970–1980 гг. [1], и не отвечают в полной мере современным требованиям по качеству и производительности. Такое несоответствие не может не сказаться на выполнении ремонта в

плановых объемах и в непростых экономических условиях.

Традиционные технологии УЗК, регламентированные требованиями НД [2–4], предусматривают проведение процесса одним датчиком в ручном режиме и в данном представлении традиционно состоят из следующих этапов:

1) настройка оборудования на образцах;

2) сканирование объекта контроля;

3) локализация и измерение параметров выявленных несплошностей (амплитуда, условные размеры, координаты, косвенно тип дефекта и т. п.);

4) оценка допустимости выявленных дефектов и фиксация их в протоколах и заключениях.

Эта технология требует большого количества времени и, соответственно, трудозатрат. Кроме того, ультразвуковой ручной контроль – трудоемкий, сложный процесс, требующий высокой квалификации специалиста при поиске и оценке дефектов, определении посторонних («ложных») сигналов, визуализируемых на экране дефектоскопа.

При современном уровне развития диагностических средств на МГ ежегодно выявляются и устраняются десятки тысяч как технологических, так и эксплуатационных дефектов. Поэтому резко возрастает потребность в высокопроизводительном оборудовании, позволяющем выполнять контроль основного металла (труб, соединительных деталей трубопроводов (СДТ), сосудов) и сварных соединений объектов МГ с фиксацией результатов контроля на бумажных и электронных носителях.

С учетом разнообразия задач контроля объектов ПАО «Газпром» было разработано новое оборудование ручного механизированного и автоматизированного УЗК – УИУ серии «СКАНЕР», позволяющие существенно сократить время контроля за счет перемещения механического приспособления с



Рис. 1. УИУ серии «СКАНЕР» (модель «СКАРУЧ»)

акустическими блоками и автоматической фиксации при определении параметров дефектов.

Установка (рис. 1) состоит из восьмиканального дефектоскопа, акустических блоков, механических приспособлений, информационных кабелей и соответствующих программ и позволяет осуществлять контроль с автоматической расшифровкой результатов: определяет координаты дефекта, зону расположения, его высоту, тип и протяженность за счет дискретности обработки измерений.

Блоки акустических преобразователей устанавливаются в механическом приспособлении по обе стороны от контролируе-

мого сварного соединения. Оператор-дефектоскопист вручную перемещает механическое приспособление вдоль сварного соединения. При этом происходит сканирование УЗ-волнами всего сечения сварного соединения. Отраженные волны принимаются акустическими блоками, после соответствующей программной обработки определяются параметры обнаруженных дефектов. Данная технология контроля позволяет прозвучивать все сечение сварного шва без поперечного перемещения пьезоэлектрических преобразователей (ПЭП), как при традиционных (классических) схемах контроля (рис. 2).

В ходе обработки сигналов, получаемых при сканировании, установка по измеренным амплитудам определяет параметры дефектов в соответствии с заданным алгоритмом (по тактам). При этом реализуются различные схемы УЗК, измеряются пройденный путь и координаты расположения дефекта (рис. 3, таблица).

Предлагаемая технология УЗК с применением УИУ «СКАНЕР» обеспечивает:

- равномерную чувствительность по сечению и ширине шва;

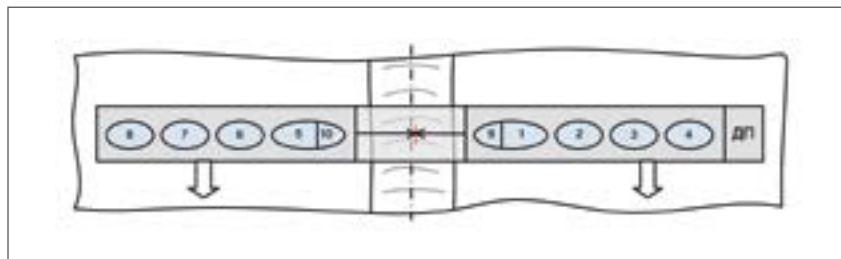


Рис. 2. Сканирование сварного соединения:
 ДП – датчик пути, 1–10 – номера ПЭП в акустических блоках

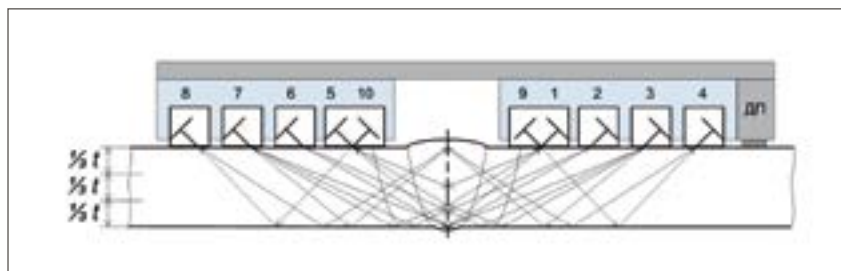


Рис. 3. Потактовое прозвучивание сечения сварного шва:
 t – толщина стенки трубопровода, разделенная на три зоны: верх, середина, низ

Такты контроля сварного соединения

Такты	Излучатель	Приемник	Схема и метод УЗК	Контролируемая зона
0	3	1	Радиально-совмещенная (Р-С), ЭХО-зеркальный	Низ, середина
1	7	5	Р-С, ЭХО-зеркальный	
2	2	1	Р-С, ЭХО-зеркальный	
3	6	5	Р-С, ЭХО-зеркальный	
4	1	5	Р-С, ЭХО-зеркальный	
5	5	1	Р-С, зеркально-теневой	
6	1	1	Совмещенная, ЭХО-метод	
7	5	5	Совмещенная, ЭХО-метод	
8	3	3	Совмещенная, ЭХО-метод	Верх, середина
9	7	7	Совмещенная, ЭХО-метод	
10	3	4	Р-С, ЭХО-зеркальный	
11	7	8	Р-С, ЭХО-зеркальный	Низ, середина
12	3	2	Р-С, ЭХО-зеркальный	
13	7	6	Р-С, ЭХО-зеркальный	Контроль АК
14	9	4	Р-С, зеркально-теневой	
15	10	8	Р-С, зеркально-теневой	



Рис. 4. Контроль эксплуатационного сварного соединения со смещением, труба DN 1420



Рис. 5. Контроль эксплуатационного разнотолщинного сварного соединения DN 1220

- слежение и учет уровня акустического контакта (АК) при обработке сигналов;
- высокую достоверность контроля при применении ПЭП с разными углами ввода и использовании 16 схем и методов прозвучивания одновременно на каждом миллиметре сканирования, что позволяет идентифицировать дефект по характеру (плоскостной, объемный, переходной формы) и зоне расположения в сварном соединении (верх, середина, низ), оценить реальные параметры (длину, высоту и тип) и эквивалентные размеры дефекта,

- производить слежение за уровнем акустического контакта на каждом миллиметре пути;
- высокую оперативность и мобильность: скорость сканирования — до 1 м/мин;
- автоматическую расшифровку результатов контроля по заданному алгоритму;
- получение документа контроля всего сварного шва;
- многофункциональное использование: УЗК сварных швов (стыковых, тавровых, угловых, нахлесточных); УЗК основного металла околшовной зоны, в том числе определение недопустимой

коррозии и расслоения металла (сканирующая толщинометрия); режим ручного дефектоскопа; режим ручного толщиномера.

Одним из вариантов практического применения установок была работа на повышение достоверности и надежности УЗК сварных соединений газопроводов при больших смещениях кромок и разнотолщинности сварных элементов. В результате исследований были разработаны специализированная акустическая многоэлементная система, программные алгоритмы, позволяющие распознать образы дефектов на фоне конструктивных помех, вызванных наличием больших смещений и разнотолщинности сваренных элементов. Также были созданы методика [5] механизированного УЗК сварных соединений при больших смещениях кромок и разнотолщинных элементов с помощью УИУ и соответствующее программное обеспечение. Методика [5] позволяет проводить неразрушающий контроль и давать объективную оценку качества сварным соединениям, расширив критерии их контролепригодности в режиме автоматической фиксации и расшифровки результатов УЗК за счет дополнительной обработки корневой и облицовочной зон сварного шва, геометрические параметры которых в данном случае дают множество ложных сигналов. Наиболее актуальное направление методика получила при контроле сварных соединений, находящихся в эксплуатации, при диагностировании объектов магистральных трубопроводов, имеющих большее смещение кромок, чем регламентировано НД, а также при контроле разнотолщинных соединений труб, труб с СДТ и трубопроводной арматурой (ТПА) (рис. 4, 5).

В 2008 г. была разработана методика контроля УИУ (в режиме дефектоскопа общего назначения), позволяющая дать оценку качества выявляемых при экс-

платации заварок сквозных отверстий (рис. 6), проделанных при строительстве для протаскивания сварочного кабеля внутрь трубы, исключая необоснованную вырезку катушек из обследуемого участка без снижения надежности. В процессе работы над методикой диагностики мест заварки сквозных отверстий на теле трубы [6] был проведен анализ дефектов, выявляемых в диагностируемых заварках, разработаны схемы и алгоритмы контроля, а также нормы браковки (оценки качества) дефектов. Были созданы совместимые с УИУ специализированные акустические преобразователи и приспособления к ним, реализующие алгоритмы и методику контроля заварок.

В рамках выполнения НИОКР 2015–2016 гг. на тему «Разработка автоматической системы обработки результатов при оценке работоспособности сварных соединений, полученных с применением акустических систем



а)

б)

Рис. 6. Сквозное отверстие трубы, отремонтированное заваркой:
 а) вид с внутренней поверхности трубы; б) вид с наружной поверхности трубы

безжидкостной передачи УЗ-колебаний в контролируемый металл сварных соединений» на первом этапе исследования были разработаны акустические блоки «сухого» контакта (рис. 7, 8), позволяющие передавать УЗ-колебания в контролируемый металл без использования контактной жидкости за счет упругого синтетического протектора. В процессе работы была показана принципиальная возможность создания на

их основе многоэлементных акустических блоков. С их применением был реализован автоматизированный контроль установкой серии «СКАНЕР» (модель «УМКА») (рис. 9) сварных швов и основного металла труб различных диаметров в цеховых и полевых условиях в целях обнаружения недопустимых дефектов в кольцевых швах трубопроводов. Контроль осуществлялся в соответствии с [7, 8] и другими НД.



ООО «АЛТЕС»

Адрес: 105066, г.Москва, Токмаков пер., д.14, стр.3, первый этаж.

Телефон/Факс: (499) 267-99-77, (499) 267-67-92

(499) 261-46-49, (499) 265-10-83, (499) 265-17-82

Электронная почта: info@ultes.info

Оборудование ультразвукового контроля (РУЗК, МУЗК, АУЗК) при строительстве, эксплуатации и ремонте объектов ПАО «Газпром»





Рис. 7. ПЭП сухого контакта одиночный



Рис. 8. Акустический блок сухого контакта многоэлементный



Рис. 9. УИУ серии «СКАНЕР» (модель «УМКА») с акустическими блоками «сухого» контакта



Рис. 10. Выбор параметров обработки результатов УЗК



Рис. 11. Итог обработки результатов УЗК

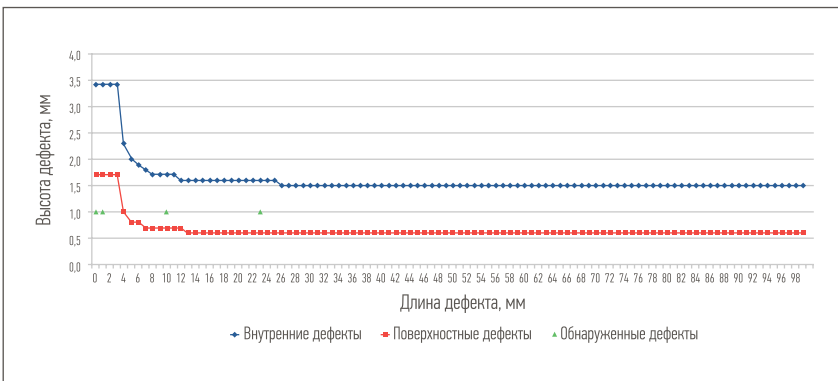


Рис. 12. Графическое представление результатов оценки сварного соединения (сопоставление номограммы и выявленных дефектов)

Результатом работы стала полезная модель «Акустический блок «сухого» контакта», правообладателем которой является ООО «Газпром трансгаз Чайковский».

Автоматизированный ультразвуковой контроль сварных швов проводится со скоростью сканирования до 1,5 м/мин с «сухим» акустическим контактом или с небольшим (5 г/м) увлажнением исследуемой поверхности. При проведении автоматизированного контроля происходит оценка характера и параметров выявляемых дефектов. На каждом миллиметре сварного шва осуществляется слежение за акустическим контактом. При использовании внешнего компьютера возможны поканальная фиксация амплитуд дефектов, просмотр отдельных изображений сигналов, а также применение TOFD- и 3Т-методов для уточнения параметров дефектов.

В рамках выполнения второго этапа НИОКР была создана система автоматической оценки работоспособности сварных соединений, которая базируется на программном комплексе, позволяющем в автоматическом режиме обработать результаты УЗК-установками.

На первом этапе система осуществляет подсчет количества и протяженности дефектов в сварном соединении с учетом их послыного расположения в сечении шва (верх, середина, низ). На втором этапе проводится определение основных параметров дефектов: координаты начала,

длины, высоты, расположения, типа. На третьем – схематизация (объединение) близлежащих одиночных и групповых дефектов в соответствии с критериями СТО Газпром 2-2.4-715-2013 [9].

На четвертом этапе по окончании процедуры схематизации анализируется соответствие обнаруженных дефектов нормам длины и высоты дефекта, указанным в файле номограммы (график зависимости высоты и протяженности дефектов для определения их максимально допустимых размеров, рассчитанный по совокупности исходных данных контролируемого участка трубопровода), соответствующей по диаметру, толщине и классу прочности труб, категории трубопровода, рабочему давлению, смещению сваренных кромок. По результатам сопоставления обнаруженных параметров с размерами максимально допустимого дефекта, приведенного в соответствующей номограмме, делается вывод о допустимости или недопустимости данного дефекта в сварном соединении.

В программном комплексе реализована оценка работоспособности второго уровня в соответствии с требованиями СТО Газпром 2-2.4-715-2013 (рис. 10–12). При этом результаты оценки дефектов были схематизированы по высоте

расположения в смежных слоях. Такой подход технически обоснован для контроля установками, поскольку обработка результатов сканирования выполняется послойно.

Функционал системы применим для оценки качества сварных соединений, выполненных при проведении ремонта линейной части трубопроводов. Номограммы максимально допустимых дефектов построены с учетом гарантированных значений механических характеристик трубопроводов в соответствии со стандартом [9] и с учетом фактического состояния ремонтируемого участка, а также условий эксплуатации.

Для применения методики был разработан и согласован с ПАО «Газпром» СТО «Газпром трансгаз Чайковский» 08-01-17 [10].

ООО «АЛТЕС» совместно со специалистами ПАО «Газпром», ООО «Газпром трансгаз Чайковский», ООО «Газпром ВНИИГАЗ» разработаны нормативные документы (стандарты, методики, инструкции) для практического применения технологий неразрушающего контроля и оборудования на объектах ПАО «Газпром».

В дочерних газотранспортных и газодобывающих организациях ПАО «Газпром» в 1998–2016 гг. внедрено более 150 УИУ серии

«СКАНЕР». Из них 23 используются ООО «Газпром трансгаз Чайковский». Помимо этого более 600 таких установок применяются подрядными организациями при строительстве, реконструкции и капитальном ремонте объектов ПАО «Газпром».

Применение специализированных УЗ-преобразователей и методик решения задач контроля угловых сварных соединений, тройников с накладками, нахлесточных соединений усиливающих сварных муфт, заварок сквозных отверстий труб позволяет дать точную и достоверную оценку качества сварки в целях повышения надежности и продления ресурса участков газопроводов при эксплуатации и ремонте.

Применение специального программного обеспечения обработки результатов УЗК системами УИУ серии «СКАНЕР» позволяет проводить диагностику и ремонт трубопроводов в соответствии с нормативами ПАО «Газпром» с учетом гарантированных значений механических характеристик объектов, фактического состояния ремонтируемого участка, а также условий эксплуатации. Данный подход обеспечивает уменьшение объемов ремонта и вырезки сварных соединений без снижения надежности эксплуатируемых участков газопроводов. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Ковех В.М., Петрушин В.И. Проблема оценки допустимой дефектности сварных соединений магистральных газопроводов по результатам диагностики, выполняемой на этапе эксплуатации. М.: ИРЦ Газпром, 2004. 95 с.
2. ГОСТ 14782–86. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200001359> (дата обращения: 20.05.2017).
3. ГОСТ Р 55724–2013. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200107569> (дата обращения: 20.05.2017).
4. СТО Газпром 2-2.4-083–2006. Инструкция по неразрушающим методам контроля качества сварных соединений при строительстве и ремонте промышленных и магистральных газопроводов (с изм. № 1). М.: ИРЦ Газпром, 2007.
5. Методика по механизированному ультразвуковому контролю заводских и монтажных сварных швов магистральных трубопроводов, имеющих смещение кромок до 25 % толщины стенки, а также сварных соединений разнотолщинных труб [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://scaruch.ultes.info/produkcija/dok/> (дата обращения: 11.07.2017).
6. Методика диагностики мест заварки сквозных отверстий на теле трубы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://scaruch.ultes.info/produkcija/dok/> (дата обращения: 11.07.2017).
7. Нормы оценки качества кольцевых сварных соединений МГ при применении автоматизированных и механизированных средств УЗК [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://vniigaz.gazprom.ru/d/textpage/57/87/normy-otsenki-kachestva-koltsevykh-svarnykh-soedinenij.pdf> (дата обращения: 13.07.2017).
8. Технические требования к сварке и НК качества сварных соединений при строительстве МГ «Сила Сибири», в том числе при пересечении зон активных тектонических разломов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://vniigaz.gazprom.ru/d/textpage/57/87/izmeneniya-k-tt-sila-sibiri-okonchatelnaya.pdf> (дата обращения: 13.07.2017).
9. СТО Газпром 2-2.4-715–2013. Методика оценки работоспособности кольцевых сварных соединений магистральных газопроводов. М.: Газпром экспо, 2014.
8. СТО «Газпром трансгаз Чайковский» 08-01-17. Методика автоматической системы обработки результатов ультразвукового контроля установками серии «СКАНЕР» при оценке работоспособности сварных соединений [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://scaruch.ultes.info/produkcija/dok/> (дата обращения: 11.07.2017).