



# СПОСОБЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ ПРОДОЛЬНЫХ СВАРНЫХ ШВОВ ТРУБ В УСЛОВИЯХ ИХ МАССОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

А. А. ТКАЧЕНКО, В. Л. НАЙДА, В. С. ГАВРЕВ, А. А. МОЗЖУХИН

*Дана характеристика наиболее вероятных дефектов при сварке плавлением труб большого диаметра, описаны оригинальные способы автоматического формирования строб-импульса зоны ультразвукового (УЗ) контроля сварного шва труб, приведено описание структуры и особенностей новой установки автоматизированного ультразвукового контроля (АУЗК) сварных швов труб при их массовом производстве.*

*The paper characterizes the most probable defects in fusion welding of large diameter pipes, describes original methods of automatic forming of the gate-pulse of the zone of ultrasonic testing of a weld in pipes, and gives a description of the structure and properties of the new unit for automated ultrasonic testing of (AUT) welds on pipes in their mass production.*

При производстве труб с применением электродуговой сварки под флюсом решающее влияние на качество сварки оказывают химический состав флюса и проволочного электрода, подготовка сварочных кромок, а также параметры сварки. Наиболее характерными при этом являются следующие типы дефектов: непровары, подрезы, поры, шлаковые включения, продольные трещины и трещины произвольной ориентации, отклонения геометрии шва и трубы [1].

**Непровары** — это дефекты в виде местного несплавления в сварном соединении. Непровары образуются при загрязнении кромок, неправильной их подготовке, грубых нарушениях режима сварки. Хотя даже при относительно больших непроварах разрушение нередко происходит по околошовной зоне (непровар компенсируется усилением шва) дефект этот относится к недопустимым.

**Поры** представляют собой полости округлой или продолговатой формы (рис. 1, а), заполненные газом. Поры образуются вследствие грубого нарушения технологии подготовки свариваемой трубной заготовки и сварочных материалов (загрязненность кромок, использование влажного флюса или отсыревших электродов, отклонения режима нагрева и скорости сварки).

**Подрезы** (рис. 1, б) возникают в результате нарушений режима сварки, связанных с несоответствием скорости наплавки металла шва и объемом стыка. Подрезы находятся на границе между сварным швом и металлом стенки трубы и могут иметь небольшую глубину (в пределах 0,2...1,0 мм).

**Шлаковые включения** (рис. 1, в) возникают в результате взаимодействия между шлаком и металлом электрода, а также ванны расплавленного металла. При нормально проходящем процессе шлак всплывает на поверхность шва и может быть легко удален с охлажденного шва. Только при отклонении от заданных режимов сварки шлаковые включения могут оставаться в шве. Шлаковые включения по сравнению с порами в значительно меньшей мере снижают усталостную прочность. Форма шлаковых включений может быть различной: округлой, шарообразной, плоской или продолговатой.

**Трещины**, представляющие собой разрывы металла, отличаются характером, расположением и причинами возникновения (рис. 1, г). В зависимости от момента возникновения в процессе затвердевания шва трещины подразделяются на «горячие» и «холодные», а в соответствии с размерами различаются макро- и микротрещины. При-

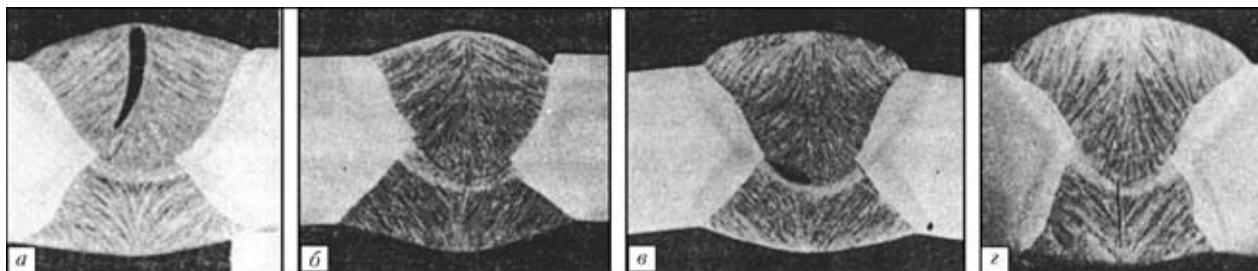


Рис. 1. Характерные дефекты сварных швов труб, полученных сваркой плавлением: а — пора; б — подрез; в — шлаковое включение; г — трещина



чиной появления горячих трещин являются разрывы металла в процессе кристаллизации, когда легкоплавкие фазы на границах первичного зерна разрываются при деформации в результате усадки шва. Горячие трещины, как правило, имеют произвольную ориентацию и малое раскрытие. Возникновение холодных трещин зависит от величины внутренних напряжений и содержания водорода. Они имеют значительно большие размеры и ровную поверхность.

**Отклонения геометрии шва и размеров** труб большого диаметра также являются недопустимыми. В [2] показано, что к нарушениям геометрии сварного шва относятся изменения ширины валика усиления и его асимметрия — взаимное смещение внутреннего и наружного швов, — которые приводят к осложнениям при УЗ контроле и требуют принятия мер по корректировке параметров аппаратуры НК. Как правило, смещения шва приводят к возникновению непроваров.

УЗ методы контроля сварных швов труб основаны на оценке параметров УЗ колебаний, возбуждаемых в контролируемой трубе. При этом применимы различные типы акустических волн, широкий диапазон рабочих частот УЗ колебаний. Разнообразие пьезоэлектрических и других способов возбуждения и приема УЗ волн, большой выбор пьезоматериалов для пьезоэлектрических преобразователей (ПЭП) делает УЗ методы контроля универсальными [3]. Для автоматизированного УЗ контроля в основном применяется импульсный эхометод со щелевым или иммерсионным способом создания акустического контакта преобразователя с трубой, основанный на анализе параметров импульсов, отраженных от дефектов, а также относительно новые — тандем- и дельта-метод. При контроле зону сварного шва (СШ) можно условно разбить на три участка: участок СШ с наплавленным металлом в форме валика усиления (ВУ), зону термического влияния (ЗТВ) и примыкающий участок основного металла (ОМ) трубы.

Задача УЗ контроля СШ состоит в обнаружении дефектов во всем объеме СШ, в ЗТВ и на примыкающем участке ОМ по возможности с равной чувствительностью. Надежность УЗ контроля в значительной мере зависит от качества акустического контакта между ПЭП и поверхностью контролируемой трубы, что требует постоянного совершенствования конструкции акустического блока и корректировки чувствительности в процессе контроля. Валики усиления сварных швов, хотя и имеют геометрическую форму с некоторыми нормированными средними значениями размеров, но существенно усложняют задачу выявления дефектов металла шва (МШ), так как являются причиной появления эхосигналов, отражаемых, в первую очередь их кромками, и маскирующих эхосигналы от дефектов шва. Для обнаружения в трубах дефектов продольной ориентации контроль проводится УЗ волнами, распространяющимися по окружности трубы.

Для выявления дефектов поперечной ориентации УЗ волны направляют вдоль образующей трубы. Сварные швы труб озвучивают в двух про-

тивоположных направлениях. Дефекты продольной ориентации, расположенные на линии сплавления сварного шва с основным металлом вблизи поверхности трубы, выявляют наклонными ПЭП с углом ввода УЗ волны 45...50°. Эти же дефекты в средней и нижней части сварного шва (при толщине стенки менее 12 мм) выявляются наклонными ПЭП с углом ввода не менее 70°.

Плоскостные дефекты типа непроваров, несплавлений и трещин отражают УЗ волны преимущественно в зеркальном направлении, поэтому при наклонном вводе УЗ волн указанные дефекты с наибольшей вероятностью могут быть выявлены при контроле по схеме «тандем».

Для выявления поперечных дефектов взамен Х- и К-образных схем, отличающихся небольшим соотношением сигнал/шум (не более 6 дБ), предусматривается выявление в сварных швах поперечных дефектов путем озвучивания шва через валик усиления в плоскости осевого сечения трубы с иммерсионным вариантом акустического контакта с углом ввода УЗ пучка в металле 40...45°. Расстояние от излучающей поверхности ПЭП до валика усиления шва (в радиальном направлении) должно быть не менее  $0,6S + 5$  мм, где  $S$  — толщина стенки трубы (рис. 2).

Важным фактором, влияющим на надежность при регистрации эхосигналов от дефектов, является правильный выбор и формирование стробимпульса зоны контроля. Наиболее оптимальным является формирование стробимпульса, который бы следил за зоной металла шва, подлежащей контролю. Известны способы формирования следящего стробимпульса при УЗ контроле СШ трубы при использовании различных схем прозвучивания сварного шва с валиком усиления, описанные в [4]. Рассмотрим способ формирования следящего стробимпульса, который применим для схем, использующих ПЭП, диаграммы направленности которых перпендикулярны оси контролируемого СШ (рис. 3).

В каждом периоде зондирующего импульса ( $T_{з.с.}$ ) имеется сигнал  $A_K$  и можно сформировать измерительный импульс  $ИИ_K$  (рис. 3, а). Последовательность значений  $ИИ_K$  представляет собой случайную дискретную функцию  $ИИ_K [n T_{з.с.}]$ , где  $n = 1, 2, \dots, \infty$ . Определим среднее значение некоторого множества значений функции  $ИИ_K [n T_{з.с.}]$ . Для интегрирования (усреднения) можно выбрать интервал  $T_{инт}$ , на котором имеется, например, 5000 значений этой функции (рис. 3, б). В первом периоде счета ( $T_{инт1}$ ) получим 5000 значений  $ИИ_K$  и вычислим среднее значение, которое обозначим  $ИИ_K^*$ :

$$ИИ_K^* = \frac{1}{5000} \sum_1^{5000} ИИ_K [n T_{з.с.}].$$

Во втором периоде ( $T_{инт2}$ ) сделаем выборку значений  $ИИ_K [n T_{з.с.}]$ , которые меньше  $ИИ_K^*$  (число этих значений приблизительно вдвое меньше, чем в первом периоде счета). Усредняя это новое множество в конце  $T_{инт2}$ , получим второе

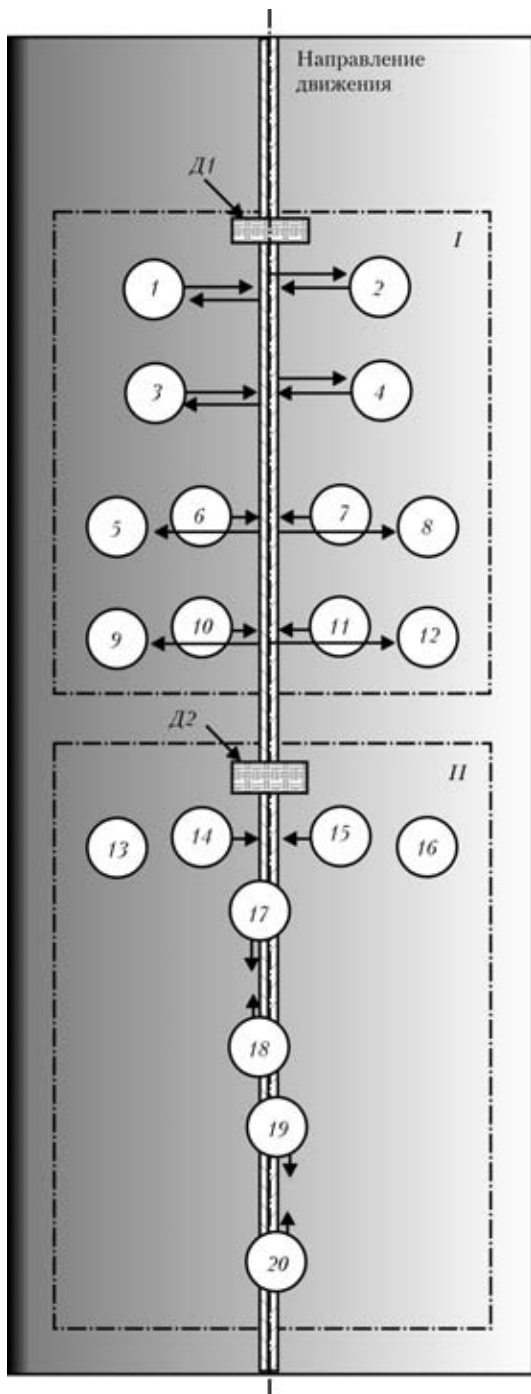


Рис. 2. Вариант схемы расположения ПЭП для контроля продольных сварных соединений труб диаметром 508...1420 мм и толщиной стенки 7...50 мм: I, II — первый и второй акустический блоки; D1 и D2 — лазерные датчики слежения за валом усиления сварного шва; 1-4 — группа наклонных ПЭП; 5-16 — УЗ преобразователи, работающие в тандемных схемах (количество работающих тандемных блоков зависит от толщины стенки: при толщине стенки 50 мм работают все тандемные блоки); 17-20 — УЗ преобразователи, работающие в иммерсионном варианте по сварному шву и контролирующие его на поперечные дефекты

значение  $ИИ_{K2}^*$ , которое меньше  $ИИ_{K1}^*$ . Для определения минимального  $ИИ_K^*$  можно продолжить процедуру выборки усреднения, но для упрощения вычислений принимаем  $ИИ_{K\min}^* = 0,8ИИ_{K2}^*$ . После чего формируем строб-импульс и используем его для селекции дефектов шва, начиная с  $T_{инт3}$ . Зна-

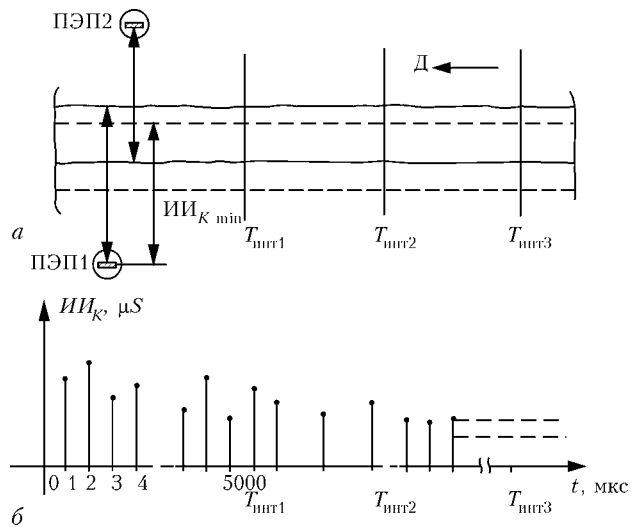


Рис. 3. Способ формирования строб-импульса (зоны контроля): а — штриховые линии — зона контроля для ПЭП1 (линия в пределах шва условно соответствует заднему фронту строб-импульса); б — отображение последовательности случайных значений  $ИИ_K$  и формирования оптимальной длительности строб-импульса

чение  $ИИ_{K\min}^*$  на рис. 3, а условно показано штриховой линией в пределах зоны шва, и эта линия соответствует заднему фронту строб-импульса. Расстояние от ПЭП до этой линии в микросекундах равно  $ИИ_{K\min}^*$ . Примем, что по периметру трубы это расстояние равно 100 мм. Ширину зоны контроля для шва и околошовной зоны примем равной 20 мм, т. е. длительность строб-импульса равна  $0,2ИИ_{K\min}^*$ . Следовательно, задержка строб-импульса относительно момента возбуждения ПЭП равна  $0,8ИИ_{K\min}^*$ . Зона контроля на рис. 3, б показана штриховой линией. Так как для контроля шва используются ПЭП1 и ПЭП2 (рис. 3, а), то весь металл шва находится в пределах общей зоны контроля.

Предложенный алгоритм расчета значения  $ИИ_{K\min}^*$  и длительности строб-импульса определен из условия минимизации вероятности попадания случайного сигнала  $A_K$  в строб-импульс, но некоторая вероятность ложного срабатывания канала дефектоскопа сохраняется. Однако одновременное ложное срабатывание двух каналов дефектоскопа — маловероятное событие. При наличии в МШ плоскостного дефекта (непровара, продольной трещины и др.), расположенного в средней части сечения шва, он, как правило, регистрируется обоими каналами дефектоскопа.

При движении трубы компьютер дефектоскопа постоянно вычисляет значение  $ИИ_{K\min}^*$  и корректирует задержку строб-импульса относительно момента возбуждения ПЭП. На результат расчета  $ИИ_{K\min}^*$  могут повлиять дефекты МШ, при которых имеет место уменьшение  $ИИ_{K\min}^*$  относительно случая отсутствия дефектов. Влиянием дефектов шва на формирование зоны контроля можно пренебречь при условии, что их общая условная протяженность по оси шва не более 2 % от про-

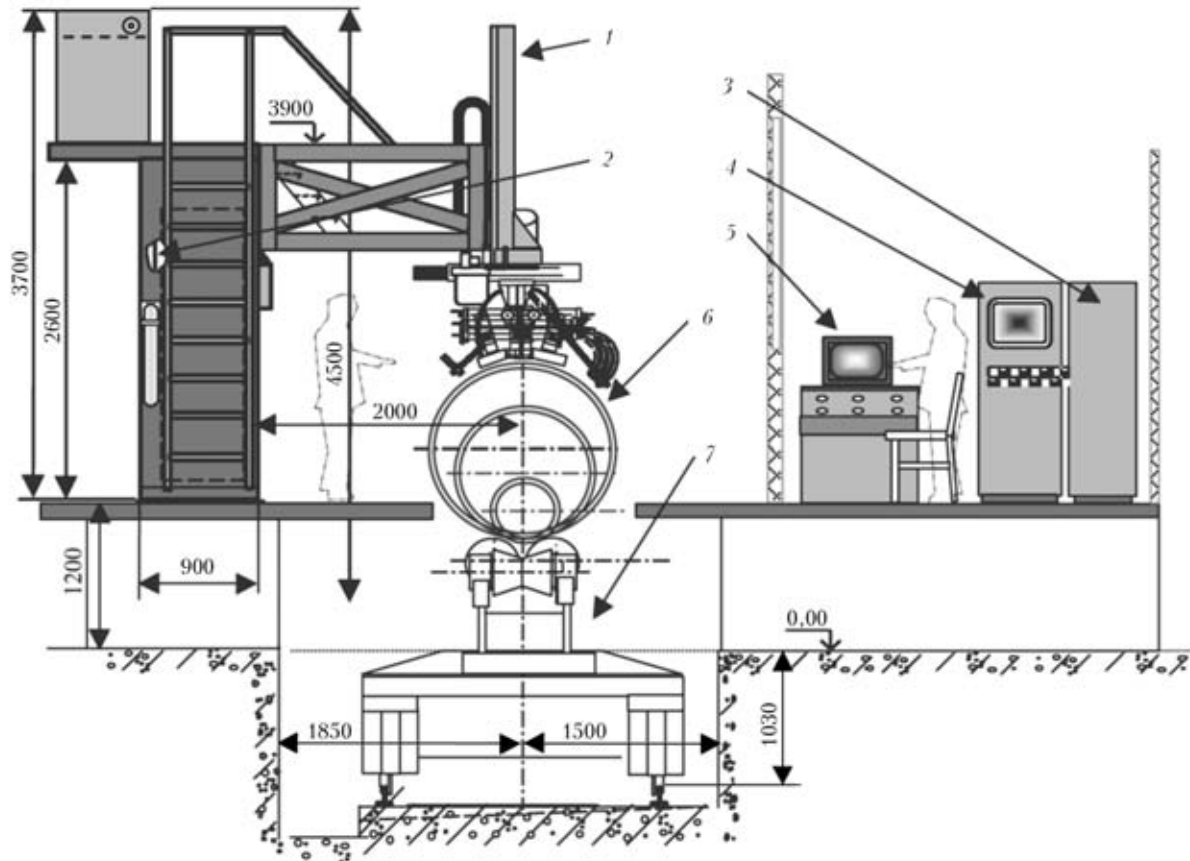


Рис. 4. Структурная схема установки НК360 для АУЗК сварных швов труб  $\varnothing 508...1420$  мм: 1 — технологический агрегат АУЗК; 2 — шкаф силовой; 3 — шкаф управления; 4 — многоканальная УЗ аппаратура «Интроскоп-02.01»; 5 — пульт управления с телемонитором; 6 — контролируемые трубы; 7 — транспортная тележка

тяженности шва, для которого выполнен расчет  $ИИ_K^*_{min}$ .

Описанные способы повышения надежности АУЗК сварного шва труб реализованы в установке контроля НК360 [5], созданной творческим коллективом Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины (Киев) и НИИНК АО «Интроскоп» (Кишинев). Структурная схема установки приведена на рис. 4.

Жесткие требования по времени перенастройки при переходе на контроль труб другого типоразмера, а именно (время перенастройки и установления рабочего режима не должно превышать соответственно 30 и 10 мин), а также требования по надежности системы АУЗК определили архитектуру системы управления установками. Система управления реализована на программируемом контроллере «Siemens» Simatic S7-300 с двумя распределенными станциями ET-200m.

Управление установкой осуществляется по сети PROFIBUS-DP, ручное управление также осуществляется с программируемого пульта фирмы «Siemens» OP-17. В установке применены серводвигатели комплектных приводов фирмы «Rexroth Bosch». Интерфейс блоков управления приводами PROFIBUS-DP.

Базовой сборочной единицей установки, обеспечивающей подачу акустических блоков на позицию контроля, является несущий модуль вертикального перемещения, жесткость конструкции

которого обеспечивает стабильность и повторяемость результатов УЗ контроля. На несущем модуле смонтированы модули горизонтального перемещения. Слежение за швом в процессе контроля осуществляется при помощи системы лазерного слежения за валиком усиления сварного шва на базе промышленного компьютера, разработанной в ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ. В состав системы лазерного слежения входят:

- оптико-электронные сенсорные блоки, установленные на модулях поперечного перемещения с акустическими блоками;

- промышленный компьютер с модулями аппаратной обработки видеoinформации и цифрового ввода-вывода информации;

- устройство отображения информации;

- программное обеспечение.

Управление всеми компонентами установки осуществляется контроллером Simatic S7-300. На модулях горизонтального перемещения смонтированы акустические блоки с УЗ головками, состоящими из соответствующего ПЭП и устройства его закрепления и ориентации. Каждая УЗ головка имеет свой пневматический привод подъема и опускания, обеспечивающий надежный прижим к поверхности трубы. Кроме того, на модулях горизонтального перемещения установлены ручные приводы для регулировки расстояния между УЗ головками при настройке. Установка укомплектована датчиком пути, краскоотметчиками дефектов, устройством предварительного смачивания.

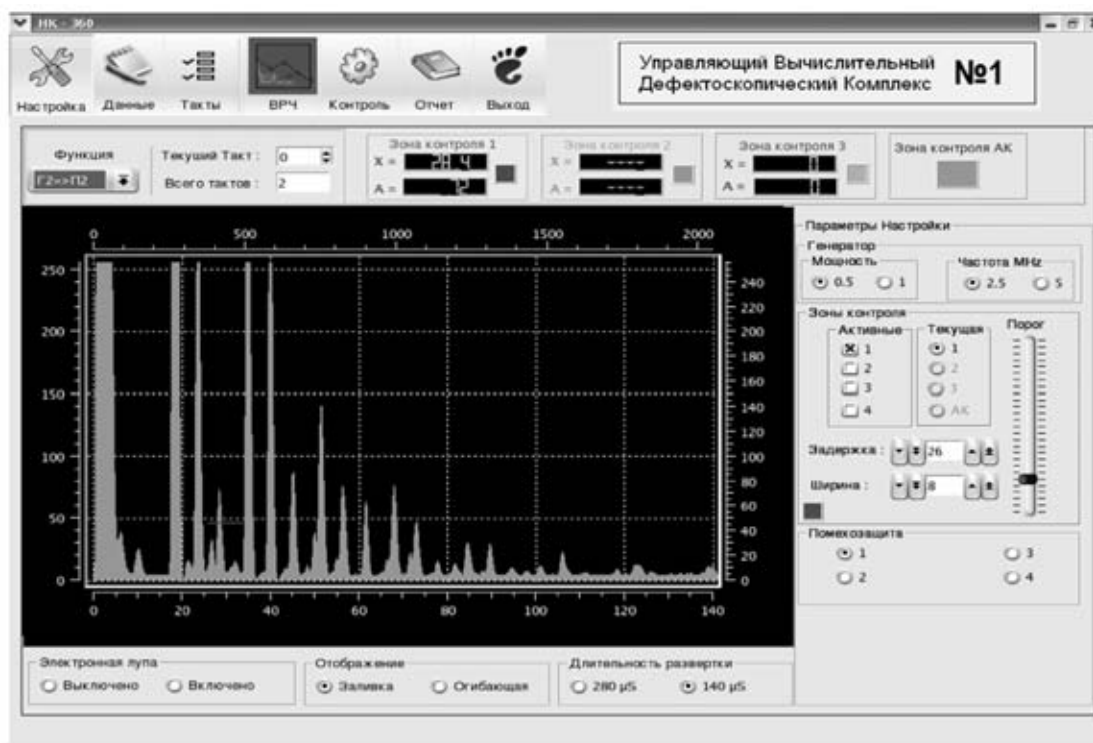


Рис. 5. Изображение А-развертки на экране монитора многоканального дефектоскопа в режиме заливки

Для каждого краскоотметчика используется внешняя индивидуальная емкость с краской, находящаяся под давлением.

Обнаружение дефектов, обработку данных контроля, регистрацию результатов калибровки установки обеспечивает многоканальный УЗ дефектоскоп серии ИНТРОСКОП\* с управляющим вычислительным комплексом на базе промышленного компьютера с развитой структурой обмена с другими составляющими установки. Вся аппаратура смонтирована в шкафу фирмы Sherof.

В многоканальном дефектоскопе выбор и ввод зон контроля металла сварного шва и зон контроля качества акустического контакта (АК) осуществляется программно устанавливаемыми временными строб-импульсами. При контроле сварных швов труб с большой толщиной стенки для выравнивания чувствительности к равновеликим дефектам, расположенным на разном удалении от ПЭП, и для исключения перебраковки труб в дефектоскопе используется система временной регуляции чувствительности (ВРЧ). В каждом канале используется формирователь зон ВРЧ, задающий по две кривые ВРЧ на канал. Они могут быть двух типов — наклонная и сложная. Наклонная кривая ВРЧ формируется по двум точкам и управляется такая кривая ВРЧ регулятором «Наклон». Для изменения усиления используется регулятор «Усиление», осуществляющий изменение общего усиления приемного тракта. При использовании регулятора «Наклон» положение прямой линии изменяет свой наклон вверх по оси, что меняет чув-

ствительность тракта, увеличивая ее со временем. Такую ВРЧ удобно использовать при работе с прямыми или наклонными ПЭП в узких зонах контроля. Сложная кривая ВРЧ формируется путем линейно-кусочной аппроксимации по точкам, количество которых можно задавать заранее. Максимальное количество точек ВРЧ — 20. Управление формой кривой ВРЧ осуществляется при помощи манипулятора «мышь». Примечательно, что результат воздействия сразу отображается на экране дисплея. Изменение чувствительности происходит между двумя точками, не затрагивая другие зоны, что позволяет провести точную настройку по образцам. Переход от одной кривой ВРЧ к другой осуществляется переключением типа ВРЧ в режиме настройки. Если необходимо сформировать в данном канале две кривые ВРЧ, то кривым необходимо присвоить номер 0 или 1. В дальнейшем эти номера можно использовать при построении схемы прозвучивания и тактовой схемы контроля.

Для наблюдения за процессом контроля и настройки отображение результатов контроля в дефектоскопе осуществляется при помощи 19-дюймового монитора, на экране которого отчетливо просматриваются все необходимые сигналы. Для лучшего восприятия видеосигналов А-развертки используется режим заливки (рис. 5), при котором сигналы закрашиваются желтым цветом, хорошо видимым с далекого расстояния, создавая удобства при настройке установки. Режим электронной лупы позволяет выбрать часть развертки и растянуть ее на весь экран для увеличения разрешающей способности экрана.

Конструктивно дефектоскопические каналы выполнены по модульному принципу. Каждый мо-

\*Многоканальный ультразвуковой дефектоскоп серии ИНТРОСКОП производства АО «Интроскоп» (Кишинев) удостоен Диплома V Международной специализированной выставки ДЕФЕКТОСКОПИЯ-2004 (С.-Петербург).

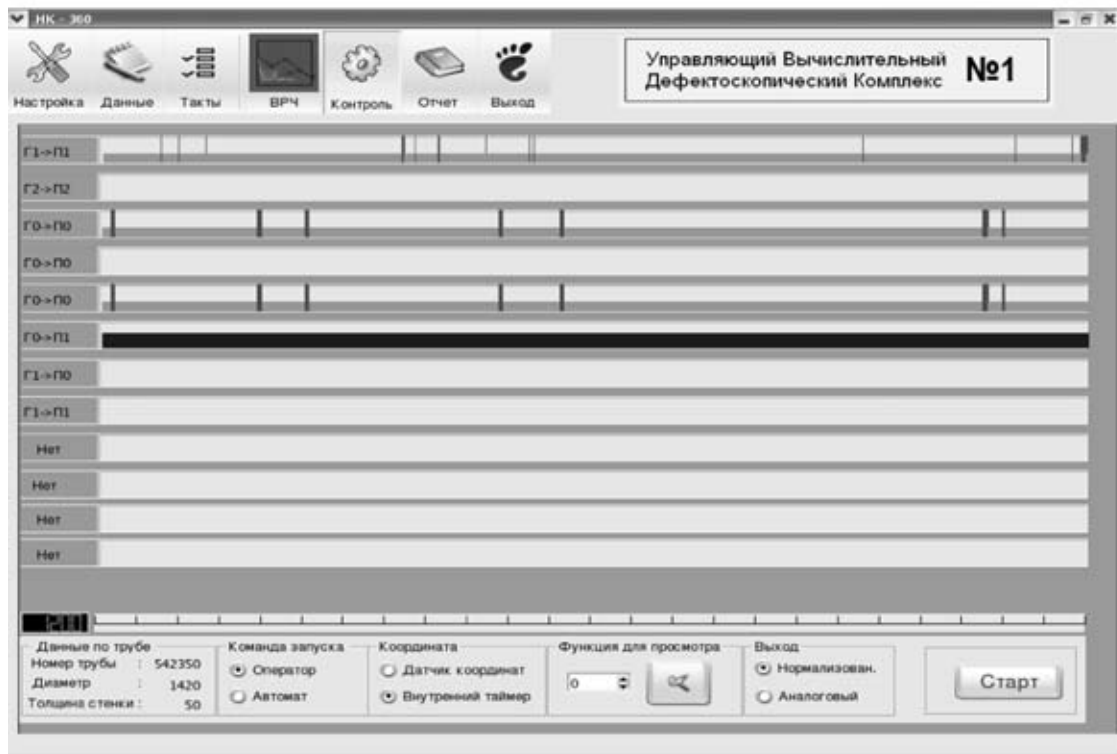


Рис. 6. Вид экрана монитора многоканального дефектоскопа в режиме В-развертки

дуль содержит по два дефектоскопических канала. Все они, а также плата блока автоматики, подключаются к системной шине промышленного компьютера типа РСА-6184. Энергоснабжение всех электронных устройств аппаратуры осуществляется от устройства бесперебойного питания типа APC Smart UPS, защищающего электронное оборудование от снижения напряжения в сети, кратковременных провалов и скачков напряжения. В случае прекращения подачи электроэнергии от сети источник бесперебойного питания переключается в режим работы от аккумуляторных батарей. В таком режиме дефектоскоп может работать до 15 мин. Этого времени вполне достаточно, чтобы закончить контроль трубы, запомнить результаты контроля и произвести штатное отключение аппаратуры.

Для связи с системами автоматики оборудования участка в состав дефектоскопа входит блок управления, который, по готовности к работе механической части комплекса принимает сигналы управления началом контроля, импульсы датчиков перемещения трубы относительно акустических блоков и передает сигналы управления на исполнительные механизмы установки (о наличии дефекта, конце контроля, прекращении сканирования). Особое внимание уделено удобству обслуживания установки наладчиком и оперативности настройки – перенастройки на другой диаметр трубы. Для этого предусмотрен переносной монитор с «мышью» и клавиатурой, позволяющий проводить настройку, находясь непосредственно у акустических блоков установки. Монитор устанавливается у настраиваемого акустического блока и берет управление дефектоскопом на себя. Настраиваемые параметры можно запомнить и оператор

в любой момент может установить ту настройку, которая хранится в памяти компьютера. Это позволяет реализовать различные варианты прозвучивания сварного шва. При перевалке стана ввод новых режимов дефектоскопа занимает не более минуты.

Вычислительный комплекс дефектоскопа позволяет проводить обработку полученной информации о дефекте по различным браковочным критериям – амплитуде, протяженности, количеству дефектов на заданную протяженность сварного шва. В процессе контроля оператору удобно наблюдать за процессом контроля по развертке типа В (рис. 6), которая позволяет оценить работу всей многоканальной системы (канала обнаружения дефекта, его положение относительно амплитуды, наличие акустического контакта).

Результат АУЗК является файл дефектов, помещаемый в базу данных дефектоскопа, и протокол контроля, выводимый на печать. Имеется интерфейс для обмена информацией с АСУ ТП цеха.

Сварной шов контролируется акустическими блоками, которые соединены с многоканальным дефектоскопом. Количество каналов контроля, тактовая схема и их работа определяются параметрами трубы и схемой прозвучивания. Установка обеспечивает прозвучивание сварного шва по всей толщине стенки трубы с обеих сторон шва, выявление различно ориентированных дефектов, автоматический контроль качества акустического контакта по всем дефектоскопическим каналам при помощи зон диагностики.

При работе раздельно-совмещенных ПЭП контроль АК проводится в том же такте, в других случаях контроль АК проводится по амплитуде теневого сигнала, пришедшего от ПЭП, располо-



женного с противоположной стороны шва и ориентированного навстречу проверяемому ПЭП в отдельном временном такте.

Чувствительность системы достаточна для автоматического обнаружения дефектов сварного шва, амплитуда эхосигналов от которых равна или превышает эхосигналы от искусственных отражателей в виде прямоугольного паза шириной 1 мм протяженностью 50 мм и глубиной 5 % от толщины стенки труб, сквозного отверстия в шве диаметром 1,6 мм, прямоугольного паза, выполненного поперек шва, глубиной 5 % от толщины стенки труб. Временная нестабильность установки по каждому каналу не превышает 2 дБ за 8 ч непрерывной работы.

**Основные технические характеристики установки НК360 для АУЗК продольных сварных швов труб диаметром 508... 1420 мм с толщиной стенок 7... 50 мм**

Рабочая частота, МГц .....	2,5; 4,0
Скорость контроля, м/мин, максимальная .....	30
Диапазон регулирования скорости, не менее .....	0,3... 30
Количество УЗ каналов, шт. ....	20
Частота следования зондирующих импульсов по каждому каналу обеспечивает посылку импульсов на 1 мм длины шва, не менее .....	2
Запас чувствительности по каналам в динамическом режиме, не хуже, дБ .....	12
Неконтролируемая зона на концах труб не более, мм .....	30
Точность слежения за валиком усиления сварного шва в горизонтальной плоскости, мм, в пределах .....	±0,5
Регулировка акустического зазора, мм, в пределах .....	0... 5
Расход воды, л/мин, не более .....	50
Потребляемая мощность, кВА, не более .....	8

При работе установки предусмотрены:

- нанесение отметок разного цвета на поверхность трубы, определяющих тип и местоположение дефектов, а также участков с неудовлетворительным акустическим контактом;
- выдача протокола контроля на каждую трубу, включающего как минимум номер трубы, амплитуды эхосигналов обнаруженных дефектов с указанием их координат, протяженности, номера канала, обнаружившего дефект;
- калибровка установки на стандартных образцах предприятия (СОП) — имитаторах дефектов как в статическом, так и динамическом режиме при скорости перемещения СОП, близкой к скорости перемещения труб в процессе контроля; результаты калибровки также протоколируются;
- регистрация В-развертки по каждому каналу с возможностью просмотра или печати ин-

формации по всем или части каналов на бумажном носителе;

- обеспечение возможности передачи информации о результатах контроля в систему АСУ ТП цеха посредством локальной сети Ethernet.

**Выводы**

Новые способы контроля сварного шва, внедренные в алгоритм работы многоканальной УЗ аппаратуры серии ИНТРОСКОП в совокупности с современным высокотехнологичным комплектующим оборудованием, используемым при создании установки НК360, позволили обеспечить высокую надежность АУЗК сварного шва труб большого диаметра.

Внедрение установки НК360 в технологической линии на Выксунском металлургическом заводе (Россия) рассчитано на обеспечение 100-процентного УЗ контроля на приоритетном направлении развития завода — выпуске прямошовных сварных труб диаметром 508... 1420 мм с толщиной стенки 7... 50 мм для магистральных трубопроводов. Установка выполнена для контроля качества сварного шва в соответствии с требованиями международных стандартов API 5L и DIN EN 10246-15.

*Авторы выражают благодарность ученым и специалистам, принявшим участие в теоретических исследованиях и создании оборудования АУЗК сварных швов труб и давших полезные советы при написании статьи: В. Т. Боброву, В. Ф. Кириякову, А. Н. Ралдугину, О. Ф. Лобанову, А. П. Копылову, А. Ф. Захарову, И. В. Ефимову, Е. В. Гавреву, Д. В. Шарпановскому, В. С. Загорюлько.*

1. *Неразрушающий контроль труб для магистральных нефтегазопроводов* / Под ред. Г. Н. Сергеева, Ф. И. Вайсвайлера. — М.: Металлургия, 1985. — 420 с.
2. *Щербинский В. Г.* Технология ультразвукового контроля сварных соединений. — М.: Тиссо, 2003. — 326 с.
3. *Неразрушающий контроль: Справ. в 7 т.* / Под общ. ред. В. В. Клюева. — Т. 3: Ультразвуковой контроль / И. Н. Ермолов, Ю. В. Ланге. — М.: Машиностроение, 2004. — 864 с.
4. *Способы повышения достоверности УЗК сварных швов труб с валиком усиления* / А. А. Ткаченко, В. Т. Бобров, В. Ф. Кирияков, В. С. Гаврев // В мире неразруш. контроля. — 2004. — № 3 (25). — С. 28–31.
5. *Найда В. Л., Мозжухин А. А., Лобанов О. Ф.* Новое поколение оборудования для автоматизированного ультразвукового контроля сварных труб // Автомат. сварка. — 2004. — № 9. — С. 58–62.

ОКТБ ин-та электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Киев

Поступила в редакцию 21.11.2004