



## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО РАЗВИТИЯ

В. Л. НАЙДА, Ю. А. ОЛЕЙНИК, А. Н. ГОГУЛЯ, В. А. ИГНАТЕНКО, инженеры,  
(ГП «ОКТБ ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины»)

*Изложены требования к оборудованию автоматизированного ультразвукового контроля металлургической продукции. Показан уровень оборудования, разработанного в ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины, а также возможные варианты развития новых систем ультразвукового контроля.*

*Requirements to equipment for automated ultrasonic testing of metallurgical products are described. Level of equipment developed at PWI of NASU is shown, as well as possible variants of development of new ultrasonic testing systems.*

Автоматизированный ультразвуковой контроль (АУЗК) является наиболее распространенным способом НК в промышленном производстве изделий различного назначения (труб, железнодорожных колес, прутков и т. п.). Повышение требований к качеству, увеличение скорости основных технологических операций при производстве изделий, необходимость повышения информативности и достоверности контроля обусловили повышение уровня автоматизации и визуализации УЗК. Эффективность АУЗК также во многом зависит от согласованности с технологическим процессом изготовления изделий.

Современные установки АУЗК представляют собой сложные комплексы систем — механических, акустических, пневматических, гидравлических, электронных, связанных общим программным обеспечением.

К установкам АУЗК предъявляются следующие требования:

- соответствие методики АУЗК требованиям УЗ контроля, изложенным в нормативной технической документации на производство изделия;
- достоверность выявления дефектов при высокой скорости проведения контроля;
- высокая эксплуатационная надежность функционирования всех систем установки;
- удобная компоновка акустических блоков с УЗ преобразователями, позволяющая до минимума сократить время калибровки акустической системы при перевалке оборудования на выпуск изделий другого типоразмера;
- воспроизводимость результатов калибровки при повторных испытаниях в динамическом режиме на имитаторе дефектов;
- развитая система визуализации процесса контроля и его результатов;

– запись и хранение всех А-сканов от обнаруженных дефектов;

– передача результатов контроля каждого изделия в АСУ ТП цеха или завода.

Конкуренция, существующая сегодня, например, в трубной промышленности, заставляет предприятия приобретать высококачественное оборудование для УЗ контроля, отвечающее всем указанным выше требованиям.

С 2004 по 2007 гг. ОКТБ ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины разработало и поставило в Россию на ОАО «Выксунский металлургический завод» девять установок АУЗК, обеспечивающих высокий уровень контроля:

– семь установок для АУЗК сварных швов и концевых участков труб диаметром 508...1420 мм (НК 360, НК 361, НК 362);

– две установки для АУЗК железнодорожных колес (НК 364).

Показанная на рис. 1 установка НК 360 для автоматизированного УЗ контроля сварных швов труб толщиной стенки до 50 мм обеспечивает



Рис. 1. Установка НК 360 для АУЗК продольных сварных швов труб

контроль согласно требованиям API 5L, ISO 3183, DNV-OS-F101.

Несмотря на высокую скорость УЗ контроля (до 30 м/мин) используемые локально-иммерсионные акустические головки обеспечивают высокую достоверность выявления дефектов и надежный акустический контакт. Инспекторы Европейского союза, контролирующие качество труб, выпускаемых на ОАО «ВМЗ», дали высокую оценку установкам АУЗК НК 360, 361, 362М именно по причине воспроизводимости результатов контроля при испытаниях в динамическом режиме на имитаторе дефектов, а также возможности просмотра и записи А-сканов обнаруженных дефектов.

Высокие акустические характеристики имеют и УЗ блоки для контроля концевых участков труб (рис. 2).

В связи с требованиями трубных заводов об увеличении ширины зон контроля концевых участков труб до 150 мм проведена модернизация установки НК 364 для АУЗК железнодорожных колес, поставленной на ОАО «ВМЗ» в 2007 г., а именно создан специализированный сменный блок для УЗ контроля таких колес (рис. 5). Блок состоит из четырех акустических головок, имеющих свой электропривод.

Основной особенностью этого блока является отсутствие контакта акустических блоков с контролируемой поверхностью.

В данной конструкции осуществляется автоматическое слежение акустической головкой за профилем поверхности. Единственным соприкасающимся с колесом звеном является ролик, который поворачивается с помощью электроприводов

Для контроля на расслоения разработан специализированный многоэлементный раздельно-совмещенный УЗ преобразователь на базе композитной пьезокерамики с наполнением 35 % (рис. 3). Частота преобразователя 5,0 МГц, диапазон контроля по толщине 2...42 мм.

Такая конструкция позволяет за один оборот контролировать зону 75 мм не нарушая требований п.п. 4.3 стандарта ISO 11496, который ограничивает максимальную ширину одиночного преобразователя, измеренную вдоль основной оси труб в размере 25 мм.

Обеспечивается равномерная чувствительность по всей ширине преобразователя.

Форма эхо-импульса такого преобразователя на образце СО2 при контактном вводе ультразвука показана на рис. 4. Длительность импульса 0,55 мкс.

Учитывая ближайшую перспективу массового изготовления железнодорожных колес с S-образным диском, была проведена доработка установки НК 364 для АУЗК железнодорожных колес, поставленной на ОАО «ВМЗ» в 2007 г., а именно создан специализированный сменный блок для УЗ контроля таких колес (рис. 5). Блок состоит из четырех акустических головок, имеющих свой электропривод.

Основной особенностью этого блока является отсутствие контакта акустических блоков с контролируемой поверхностью.

В данной конструкции осуществляется автоматическое слежение акустической головкой за профилем поверхности. Единственным соприкасающимся с колесом звеном является ролик, который поворачивается с помощью электроприводов

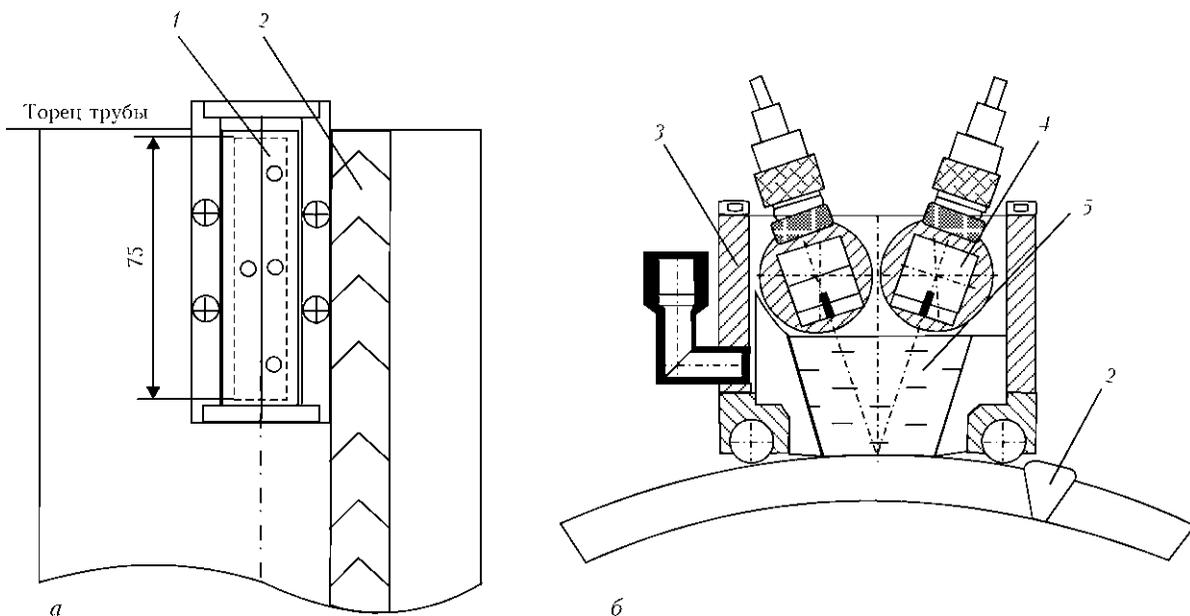


Рис. 2. Акустические блоки установки НК 362МХ для контроля на расслоения (а) и на продольные дефекты (б): 1 — акустический блок со специализированным УЗ преобразователем для контроля на расслоения; 2 — сварной шов контролируемой трубы; 3 — локально-иммерсионный акустический блок для контроля на продольные дефекты с десятью УЗ преобразователями (угол ввода ультразвука в металл 45°); 4 — иммерсионный УЗ преобразователь для контроля на продольные дефекты; 5 — локально-иммерсионная ванна (иммерсионная жидкость — вода)

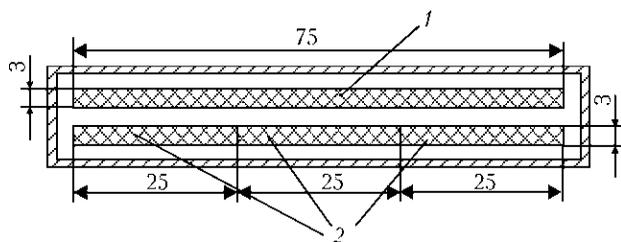


Рис. 3. Специализированный УЗ преобразователь для контроля на расфокусии: 1 — пластина генератора, 2 — пластина приемника

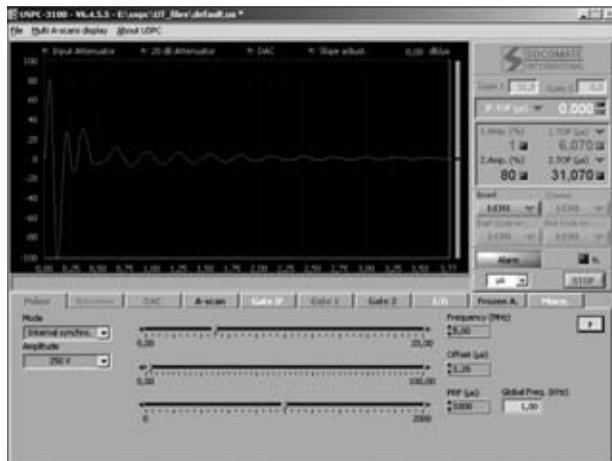


Рис. 4. Форма эхо-импульса специализированного УЗ преобразователя

вместе с корпусом датчика во время перехода на последующую дорожку.

При калибровке на имитаторе дефектов выбираются необходимые углы наклона УЗ преобразователей для установки их перпендикулярно касательной поверхности контроля в данной точке. Информация фиксируется в программе. В дальнейшем программа автоматически повторяет заданные углы при сканировании диска.

В процессе контроля на каждом шаге УЗ датчики поворачиваются электродвигателями на определя-

емый в процессе калибровки угол. Система автоматизации выполнена на базе контроллера «Siemens».

Эксплуатация нового акустического модуля на ОАО «ВМЗ» полностью подтвердила правильность выбранных технических решений.

На всех установках АУЗК использован универсальный УЗ дефектоскоп НК 363, выполненный на базе УЗ плат французской фирмы «Socomate».

Они представляют собой PCI платы полного размера для установки в шасси промышленного компьютера и предназначены для создания УЗ дефектоскопов различной сложности, что очень удобно для реализации различных задач контроля.

Непосредственно плата производит усиление, фильтрацию и оцифровку сигнала, цифровую обработку и предварительное хранение в памяти самой платы для дальнейшей передачи пакетами в ОЗУ компьютера с использованием режима DMA. Предусмотрен высокоскоростной сбор данных в режиме А-, С-скана.

Продукция «Socomate» хорошо известна (в Европе, Северной Америке, Азии, Африке) и широко используется такими известными фирмами, как «Rolls-Royce», «Pratt&Whitney» и «GE».

Система управления установками выполнена на базе универсального программируемого контроллера «Simatic S7-300» (Siemens), станций распределенного ввода/вывода ET-200 и панелей оператора OP-170 В. Обмен между участниками сети производится по шине PROFIBUS-DP.

Разработанное программное обеспечение сбора и обработки данных УЗ контроля носит универсальный характер и может выполнять требования любых задач УЗ контроля.

Реализована архивация результатов контроля с возможностью просмотра файлов данных по каждому проконтролированному объекту. В файлах данных сохраняется вся информация об обнаруженных дефектах, реализован просмотр А-сканов

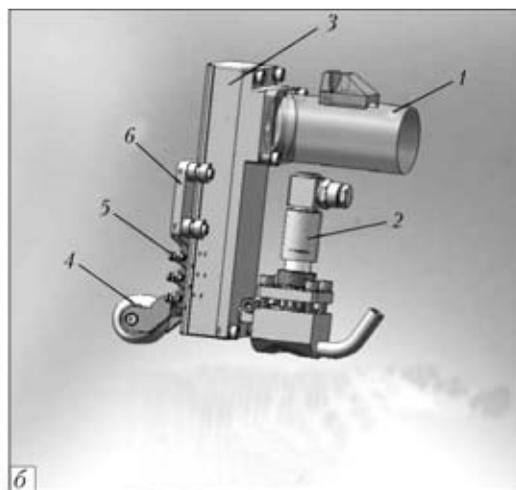
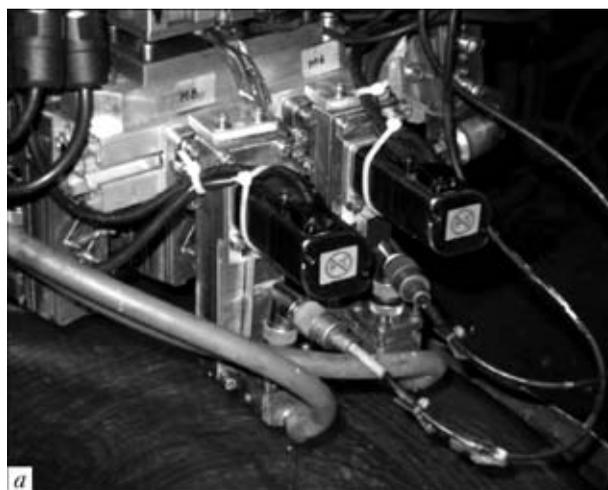


Рис. 5. Общий вид блока для контроля S-образного диска железнодорожного колеса (а) и конструкция акустической головки (б): 1 — электродвигатель с энкодером; 2 — УЗ преобразователь с угловым разъемом; 3 — направляющая-редуктор; 4 — опорный ролик; 5 — пружинный механизм; 6 — опорная пластина

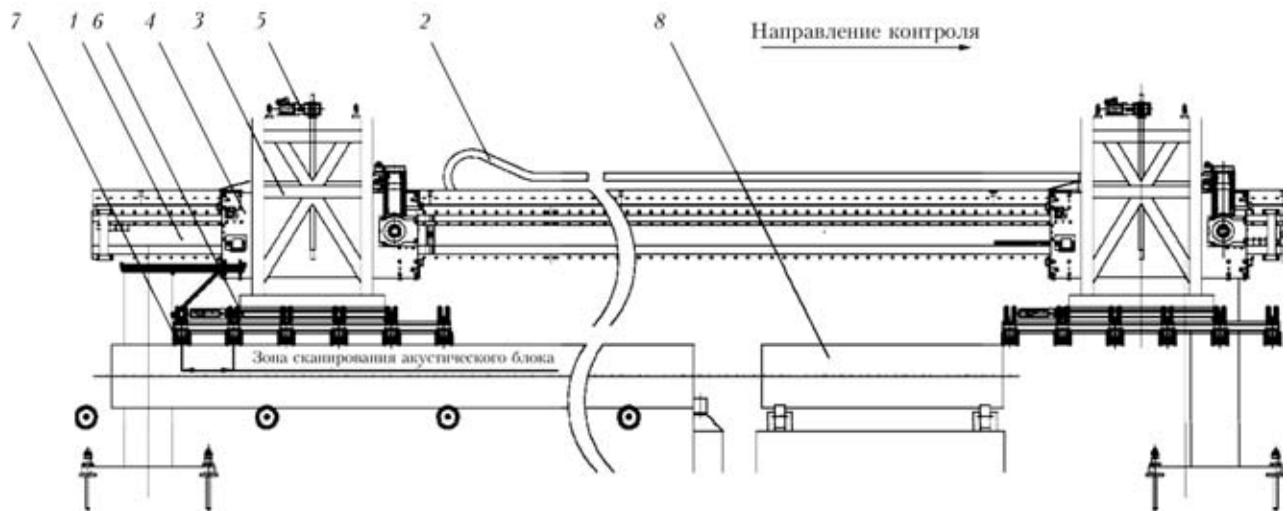


Рис. 6. Установка НК 380VJ для АУЗК тела труб: 1 — продольная балка с ходовой зубчатой рейкой длиной 19 м; 2 — гибкий канал для укладки электрокабелей, гидро- и пневмошлангов; 3 — траверса вертикального перемещения акустических блоков; 4 — механизм горизонтального продольного перемещения вдоль трубы; 5 — механизм вертикального перемещения с электроприводом; 6 — модуль сканирования акустических блоков; 7 — акустический блок; 8 — стандартный образец на позиции калибровки

по выбранному дефекту. Протоколы контроля каждого проконтролированного изделия передаются в систему АСУ ТП цеха.

Необходимость в удовлетворении растущих требований к скорости контроля, повышению уровня чувствительности, обнаружению разнонаправленных дефектов, надежности систем АУЗК требует новых технологических решений, например:

- применения преобразователей на основе композитной керамики, которые излучают более короткие импульсы и имеют большую абсолютную чувствительность, что обеспечит уменьшение «мертвой» зоны;

- использования систем «преобразователь+дефектоскоп» с фазированными решетками, позволяющих управлять полем преобразователя для изменения угла ввода в широких пределах с помощью электронных устройств.

Опыт эксплуатации преобразователей на фазированных акустических решетках (ФАР) показал, что при прозвучивании сварного шва или металла способом качающегося луча путем изменения угла ввода в пределах  $35...70^\circ$  с дискретностью  $0,5^\circ$  при тактовой частоте зондирующих импульсов, равной 1 кГц и дискретностью прозвучивания

0,5 мм (стандартное требование стандартов и методик), при параллельной работе всех каналов дефектоскопа с ФАР максимальная скорость сканирования не будет превышать 10 мм/с.

Естественно, это не устраивает производителей оборудования АУЗК. Поэтому современные автоматизированные системы с применением ФАР работают по другим принципам. При автоматизированном контроле нет необходимости формирования большого числа углов сканирования. Как правило, это несколько фиксированных углов, но все лучи формируются в одной плоскости.

Наиболее эффективной для автоматизированной системы контроля является технология на фазированных решетках FFAST II, которая позволяет провести замену нескольких одиночных УЗ преобразователей с разными углами ввода на один преобразователь на базе 2D-матричных фазированных решеток, который может формировать одновременно несколько (до 17) УЗ лучей с разными углами ввода в разных плоскостях. Эта технология обеспечивает максимально возможную производительность контроля.

Сейчас в ОКБ ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины разрабатывается оборудование для АУЗК тела труб с применением этой технологии.

Установка АУЗК НК 380VJ будет обеспечивать обнаружение дефектов типа нарушения сплошности металла в теле бесшовной трубы, дефектов типа расслоений, а также недопустимого изменения толщины стенки трубы. Диаметр контролируемых труб 146...426 мм.

При контроле обеспечивается выявление дефектов следующей ориентации (относительно образующей трубы): продольных —  $0^\circ$  в двух противоположных направлениях; поперечных —  $90^\circ$  в двух противоположных направлениях; наклонных —  $22, 45$  и  $67^\circ$  влево и вправо относи-

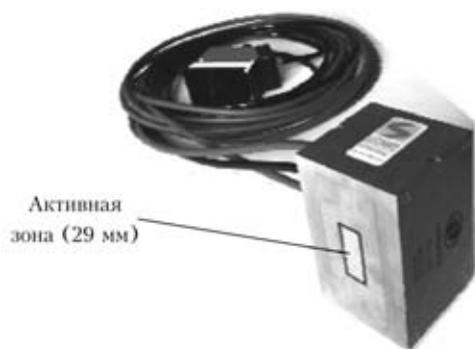


Рис. 7. УЗ преобразователь ФАР системы FFAST II

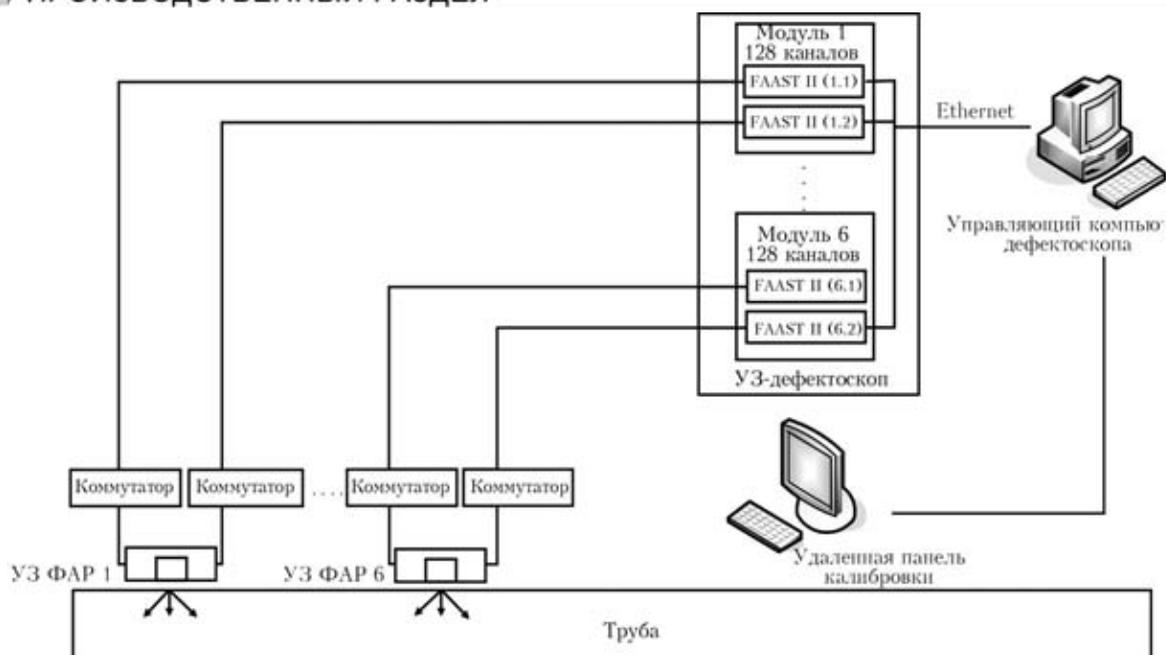


Рис. 8. Структурная схема системы FAAST II установки НК 380ВЛ

тельно образующей трубы во взаимно противоположных направлениях.

Установка обеспечивает 100 %-ную толщину-метрию стенки трубы с динамической погрешностью не хуже  $\pm 0,1$  мм.

Используется иммерсионный метод создания акустического контакта. Производительность контроля составляет 8...15 м/мин в зависимости от диаметра трубы.

На рис. 6 показана установка НК 380ВЛ для АУЗК бесшовных труб диаметром 146...426 мм.

Для обнаружения дефектов используются ультразвуковые преобразователи ФАР шириной зоны контроля 29 мм (рис. 7).

Количество преобразователей — 6 шт., суммарная ширина зоны контроля за один оборот трубы составляет  $29 \times 6 = 174$  мм.

Преобразователь проводит одновременное прозвучивание в 17 направлениях для обнаружения продольных и поперечных дефектов в обоих направлениях; наклонных дефектов под углами 22, 45 и 67° влево и вправо относительно образующей трубы во взаимно противоположных направлениях; проведения толщинометрии и обнаружения расслоений.

Структура системы акустической части с FAAST II представлена на рис. 8.

Основные преимущества технологии FAAST II по сравнению с классической технологией ФАР:

- значительное увеличение производительности контроля;

- возможность обнаружения «косых» дефектов, что необходимо при контроле бесшовных труб;

- более низкая стоимость преобразователей и электронного оборудования по сравнению с классической технологией ФАР.

Характерной особенностью программной обработки FAAST II является возможность одновременного просмотра А-сканов каждого луча по аналогии с традиционными системами. Это привычно для операторов.

## Выводы

На примерах разработок ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины показаны достижения в области создания автоматизированных средств УЗ контроля. Разработанные средства АУЗК обеспечивают высокую достоверность обнаружения дефектов и высокую эксплуатационную надежность.

Показана целесообразность применения новых технологических решений в современных установках АУЗК для обеспечения более качественного и скоростного контроля.

1. Найда В. Л., Можжухин А. А., Лобанов О. Ф. Новое поколение оборудования для УЗК сварных труб // Автомат. сварка. — 2004. — № 9. — С. 58–62.
2. Ткаченко А. А., Найда В. Л., Копылов А. П. Обеспечение надежности автоматизированного УЗК сварных труб при их производстве // В мире неразруш. контроля. — 2006. — № 3. — С. 17–20.
3. Патон Б. Е., Найда В. Л. Современное состояние и перспективы развития автоматизированного ультразвукового контроля на примере разработок ИЭС им. Е. О. Патона // Сварка и диагностика. — 2009. — № 6. — С. 30–35.
4. Пасси Г. УЗК с использованием преобразователей на фазированных решетках — способы сканирования, требования к аппаратуре и примеры практического применения // В мире неразруш. контроля. — 2011. — 2(52). — С. 51–54.

Поступила в редакцию  
07.10.2011