

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ ПОВРЕЖДЕННОСТИ МОНТАЖНЫХ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ РЕГЕНЕРАТОРА УСТАНОВКИ КАТАЛИТИЧЕСКОГО КРЕКИНГА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ УЗ-ОБСЛЕДОВАНИЯ

Е. А. ДАВЫДОВ, В. П. ДЯДИН

ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины. 03680, г. Киев-150, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: davydov@paton.kiev.ua

Рассмотрен пример достаточно сложного и объемного диагностического обследования регенератора установки каталитического крекинга. Показаны основные особенности, на которые следует обращать внимание при проведении обследования. Изложен прием адаптации метода TOFD для обследования и оценки поврежденного нефтехимического оборудования. Библиогр. 22, рис. 4.

*Ключевые слова:* ультразвуковой контроль, диагностическое обследование, метод TOFD

Рассмотрен случай УЗ контроля при проведении диагностического обследования регенератора установки каталитического крекинга. Конечной целью обследования регенератора являлось определение возможности ремонтно-восстановительных работ поврежденных участков (сварных соединений).

Для решения этой задачи на начальном этапе обследования были проведены стандартные исследования, которые включали:

– анализ технической документации и результатов предыдущих диагностических обследований;

– визуальный контроль поврежденных мест регенератора и определение мест возможных вырезов поврежденного металла для дальнейших лабораторных исследований.

Результаты этих исследований представлены в работе [1], где отмечается, что экономическая целесообразность проведения ремонтно-восстановительных работ зависит от степени поврежденности сварных швов и основного металла, находящегося вне зоны сварных соединений.

Учитывая, что внутренний осмотр аппарата был невозможен, возник вопрос о выборе оптимального метода неразрушающего контроля, который позволил бы оценить степень поврежденности сварных соединений и прилегающим к ним участкам основного металла.

## **Выбор оптимального метода проведения НК.**

Для выявления внутренних несплошностей используются объемные методы НК. В практике обследования сосудов и металлических конструкций их всего два – рентген (проникающие излучения) и ультразвук. В ряде случаев можно использовать электромагнитные методы, с помощью которых выявляются подповерхностные не-

сплошности. Применение, например, магнитопорошкового метода весьма эффективно не только по затратам времени, средств, но и информативно, так как индикации очень хорошо коррелируются с реальными геометрическими характеристиками несплошностей. Правда, использование этих методов возможно, если несплошности располагаются достаточно близко от поверхности контроля, обычно для результатов с хорошей достоверностью дефекты должны быть не глубже 1...3 мм от поверхности. Учитывая, что толщина обечаек в верхней части корпуса составляет 20...22 мм использование данного подхода не позволяло надеяться на выявление несплошностей и качественную оценку границ поврежденности сварного соединения.

Применение рентгеновского метода контроля было исключено по причине наличия торкрет-бетона на внутренней поверхности и большей частью отсутствием доступа к внутренней поверхности. Кроме этого, рентген не очень хорошо выявляет трещиноподобные несплошности. Для надежного выявления нужно правильно ориентировать направление излучения по отношению к трещине. Оценка размеров трещин в направлении толщины стенки в этом случае также очень затруднительна. Таким образом, арсенал методов контроля сузился до возможностей УЗК.

В настоящее время возможности УЗК достаточно обширны даже для штатного применения. Целый ряд европейских стандартов уже принят в Украине как ДСТУ [2–19]. В целом, использование и выбор стандартов является добровольным и во многом может определяться ответственностью, опытом и компетентностью исполнителя.

С одной стороны, наличие достаточно широких документированных (подтвержденных)

возможностей позволяет определять различные количественные и качественные параметры несплошностей. С другой, использование всего арсенала возможностей связано с большими затратами, кроме того, избыточная информация просто становится невостребованной. Поэтому для эффективного контроля необходимо выбрать оптимальные схемные решения, провести их адаптацию и проверку.

Выявление и анализ несплошностей оборудования, которое отработало свой расчетный ресурс, практически невозможно выполнять только в рамках существующих отраслевых инструкций. Обычно отечественные НТД не предусматривают возможность адаптации схемных решений под конкретные ситуации. В инструкциях достаточно жестко регламентированы схемы контроля и параметры пьезоэлектрического преобразователя

(ПЭП). Изменение угла ввода уже рассматривается как серьезное отступление от требования норматива. Некоторые нормативы декларируют возможность адаптации схемных решений к задачам контроля, но размытость положений, почти всегда их двусмысленность, отсутствие такой практики сводит все на нет. Формальный подход, конечно, всегда будет проигрывать конкретно продуманным схемным решениям. В частности, ранее неоднократно выполненный УЗК (в соответствии с требованиями НТД) не выявил ни одной несплошности ни в сварных соединениях, ни в околошовных зонах. Причем контроль выполнялся сертифицированными специалистами в строгом соответствии с положениями НТД. Следует при этом отметить, что факт наличия трещин в металле реактора был известен, не были установлены места, в которых эти трещины присутствуют, характер трещин и пр.

Объект контроля и основные его геометрические характеристики приведены на рис. 1. Понятно, что даже выборочный (первоначальный) контроль должен быть значительным по объему.

Для выявления и оценки несплошностей были предложены следующие подходы:

1) приемы стандартного эхо-метода для относительно быстрого выявления трещин и их примерной локализации.

2) для количественной оценки высоты трещин использование метода TOFD.

Учитывая, что трещины образуют угловой отражатель с поверхностью объекта, эта особенность упрощает и определяет параметры контроля: угол ввода 40 или 50°, частота 2,5 МГц. Для большей разрешающей способности полезно дополнительно использовать преобразователи с более высокой частотой, например 5 МГц. Особенностью использования эхо-метода в нашем случае является неопределенность положения трещин, поэтому для достоверного выявления необходимо осуществлять дополнительно угловое сканирование. При этом диапазон углового сканирования можно сузить, если учесть, что основная масса трещин образуется по механизму межзеренного коррозионного растрескивания под напряжением на внутренней поверхности и, следовательно, их преимущественное расположение будет поперек сварного соединения (для кольцевых сварных соединений). Во время проведения обследования полезно подстраиваться под изменяющиеся условия (плотность несплошностей, зона сканирования, шероховатость поверхности и пр.).

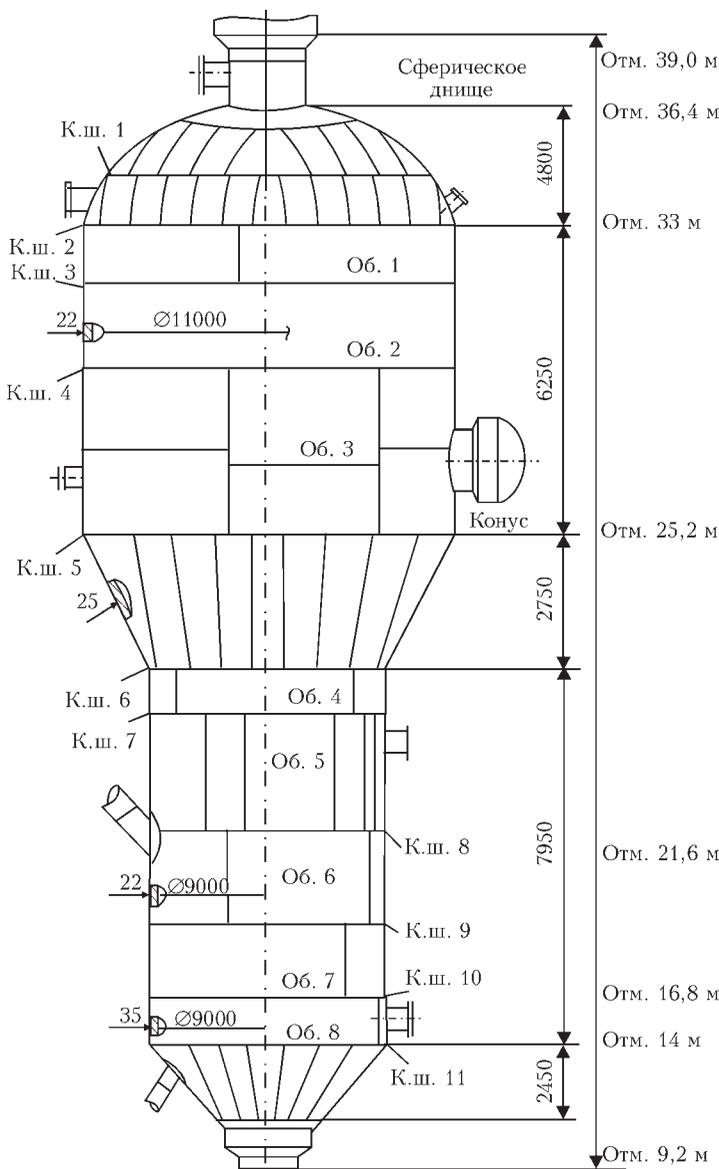


Рис. 1. Общий вид объекта контроля с обозначениями сварных швов (кольцевые швы К.ш.1–К.ш.7) и элементов аппарата (обечайки Об.1–Об.8)

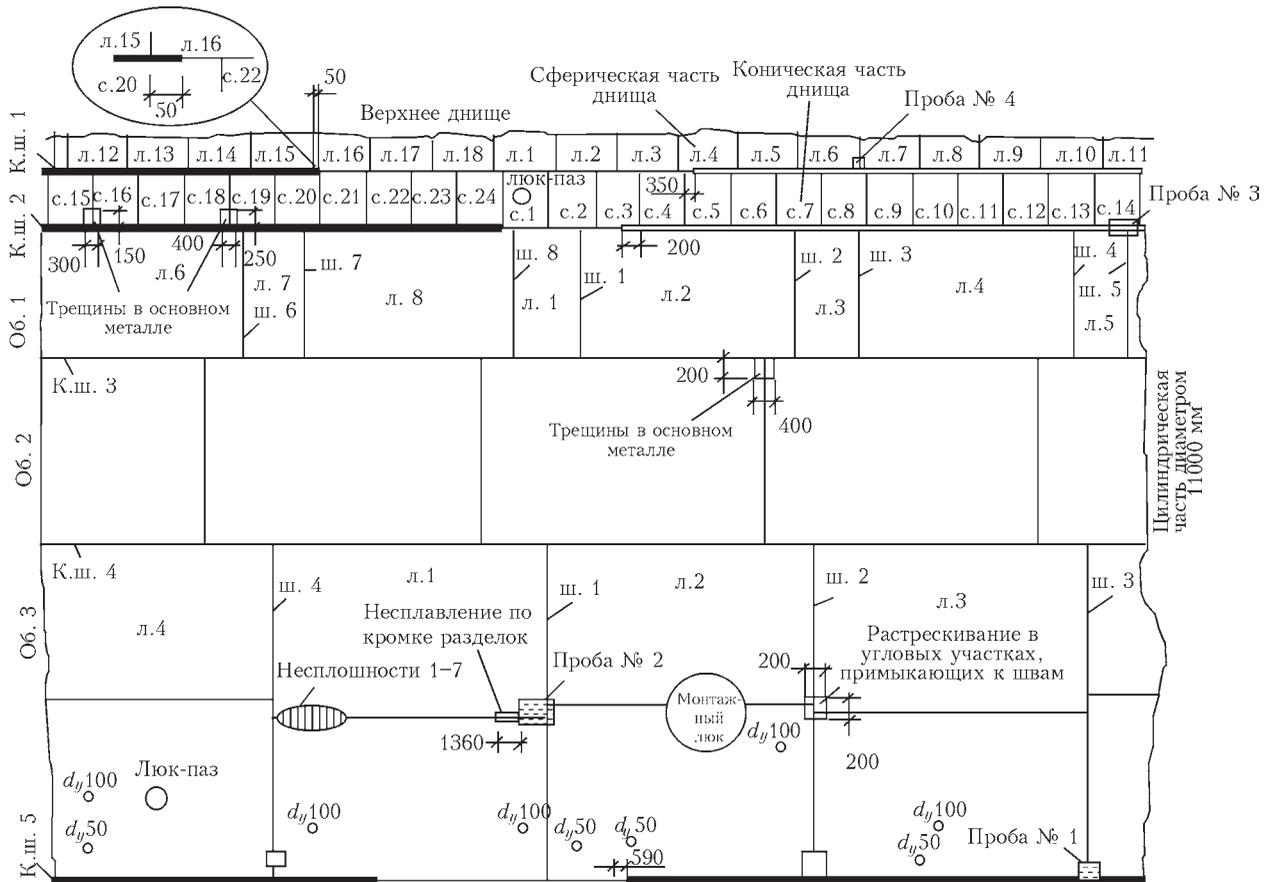


Рис. 2. Пример фрагмента корпуса регенератора с выявленными трещиноподобными несплошностями: выделенные участки кольцевых швов имеют плотность несплошностей 30...50 несплошность/метр (л.1–л.8 – листы; с.1–с.24 – сегменты; ш.1–ш.4 – швы)

Для выявления несплошностей и их примерного расположения возможностей эхо-метода вполне достаточно. Например, протяженность несплошности эхо-методом может быть выполнена с приемлемой погрешностью, причем, чем больше протяженность, тем выше относительная точность оценки. Для оценки несплошностей можно пользоваться рекомендациями [13, 14]. Принципиальной сложностью эхо-метода является невозможность измерения высоты несплошностей, что в данном случае является крайне важным параметром. Высота трещины определяет ее критический размер, а значит однозначное решение о необходимости ремонта данного участка.

В результате выполненного УЗ контроля (по пункту 1 – стандартный эхо-метод) было обнаружено:

- отсутствие расслоения основного металла регенератора;

- наличие системных трещиноподобных несплошностей в кольцевых сварных швах К.ш. 1, К.ш. 2, К.ш.5 (см. рис. 1), плотность трещин на некоторых участках швов превышала 20...30 несплошностей на метр, на остальных участках также обнаружены трещиноподобные несплошности, но не столь высокой плотности. Наибольшие размеры трещиноподобных несплошностей были

оценены величиной 100...120 мм от кольцевого шва в сторону основного металла. К.ш.5 имеет преимущественное растрескивание сварного шва в направлении об. № 3 на расстояние не более 100 мм, в основном, не более 50 мм. Развитие трещин в направлении конусной части незначительное и составляет около 20...35 мм;

- в сварных соединениях К.ш. 3, К.ш. 4 (см. рис. 1) выявлены многочисленные трещиноподобные несплошности. Несплошности развиваются с внутренней стороны. Протяженность наибольших несплошностей составляет около 50...60 мм в каждую сторону от шва;

- при выборочном контроле не обнаружено трещиноподобных несплошностей в нижней цилиндрической части регенератора К.ш 6...11 (см. рис. 1).

По результатам контроля (рис. 2) можно понять, что консервативный подход, предусматривающий ремонт любых обнаруженных трещин, является крайне затратным и экономически нецелесообразным. Как уже было сказано, наличие трещин не является однозначным следствием необходимости ее ремонта или прекращения эксплуатации регенератора. Решение принимается исходя из геометрических характеристик обнаруженных трещин и основной характеристикой яв-

ляется их высота. Разумеется, что кроме геометрических размеров трещин для оценки надежной эксплуатации принимается во внимание целый ряд других параметров объекта (конструктивные особенности, механические свойства металла, наличие остаточных напряжений и пр.).

Измерение высоты трещин на основе ДСТУ [15–19] обеспечивает погрешность на уровне 1...2 мм, а для относительных измерений эта погрешность может быть уменьшена. Использование указанных стандартов возможно только при наличии оборудования с позиционированием положения ПЭП, накоплением результатов сканирования и последующей программной обработкой. Однако интерпретация полученных данных требует некоторых усилий и времени, что вполне приемлемо для небольшого числа несплошностей, но для значительного количества может быть проблемой. В нашем случае из-за большого объема контроля и значительного количества трещин вопрос о скорости проведения контроля оказался принципиальным. Для решения указанной проблемы был предложен механизм обработки и визуализации данных сканирования, который позволил проводить контроль в несколько раз быстрее не прибегая к детальному анализу формирования изображения и не требующий от оператора глубокого понимания процесса образования волн дифракции.

Дифрагированный сигнал по своей природе имеет достаточно низкие энергетические характеристики по сравнению с первичным УЗ сигналом (за некоторым исключением). Эта особенность затрудняет или даже не позволяет выделять сигналы волн дифракции пороговым способом, как это традиционно принято в эхо-методе.

Для повышения достоверности контроля предложен механизм выделения сигналов, дифрагированных на крае трещины. Возможность выделения дифрагированных волн (собственно, вершин трещин) основывается на зависимости амплитудно-пространственных (временных) характеристик, а именно, на зависимости амплитуды сигнала волны, дифрагированной на вершине трещины, от положения сканирующей системы преобразователей. Другими словами, одновременный анализ кинематических и амплитудных характеристик дифракционных волн дает возможность выделить именно эти волны среди иных сигналов, имеющих другие кинематические и динамические свойства.

Схема типового метода TOFD представлена на рис. 3. Первый преобразователь излучает УЗ волну, а второй принимает. Расстояние между преобразователями постоянно и не меняется в процессе сканирования.

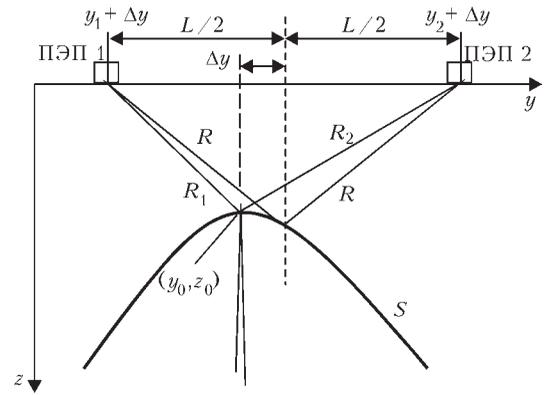


Рис. 3. Схема контроля по методу TOFD:  $S$  – расчетный «след» вершины трещины с координатами  $(y_0, z_0)$ ;  $R_1, R_2$  – расстояния от вершины трещины до соответствующего ПЭП;  $\Delta y$  – величина смещения средней точки между ПЭП от вершины трещины  $(y_0)$ ;  $R = (R_1 + R_2)/2$

Предположим, что вершина трещины имеет координаты  $(z_0, y_0)$ . При смещении системы преобразователей на  $\Delta y$  мы получим расчетные значения координат вершины трещины  $(y', z')$ , которые будут располагаться на определенной кривой  $S(y_0, z_0)$ . В этом случае  $S(y_0, z_0)$  будет определяться следующим параметрическим выражением:

$$S_{(y_0, z_0)} = \begin{cases} z' = \sqrt{\left( \frac{\sqrt{(y_1 - \Delta y)^2 + z_0^2} + \sqrt{(y_2 + \Delta y)^2 + z_0^2}}{2} \right)^2 - \left( \frac{L}{2} \right)^2}, \\ y' = y_1 + \left( \frac{y_2 - y_1}{2} \right) + \Delta y = y_0 + \Delta y, \end{cases} \quad (1)$$

где  $y_1$  и  $y_2$  – первоначальные положения излучающего и приемного преобразователя;  $L$  – расстояние между преобразователями согласно схеме контроля, приведенной на рис. 3.

В общем случае, согласно обозначениям на рис. 3, амплитудную зависимость на ПЭП2 от положения преобразователей можно представить количественно:

$$A_{\text{ПЭП 2}} \left( t + \frac{R_1 + R_2}{C_L}, y' \right) = F_{y_0, z_0}(y') A_{\text{ПЭП 1}}(t, y'),$$

где  $A_{\text{ПЭП 1}}, A_{\text{ПЭП 2}}$  – сигналы излучающего преобразователя ПЭП 1 и приемного ПЭП 2 или  $F_{y_0, z_0}(y') = A_{\text{ПЭП 2}}/A_{\text{ПЭП 1}}$ .

В дальнейшем обозначим  $\frac{R_1 + R_2}{C_L} = f(y')$ .

Для любой точки пространства  $(y, z)$ , в которой может находиться вершина трещины,  $F_{y_0, z_0}(y')$  определяет амплитудную зависимость для ПЭП, включенных по раздельной схеме (см. рис. 3). Изменение амплитуды дифрагированного сигнала на рассматриваемой кривой  $S(y_0, z_0)$  носит вполне определенный закономерный характер, который определяется природой образования волн дифракции и особенностями акустических полей преобразователей:

$$F_{y_0, z_0}(y') = \Phi_1(y', y_0, z_0) \Phi_2(y', y_0, z_0) W(y', y_0, z_0). \quad (2)$$

Здесь  $\Phi_1(y', y_0, z_0)$ ,  $\Phi_2(y', y_0, z_0)$  – определяет диаграмму направленности преобразователей ПЭП 1 и ПЭП 2 соответственно;  $W(y', y_0, z_0)$  – определяет зависимость амплитуды дифрагированной волны, образованной на вершине трещины.

Для инженерных приложений можно использовать простую эмпирическую зависимость диаграммы направленности вблизи акустической оси, предложенную в работе [21]:

$$\Phi(\varphi) = \cos\left(\frac{\pi}{5\varphi_0} \varphi\right),$$

где  $\varphi$  – угол отклонения от акустической оси;  $\varphi_0$  – раскрытие основного лепестка на уровне 0,8.

Для более точных количественных оценок и численного анализа можно применить выражение, полученное в работе [22]:

$$\Phi(\theta) = \frac{\sin\left[Ka_2(\sin\gamma - \sin\theta)\cos^{-1}\beta\right]}{Ka_2(\sin\gamma - \sin\theta)\cos^{-1}\beta},$$

где  $\theta$  – угол наблюдения, отсчитываемый от нормали к границе раздела в плоскости падения;  $K$  – волновое число для данного типа волны;  $a_2$  – радиус пьезопластины преобразователя;  $\gamma$  и  $\beta$  – углы преломления и падения ультразвуковой волны на границу раздела призма-объект

контроля ( $\beta = \arcsin\left(\frac{C_{LIII}}{C_{LCC}} \sin\gamma\right)$ ;  $C_{LIII}$  – скорость продольной волны в призме;  $C_{LCC}$  – скорость продольной волны в среде объекта контроля).

Количественную зависимость дифрагированных волн можно определить, например, следующим образом [20]:

$$u_{\text{диф}} = \pm uW\left(\vartheta\sqrt{\frac{kr}{\pi}}\right)e^{i(\omega t - kr)},$$

где  $u$  – амплитуда сигнала на дифрагирующей границе трещины;  $k$  – волновое число;  $\omega$  – круговая частота;  $t$  – время;  $\vartheta, r$  – цилиндрические координаты рассматриваемой точки относительно вершины трещины, угол  $\vartheta$  – отсчитывается от направления падения первичной волны (знак «+» берется, когда точка наблюдения расположена в зоне тени, и «-» в освещенной области).

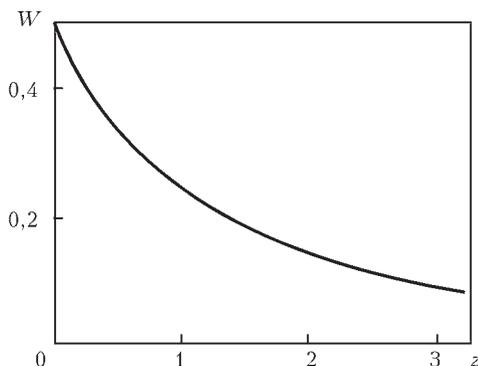


Рис. 4. График модуля функции  $W(z)$

Функция  $W(z)$  является комплексной и выражается через вырожденную гипергеометрическую функцию:

$$W(z) = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \Psi\left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{i\pi z^2}{2}\right).$$

График модуля функции  $W(z)$  показан на рис. 4.

В зоне глубокой тени зависимость амплитуда дифрагированной волны имеет асимптотическое представление:

$$W(z) = \pm \frac{1}{\sqrt{2\pi kr} |\vartheta|} e^{i(\omega t - kr - \frac{\pi}{4})}.$$

Указанную зависимость  $F_{y_0, z_0}(y')$  можно получить экспериментально на тестовых образцах, что для небольших диапазонов толщин относительно несложно выполнить, а с точки зрения практических работ дает всегда более точные результаты. В данном случае зависимость  $F_{y_0, z_0}(y')$  определялась на фрагментах вырезки из корпуса регенератора, которые содержали трещины различной глубины (см. рис. 2).

Уравнение предполагаемой вершины трещины  $(y_0, z_0)$ , которая может находиться в любой точке сканируемого пространства  $\{y, z\}$ , преобразуем следующим образом:

$$A_{y_0, z_0}(t) = \int_{S_{y_0, z_0}} \left(F_{y_0, z_0}(y')\right)^{-1} A_{\text{ПЭП2}}(t - f(y'), y') dS_{y_0, z_0}. \quad (3)$$

Если вершина трещины действительно совпадает с координатами  $(y_0, z_0)$ , то функция  $A_{y_0, z_0}(t)$  практически представляет излучаемый импульс преобразователем ПЭП 1 –  $A_{\text{ПЭП1}}(t)$ . Некоторое различие между импульсами  $A_{\text{ПЭП1}}(t)$  и  $A_{y_0, z_0}(t)$  будет из-за неучтенного затухания акустических волн в материале объекта контроля. В принципе эти различия нетрудно устранить введением соответствующих корректирующих поправок, но в данном случае зависимость (2) определялась экспериментально на натуральных образцах, поэтому учет реального затухания входит в зависимость (2) в неявном виде.

Дифрагированная волна в области тени часто соизмерима с шумами в канале приема сигналов ПЭП2, поэтому выражение (3) позволяет сформировать приемлемый по амплитуде сигнал от вершины трещины или, проще говоря, выявить трещиноподобную несплошность. Таким образом, наличие сигнала  $A_{y_0, z_0}(t)$ , совпадающего по форме с сигналом, возбуждаемым преобразователем ПЭП 1, уже является подтверждением наличия несплошности в металле. Однако не всегда наличие сигнала означает, что в металле именно трещина. Компактные несплошности (обычно это небольшие включения в металле) формируют очень похожий сигнал по кинематическим характеристикам, поэтому, чтобы отличить компактную

несплошность от трещины необходимо выполнять анализ фаз сигналов, провести дополнительные сканирования и пр. Такой подход является правильным, позволяет весьма достоверно определить тип несплошности, дополнительные характеристики, но занимает много времени. Здесь такой подход был неприемлем из-за больших затрат времени и невысокой производительности. Задачей являлся экспресс-контроль, в первую очередь, оценки высоты наиболее развитых трещин. Поэтому для отграничения трещиноподобных несплошностей от иных несплошностей использовались особенности их динамических характеристик, характерные только для трещин. С этой целью была использована количественная оценка:

$$I_{y_0, z_0}(t) = \int_0^t \int_{S_{y_0, z_0}} \left( F_{y_0, z_0}(y_0) A_{\text{ПЭП } 2}(t - f(y_0), y_0) - F_{y_0, z_0}(y') A_{\text{ПЭП } 2}(t - f(y'), y') \right)^2 dS_{y_0, z_0} dt.$$

По крайней мере, для времени  $t$ , не превышающего длительности импульса излучающего преобразователя  $\tau$ , значение  $I_{y_0, z_0}(\tau)$  для трещин должно быть близко к нулю, а для несплошностей, которые отличаются от трещиноподобных, значение  $I_{y_0, z_0}(\tau)$ , будет существенно отличаться от нулевого. Разумеется, эту оценку следует выполнять только для точек, в которых сформированы адекватные сигналы  $A_{y_0, z_0}(t)$ , например, удовлетворяющие критерию:

$$\int_0^{\tau} (A_{y_0, z_0}(t))^2 dt \geq J_{y_0, z_0}, \quad (4)$$

где  $J_{y_0, z_0}$  – четверть величины  $\int_0^{\tau} (A_{y_0, z_0}(t))^2 dt$ , полученной во время настройки на тестовых образцах.

Значение  $F_{y_0, z_0}(y_0) A_{\text{ПЭП } 2}(t - f(y_0), y_0)$  также можно получить во время настройки.

Последовательно выполнив указанную процедуру ко всем точкам пространства  $(y, z)$ , отвечающих соотношению (4), вычисляем количественную характеристику каждой точки  $I_{y, z}$ :

$$[y, z] \Rightarrow I_{y, z} = \int_0^{\tau} (A_{y, z}(t))^2 dt.$$

Визуализируя  $I_{y, z}$  или  $1/I_{y, z}$ , что более наглядно, получаем преобразованное изображение результатов сканирования. Максимальные значения  $1/I_{y, z}$  соответствуют положениям вершин трещин. В общем, картина визуализация будет зависеть от уровня отображения. Конкретное значение уровня отображения устанавливается в процессе проведения калибровки и тестовых испытаний. Обычно это значение превышает сигналы, которые отра-

жаются от границ трещин зеркально или диффузно. Вся процедура оценки высоты трещин можно выполнять автоматически, без участия оператора. Поэтому задача специалиста сводится только к сканированию (сбору данных), оценке участка контроля по максимальной высоте трещин и его привязке к общей системе координат регенератора. Данный подход позволил относительно быстро определить участки регенератора, на которых необходимы ремонтно-восстановительные работы.

### Выводы

Предложен способ обработки данных, который позволяет достаточно быстро оценивать степень опасности трещиноподобных несплошностей. Способ основан на совместном анализе кинематических и динамических характеристик волн, дифрагированных на несплошностях. В ряде случаев рассмотренные подходы к диагностике оборудования, имеющего обширные участки повреждений, могут быть весьма полезны.

В целом диагностика сложного оборудования обычно не является линейной задачей, которая бы базировалась на нескольких общепринятых технологических приемах, например, документированных методах НК и прочностных расчетах. Достаточно часто необходима существенная адаптация этих методов к особенностям объекта контроля.

### Список литературы

1. Позняков В. Д., Дядин В. П., Давыдов Е. А. Диагностическое обследование поврежденного регенератора установки каталитического крекинга с целью определения необходимых ремонтно-восстановительных работ для безопасной эксплуатации // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2016. – № 1. – С. 45–49.
2. ДСТУ EN 12668-1:2015. Неруйнівний контроль. Характеристика і верифікація обладнання для ультразвукового контролю. Частина 1. Прилади.
3. ДСТУ EN 12668-2:2015. Неруйнівний контроль. Характеристика і верифікація обладнання для ультразвукового контролю. Частина 2. Перетворювачі.
4. ДСТУ EN 12668-3:2015. Неруйнівний контроль. Характеристика і верифікація обладнання для ультразвукового контролю. Частина 3. Комбіноване обладнання.
5. ДСТУ ISO 10375:2015. Контроль неруйнівний. Ультразвуковий контроль. Визначення характеристик перетворювача й акустичного поля.
6. ДСТУ EN ISO 11666:2014. Неруйнівний контроль зварних швів. Ультразвуковий контроль. Рівні приймання.
7. ДСТУ EN ISO 16810:2016. Неруйнівний контроль. Ультразвуковий контроль. Загальні вимоги.
8. ДСТУ EN ISO 16811:2015. Неруйнівний контроль. Ультразвуковий контроль. Налаштування чутливості і діапазону розгортки.
9. ДСТУ EN ISO 17640:2014. Неруйнівний контроль зварних швів. Ультразвуковий контроль. Способи, рівні контролю і оцінювання.
10. ДСТУ EN 10160:2015. Контроль ультразвуковий сталевих виробів плоскої форми завтовшки 6 мм або більше (метод відбиття).
11. ДСТУ EN ISO 16826:2015. Неруйнівний контроль. Ультразвуковий контроль. Виявлення несущальностей перпендикулярних до поверхні.
12. ДСТУ EN 583-4:2007. Неруйнівний контроль. Ультразвуковий контроль. Частина 4. Контролювання несущальностей, перпендикулярних до поверхні.

13. DSTU EN ISO 16827:2015. Неруйнівний контроль. Ультразвуковий контроль. Визначення характеристик і розмірів несущільностей.
14. DSTU EN ISO 23279:2014. Неруйнівний контроль зварних швів. Ультразвуковий контроль. Характеристика індикацій у зварних швах.
15. DSTU EN ISO 10863:2014. Неруйнівний контроль зварних швів. Ультразвуковий контроль. Застосування дифракційно-часового методу (TOFD).
16. DSTU EN ISO 15626:2014. Неруйнівний контроль зварних швів. Дифракційно-часовий метод (TOFD). Рівні приймання.
17. DSTU EN ISO 16828:2015. Неруйнівний контроль. Ультразвуковий контроль. Дифракційно-часовий метод для виявлення та визначення розмірів несущільностей.
18. DSTU ENV 583-6:2005. Неруйнівний контроль. Контроль ультразвуковий. Частина 6. Дифракційно-часовий метод для виявлення і визначення розмірів несущільностей.
19. DSTU CEN/TS 14751:2008. Зварювання. Використання дифракційно-часового методу (TOFD) для контролю зварних швів.
20. Сейсморазведка. Справочник геофизика; под ред. И. И. Гурвича, В. П. Номоконова. – М.: Недра, 1981. – 464 с.
21. Гурвич А. К. Диаграмма направленности наклонных искателей // Дефектоскопия. – 1966. – № 6. – С. 3–9.
22. Гребенник В. С., Тайц М. З. Расчет направленности призматического искателя // Дефектоскопия. – 1981. – № 1. – С. 87–101.
23. DSTU EN ISO 23279:2014. Neruynivny kontrol zvarnikh shviv. Ultrazvukovy kontrol. Kharakteristika indikatsiy u zvarnikh shvakh. [in Ukrainian].
24. DSTU EN ISO 10863:2014. Neruynivny kontrol zvarnikh shviv. Ultrazvukovy kontrol. Zastosuvannya difraktsiyno-chasovogo metodu (TOFD). [in Ukrainian].
25. DSTU EN ISO 15626:2014. Neruynivny kontrol zvarnikh shviv. Difraktsiyno-chasovy metod (TOFD). Rivni prymannya. [in Ukrainian].
26. DSTU EN ISO 16828:2015. Neruynivny kontrol. Ultrazvukovy kontrol. Difraktsiyno-chasovy metod dlya viyavlennya ta viznachennya rozmiriv nesutsilnostey. [in Ukrainian].
27. DSTU ENV 583-6:2005. Neruynivny kontrol. Kontrol ultrazvukovy. Chastina 6. Difraktsiyno-chasovy metod dlya viyavlennya i viznachennya rozmiriv nesutsilnostey. [in Ukrainian].
28. DSTU CEN/TS 14751:2008. Zvaryuvannya. Viktorystannya difraktsiyno-chasovogo metodu (TOFD) dlya kontrolyu zvarnikh shviv. [in Ukrainian].
29. Seysmorazvedka. Spravochnik geofizika; pod red. I. I. Gurvicha, V. P. Nomokonova. – M.: Nedra, 1981. – 464 s. [in Russian].
30. Gurvich A. K. Diagramma napravlenosti naklonnykh iskateley // Defektoskopiya. – 1966. – № 6. – S. 3–9. [in Russian].
31. Grebennik V. S., Tayts M. Z. Raschet napravlenosti prizmaticheskogo iskatelya // Defektoskopiya. – 1981. – № 1. – S. 87–101. [in Russian].

#### References

1. Pozdnyakov V.D., Dyadin V.P., Davydov E.A. Diagnostic examination of damaged regenerator of catalytic cracking unit, in order to determine the repair-reconditioning operations required for operating safety // Tekh. Diagnost. i Nerazrush. Kontrol. – 2016. – №1. – P. 45–49. [in Russian].
2. DSTU EN 12668-1:2015. Neruynivny kontrol. Kharakteristika i verifikatsiya obladnannya dlya ultrazvukovogo kontrolyu. Chastina 1. Priladi. [in Ukrainian].
3. DSTU EN 12668-2:2015. Neruynivny kontrol. Kharakteristika i verifikatsiya obladnannya dlya ultrazvukovogo kontrolyu. Chastina 2. Peretvoryuvachi. [in Ukrainian].
4. DSTU EN 12668-3:2015. Neruynivny kontrol. Kharakteristika i verifikatsiya obladnannya dlya ultrazvukovogo kontrolyu. Chastina 3. Kombinovane obladnannya. [in Ukrainian].
5. DSTU ISO 10375:2015. Kontrol neruynivny. Ultrazvukovy kontrol. Vznachennya kharakteristik peretvoryuvacha u akustichnogo polya. [in Ukrainian].
6. DSTU EN ISO 11666:2014. Neruynivny kontrol zvarnikh shviv. Ultrazvukovy kontrol. Rivni prymannya. [in Ukrainian].
7. DSTU EN ISO 16810:2016. Neruynivny kontrol. Ultrazvukovy kontrol. Zagalni vimogi. [in Ukrainian].
8. DSTU EN ISO 16811:2015. Neruynivny kontrol. Ultrazvukovy kontrol. Nalashtuvannya chutlivosti i diapazonu rozgortki. [in Ukrainian].
9. DSTU EN ISO 17640:2014. Neruynivny kontrol zvarnikh shviv. Ultrazvukovy kontrol. Sposobi, rivni kontrolyu i otsinyuvannya. [in Ukrainian].
10. DSTU EN 10160:2015. Kontrol ultrazvukovy stalevikh virobiv ploskoyi formi zavtovshki 6 mm abo bilshe (metod vidbittya). [in Ukrainian].
11. DSTU EN ISO 16826:2015. Neruynivny kontrol. Ultrazvukovy kontrol. Viyavlennya nesutsilnostey perpendikulyarnikh do poverkhni. [in Ukrainian].
12. DSTU EN 583-4:2007. Neruynivny kontrol. Ultrazvukovy kontrol. Chastina 4. Kontrolyuvannya nesutsilnostey, perpendikulyarnikh do poverkhni. [in Ukrainian].
13. DSTU EN ISO 16827:2015. Neruynivny kontrol. Ultrazvukovy kontrol. Vznachennya kharakteristik i rozmiriv nesutsilnostey. [in Ukrainian].

С. О. ДАВИДОВ, В. П. ДЯДИН

ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України.  
03680, м.Київ-150, вул. Казимира Малевича, 11.  
E-mail: davydov@paton.kiev.ua

#### ВИЗНАЧЕННЯ ГРАНИЦЬ ПОШКОДЖЕННЯ МОНТАЖНИХ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ РЕГЕНЕРАТОРА УСТАНОВКИ КАТАЛІТИЧНОГО КРЕКІНГА ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ УЗ ОБСТЕЖЕННЯ

Розглянуто приклад досить складного і об'ємного діагностичного обстеження. Показано основні особливості, на які слід звертати увагу при проведенні обстеження. Викладено прийом адаптації методу TOFD для обстеження та оцінки пошкодженого нафтохімічного обладнання. Бібліогр. 22, рис. 4.

Ключові слова: ультразвуковий контроль, діагностичне обстеження, метод TOFD

Ye. A. DAVYDOV, V. P. DYADIN

E.O.Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine,  
11 Kazimir Malevych str., 03680, Kiev.  
E-mail: davydov@paton.kiev.ua

#### DEFINING BOUNDARIES USHKODZHENNOSTI ASSEMBLY WELDS CATALYTIC CRACKING REGENERATOR THE RESULTS OF ULTRASOUND EXAMINATION

An example of a fairly sophisticated diagnostic testing and volume. The basic features that should look for when conducting the survey. Presents the method TOFD adaptation method for screening and evaluation damaged petrochemical equipment. References 22. Figures 4.

Keywords: ultrasonic control, diagnostic examination, the method TOFD

Поступила в редакцію  
17.11.2016