

## АВТОМАТИЧЕСКОЕ ВЫЯВЛЕНИЕ ДЕФЕКТОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ УЗК СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТРУБОПРОВОДОВ АЭС

А.О. Скоморохов\*, П.А. Белоусов\*, А.В. Нахабов\*, А.С. Мокроусов\*\*,  
И.Ф. Щедрин\*\*, Т.Ф. Козак\*\*

\* *Обнинский государственный технический университет атомной энергетики,  
г. Обнинск*

\*\* *Инженерный центр диагностики НИКИЭТ им. Н.А. Доллежала, г. Москва*



В настоящей статье представлены результаты разработки алгоритмов и программного обеспечения системы «УЗК-Аналитик» для автоматического выявления дефектов в сварных соединениях трубопроводов Ду-300 АЭС с реакторами РБМК-1000. Рассмотрены вопросы сглаживания сигналов УЗК, выявления зависимости порогов обнаружения дефектов от статистических характеристик сигналов, определения координат дефектов и минимизации числа ложных тревог. Приведено краткое описание программной реализации системы.

### ВВЕДЕНИЕ

В работе АЭС с реакторами РБМК-1000 важную роль играют трубопроводы Ду-300. Они входят в состав контура многократной принудительной циркуляции (опускные и напорные трубопроводы), системы продувки и расхолаживания и системы аварийного охлаждения реактора. Диаметр трубопроводов из аустенитной стали составляет 325 мм, толщина стенки – 16 мм. Контроль состояния сварных соединений трубопроводов проводится с помощью ультразвукового (УЗ) метода неразрушающего контроля. Для проведения контроля, наряду с ручным УЗ, применяются две основные системы:

- 1) «АВГУР» [1], разработанная в ООО НПЦ «Эхо+»;
- 2) «ПУЗК» [2–3], разработанная специалистами Инженерного центра диагностики при НИКИЭТ им. Н.А. Доллежала.

Первая система использует алгоритм многочастотной акустической голографии, что позволяет получить ультразвуковое изображение дефекта с высоким разрешением. Это делает возможным точную оценку размеров дефекта. Вместе с тем проведение контроля и обработка требуют значительного времени (порядка 40 мин). Габариты измерительного блока не позволяют контролировать все необходимые швы. В целом доля системы «АВГУР» составляет 30–40% общего объема контроля, включая уточняющий контроль дефектов, выявленных другими методами.

Система «ПУЗК» является более компактной. Время контроля одного шва не превышает 4 мин. С помощью системы «ПУЗК» контролируется 60–80% сварных соеди-

© *А.О. Скоморохов, П.А. Белоусов, А.В. Нахабов, А.С. Мокроусов, И.Ф. Щедрин,  
Т.Ф. Козак, 2005*

нений. Методика контроля [2–3] предназначена для выявления продольных и поперечных несплошностей (дефектов) в материале сварного шва. Дополнительно определяются координаты и высоты дефектов. Затем, на основании полученной информации, принимается решение о возможности дальнейшей эксплуатации сварного соединения.

Данная статья представляет результаты разработки алгоритмов и программного обеспечения для автоматического анализа результатов УЗК, полученных с помощью системы «ПУЗК». При этом участие дефектоскописта может сводиться к просмотру, распечатке и подписи автоматически генерируемого заключения о состоянии сварного соединения.

### УСТАНОВКА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Для проведения ультразвукового контроля (УЗК) служит установка, представленная на рис. 1.

В ее состав входят 8 преобразователей, располагающихся по обе стороны сварного шва [3]. Часть из них является генераторами, а часть – приемниками (усилителями) акустического сигнала (обозначены буквами Г и У), два преобразователя совмещают эти функции. Для обнаружения дефектов используется два метода ультразвукового контроля: эхо-метод и теневой метод. При эхо-методе преобразователи располагаются с одной стороны сварного соединения. Метод основан на том, что генератор излучает ультразвуковую волну, которая отражается от дефекта и принимается усилителем. Если нет дефекта, сигнал на приемнике отсутствует. При теневом методе генератор и приемник располагаются с разных сторон шва. В отсутствие дефекта волна без потерь проходит от генератора к приемнику. При наличии дефекта сигнал на приемнике ослаблен из-за рассеивания ультразвуковой волны на дефекте [4].

Всего реализовано 16 различных схем прозвучивания материала сварного шва. Основными являются 4 схемы с использованием эхо-метода (эхо-такты, например, с генератором Г0 и приемником У0) и 4 с использованием теневого метода (теневые такты, например, Г6–У5). С их помощью осуществляется выявление продольных дефектов. Еще 2 схемы предназначены для обнаружения поперечных дефектов. На случай недостаточного акустического контакта эхо-такты повторяются с усилением

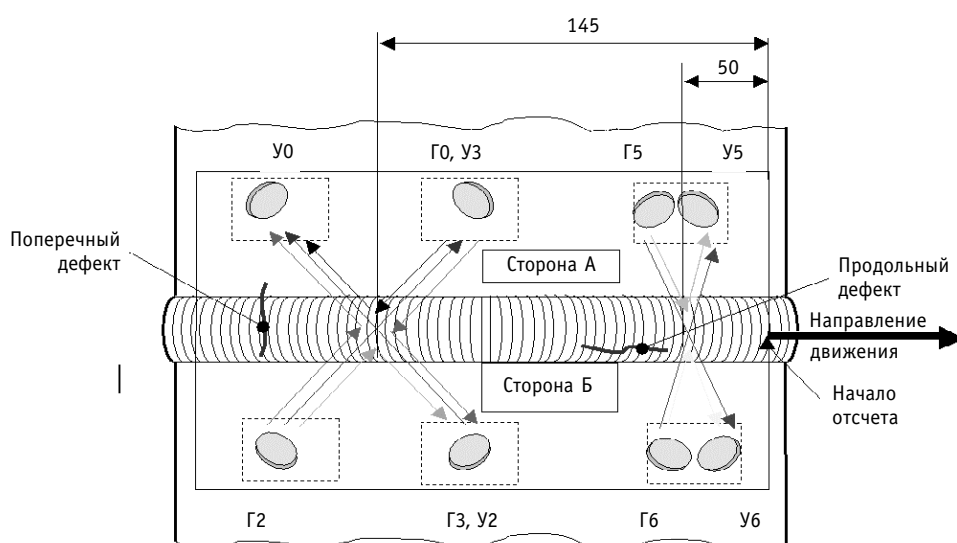


Рис. 1. Схема установки для проведения УЗК

+6 дБ (6 схем). Такое количество преобразователей и реализуемых с их помощью схем прозвучивания обеспечивает более надежное выявление дефектов.

Конструктивно все преобразователи объединены в так называемый сканер, в который также входят двигатель и датчик пути. Для проведения контроля сканер с помощью специального кольца устанавливается на сварное соединение и при помощи двигателя делает один оборот вокруг трубопровода с шагом 1 мм. При этом каждый миллиметр материала шва прозвучивается по всем 16 схемам, а датчик пути измеряет пройденное расстояние. С помощью кабеля сканер соединен с ультразвуковым дефектоскопом, на который в процессе контроля передается вся полученная информация. По окончании контроля данные с дефектоскопа переносятся на персональный компьютер для дальнейшего анализа.

### **ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ**

Описанная выше система в течение нескольких лет используется на российских АЭС с реакторами РБМК. Анализ результатов контроля выполняется экспертом, который выдает заключение о наличии дефектов в данном сварном соединении и их координатах. Основным признаком дефекта является одновременное повышение уровня эхо-сигнала (пик) и падение амплитуды теневого сигнала (провал) хотя бы по одной паре тактов. Таким образом, основная задача эксперта состоит в выделении пиков и провалов сигнала на фоне помех. После определения координат дефекта, его высота определяется по величине падения теневого сигнала.

В идеале амплитуда эхо-сигнала при отсутствии дефекта должна равняться нулю, а амплитуда теневого сигнала – 255 усл.ед. При наличии дефекта должно наблюдаться обратное соотношение сигналов по эхо- и теневым тактам.

В реальности, анализ сигналов затруднен наличием целого ряда мешающих факторов. Даже при отсутствии дефекта, ультразвуковая волна отражается на границах зерен структуры материала. Поэтому в сигнале всегда присутствует так называемый структурный шум [4]. Свое влияние оказывают электрические помехи и ошибки амплитудного квантования сигналов. Поведение сигналов УЗК существенно зависит от размера, ориентации и положения дефекта относительно измерительного блока. Наконец сильнейшее влияние на сигнал оказывает непостоянство акустического контакта датчиков и контролируемой поверхности

Таким образом, эксперт должен проводить одновременный анализ и сопоставление, в условиях шумов и мешающих факторов, 16 сигналов, изменяющихся при изменении координат сканера. Понятны высокие требования к квалификации и опыту эксперта, которые часто недостижимы штатным персоналом лабораторий контроля металлов на АЭС. Это приводит к необходимости привлечения для контроля сотрудников организаций – разработчиков реактора и диагностического оборудования. Другими проблемами являются низкая скорость обработки результатов, субъективность оценки состояния сварного шва и влияние на нее «человеческого фактора».

Основной задачей разработки, описанной в настоящей статье, являлась максимальная автоматизация анализа результатов УЗК. Отметим, что на настоящем этапе отсутствуют данные для метрологической оценки разработанной системы. Как и всегда при разработке экспертных систем, оценкой качества являлось совпадение результатов анализа, проведенного системой и высококвалифицированными экспертами.

### **ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ**

Результаты УЗК сварного соединения представляют собой файл данных, в котором записана служебная информация (номер соединения, условия контроля и т.д.) и таблица измеренных значений сигналов. В первом столбце таблицы записываются

показания датчика пути (расстояние вдоль сварного шва в миллиметрах), а в остальных – значения амплитуд сигналов по всем 16 схемам прозвучивания. Длина окружности трубопровода составляет 1020 мм. Для надежного контроля начального участка сканирование проводится с нахлестом. Амплитуда сигнала изменяется в диапазоне 0–255 усл. ед.

Будем представлять результаты УЗК в виде матрицы  $\mathbf{Y}$  размерностью  $n \times m$ :

$$\mathbf{Y} = \begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1m} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{n1} & y_{n2} & \dots & y_{nm} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где  $n \geq 1020$  – число точек измерения,  $m = 16$  – количество тактов. Обозначим результаты контроля по отдельному  $i$ -му такту ( $i$ -й столбец матрицы) как вектор  $\vec{y}_i = (y_{1i}, y_{2i}, \dots, y_{ni})$ . Координатам, при которых проводились измерения, соответствует вектор  $\vec{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ . При анализе зависимости от координаты одиночного такта мы будем опускать индекс  $i$  и использовать скалярную запись  $y = f(x)$  или просто  $y(x)$ .

В качестве исходных данных для разработки алгоритмов и программ анализа использовались результаты УЗК 31-го сварного соединения (шва) трубопроводов Курской АЭС. Имеющиеся для этих швов экспертные заключения указывают на наличие в каждом шве от 1 до 4 выявленных дефектов.

Для независимой оценки качества разрабатываемых методов весь набор данных был разбит на обучающую (17 швов) и проверочную (14 швов) выборки. Обучающая выборка использовалась только для оценки параметров алгоритмов и моделей. Предсказательная способность и точность методов оценивалась на независимой проверочной выборке.

## СГЛАЖИВАНИЕ ДАННЫХ

Очевидным первым этапом анализа данных является подавление помех и фильтрация полезного сигнала. Для этого испытывались разнообразные методы, известные в анализе временных рядов, такие как сглаживание средними, медианами и полиномами по временному окну, экспоненциальное сглаживание и др. Критерием пригодности метода служило наименьшее уширение (размытие) полезных (соответствующих дефектам) пиков и наибольшее подавление шумовых пиков. Оценка проводилась путем визуального анализа большого числа примеров и сопоставления характеристик сглаженных сигналов в областях наличия и отсутствия дефектов. Для данной задачи наилучшим оказался метод сглаживания LOWESS (Locally-WEighted Scatterplot Smoothing), основанный на локально-взвешенном усреднении данных [5].

Суть этого метода заключается в следующем. Сглаженное значение  $y^s(x_t)$  в точке  $x_t$  для исходной последовательности  $y(x)$  вычисляется как взвешенное среднее всех  $y_i$  с весами  $w(x_i, x_t)$ :

$$y^s(x_t) = \frac{\sum_{i=1}^n w(x_i, x_t) \cdot y(x_i)}{\sum_{i=1}^n w(x_i, x_t)}, \quad (2)$$

где  $n$  – число точек последовательности  $y(x)$ ;  $y(x_i)$  – значение исходного сигнала в точке  $x_i$ ;  $w(x_1, x_t), w(x_2, x_t), \dots, w(x_n, x_t)$  – набор весовых коэффициентов для точки  $x_t$ , экспоненциально убывающих с ростом расстояния от  $x_t$  до  $x_i$ . Весовые коэффициенты рассчитываются следующим образом:

$$w(x_i, x_t) = e^{-\frac{(x_i - x_t)^2}{b^2}}, \quad (3)$$

где  $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ;  $b$  – параметр алгоритма сглаживания.

Параметр  $b$  определяет эффективную ширину окна усреднения данных. При больших значениях  $b$  происходит уширение и уменьшение амплитуды пиков (в пределе на выходе фильтра получим близкий к постоянной сигнал). При маленьких значениях  $b$  не будут подавляться узкие шумовые пики. Мы стремились к наименьшим искажением полезного сигнала при наибольшем подавлении шумов. В нашем случае наилучшие результаты получились при значении  $b = 0,7$ . Пример эффекта сглаживания данных приведен на рис. 2.

Данный шов имеет два дефекта, области координат которых показаны на рисунке жирными линиями ниже оси абсцисс. Исходный сигнал принимает значения практически равные значениям в области дефектов при координатах около 550 и 1050 мм. Можно сказать, что отношение сигнал/шум примерно равно 1 и анализ не сглаженного сигнала даст два ложных пика в районе указанных координат. После сглаживания амплитуда полезных пиков практически не изменяется, а наименьшее подавление шумового пика (в районе 1050 мм) составляет почти 80 ед. При выборе в качестве порога обнаружения дефектов величины, отмеченной на рис. 2 как «Порог 1», будут выявлены оба дефекта при отсутствии ложных тревог.

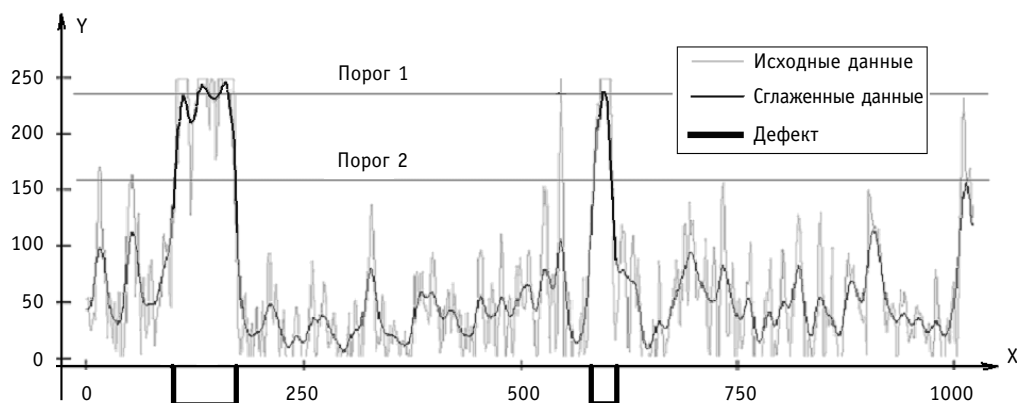


Рис. 2. Пример подбора порога для сигнала по эхо-такту: по оси X приведена координата вдоль шва в мм, по оси Y – амплитуда сигнала в усл.ед.

## АВТОМАТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРОГОВ ВЫЯВЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ

Автоматическое определение порогов выявления дефектов будем проводить перебором всех возможных значений порога из области определения сигнала [0–255] и определением значения, доставляющего максимум критерию оптимизации. Критерий основан на отношении выявленных дефектов и ложных тревог и будет пояснен ниже.

Рассмотрим подбор порогов на примере (рис. 2) сигнала по эхо-такту для одного из швов. Рассмотрим зависимость  $y(x)$  (рис. 2, «исходные данные») и проведем сглаживание по алгоритму LOWESS. Полученный сигнал  $y^s(x)$  (рис. 2, «сглаженные данные») будем сравнивать с различными порогами. Задача заключается в том, чтобы, зная координаты дефектов  $\vec{x}_d = (x_{d_1}, x_{d_2}, \dots, x_{d_l})$ , где  $l$  – число дефектных координат, подобрать такой уровень порога, чтобы его превышали, по возможности, только значения  $y^s(\vec{x}_d)$ .

Для того, чтобы автоматизировать процедуру подбора порогов  $p$ , был введен следующий критерий:

$$k = \frac{N_d}{N_f + 0,1}, \quad (3)$$

где  $N_d$  – число координат, выявленных при данном пороге дефектов (длина последовательности  $y^s(\vec{x}_d) > p$ ), а  $N_f$  – число ложных тревог ( $x \notin \vec{x}_d, y^s(x) > p$ ). Малая константа 0,1 введена, чтобы значение критерия не обращалось в бесконечность при отсутствии ложных тревог.

Типичное поведение выбранного критерия оптимизации порога выявления дефектов при изменении величины порога 1 до 254 усл.ед. представлено на рис. 3. Видно, что значение критерия сначала растет благодаря уменьшению числа ложных тревог. При больших значениях порога наблюдается уменьшение значения критерия, связанное с превышением амплитуды пиков, соответствующих дефектам (пропуск цели). Имеющийся диапазон нечувствительности значения критерия к величине порога (от точки Порог 1 до точки Порог 2 на рис. 2, 3) показывает робастность определения порога. В качестве точечной оценки оптимального порога нами выбирался порог, соответствующий середине зоны нечувствительности.

С помощью описанной процедуры оптимальные пороги были определены для всех эхо-тактов на данных швов, включенных в обучающую выборку. Используя эти данные, перейдем к задаче предсказания значения порога.

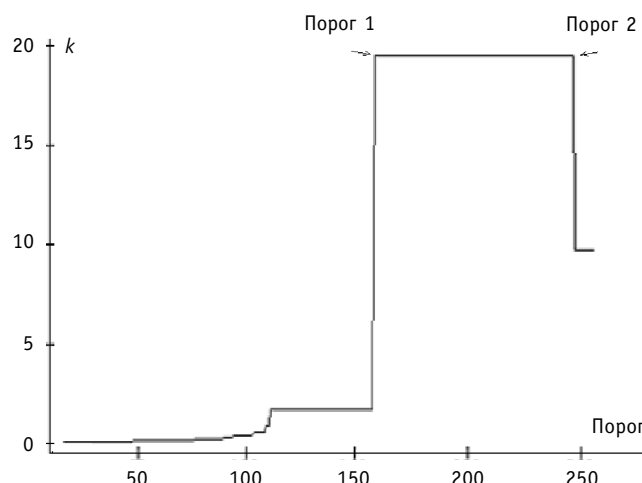


Рис. 3. Зависимость критерия оптимизации от величины порога

## ПРЕДСКАЗАНИЕ ЗНАЧЕНИЙ ПОРОГОВ ВЫЯВЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ

Естественным предположением является зависимость величины порога от уровня шумов для каждого конкретного измерения.

Для оценки уровня шумов нами опробовались такие статистические характеристики как медиана, среднее значение, среднеквадратическое отклонение и межквартильный размах сигнала. По данным обучающей выборки вычислялись коэффициенты корреляции между значениями оптимальных порогов и каждой из этих характеристик. В результате оказалось, что наиболее сильно пороги зависят от межквартильного размаха сигнала. Отметим, что при вычислении межквартильного размаха отсекается 25% наименьших и наибольших значений выборки, что позволяет избавиться от влияния больших значений в области дефектов на оценку уровня шумов.

Зависимость оптимальных порогов выявления дефектов  $l$  от межквартильного размаха сигнала  $r$  по эхо-тактам обучающей последовательности показана на рис. 4.

Эта зависимость, как видно из рис. 4, может с достаточной точностью быть аппроксимирована прямой. Оценки коэффициентов прямой, выполненные методом наименьших квадратов, выглядят следующим образом:

$$l(r) = 30,45 + 2,28 \times r, \quad (4)$$

где  $l$  – значение оптимального порога для сглаженного сигнала,  $r$  – значение межквартильного размаха сигнала.

В качестве проверочной выборки были использованы данные для оставшихся 14 швов. Предсказанные по зависимости (4) значения порогов позволили выявить все дефектные области.

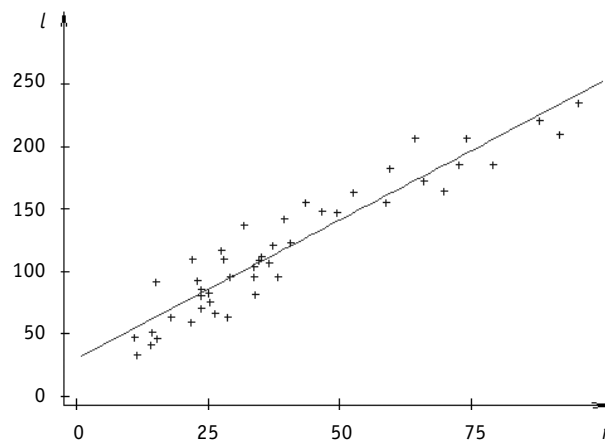


Рис. 4. Зависимость порога выявления дефектов от межквартильного размаха сигнала

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ ДЕФЕКТОВ

Применяемое нами сглаживание сигналов, наряду с полезной работой по подавлению шумовых пиков (снижению числа ложных тревог), приводит к уширению пиков, связанных с дефектами, и ошибкам в определении координат дефектов.

В дальнейшем мы будем использовать координаты пересечения пиков с оптимальным порогом в качестве предварительных координат дефектов, а более точное определение проводить по исходному (не сглаженному) сигналу.

Проявление дефекта в сигнале эхо-такта можно представить как увеличение уровня сигнала от некоторого начального значения, области постоянного уровня (при сканировании вдоль дефектной области) и последующим снижением уровня сигнала. Весьма чувствительной статистикой для детектирования изменений уровней сигнала является кумулятивная сумма сигнала [6].

Для уменьшения диапазона изменения кумулятивной суммы, исходные данные сначала центрируются:

$$y_c(x) = y(x) - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y(x_i), \quad (5)$$

где  $y_c(x)$  – центрированная последовательность. Кумулятивная сумма для последовательности  $y_c(x)$  в точке  $x_t$  есть сумма значений последовательности  $(y_c(x_1), y_c(x_2), \dots, y_c(x_t))$ , при  $t \leq n$ :

$$s(x_t) = \sum_{i=1}^t y_c(x_i). \quad (6)$$

Пример кумулятивной суммы исходного сигнала для области одного дефекта по эхо-такту показан на рис. 5, из которого видно, что, при приблизительно постоянном уровне сигнала, кумулятивная сумма изменяется от координаты линейно. Координатам начала (увеличение уровня сигнала) и конца (уменьшение уровня сигнала) дефекта соответствуют точки изменения наклона зависимости кумулятивной суммы. Следовательно, для определения координат дефекта нам необходимо определить координаты этих точек.

Для нахождения точек излома воспользуемся следующим методом. Если мы разобьем расширенную область дефекта на три участка таким образом, что их границы будут проходить через точки излома кумулятивной суммы, то аппроксимация значений кумулятивной суммы на каждом участке прямыми линиями будет наилучшей. Нами перебирались все возможные варианты разбиения и для каждого варианта вычислялось среднее квадратическое отклонение (СКО) аппроксимации сигнала тремя прямыми линиями по методу наименьших квадратов. В итоге выбираем в качестве оптимального то разбиение, для которого СКО имеет наименьшее значение.

При этом границы участков определяют координаты начала и конца дефекта. Для данного примера автоматически определенные координаты дефекта практически точно совпали с определением эксперта (прямоугольник под осью абсцисс).

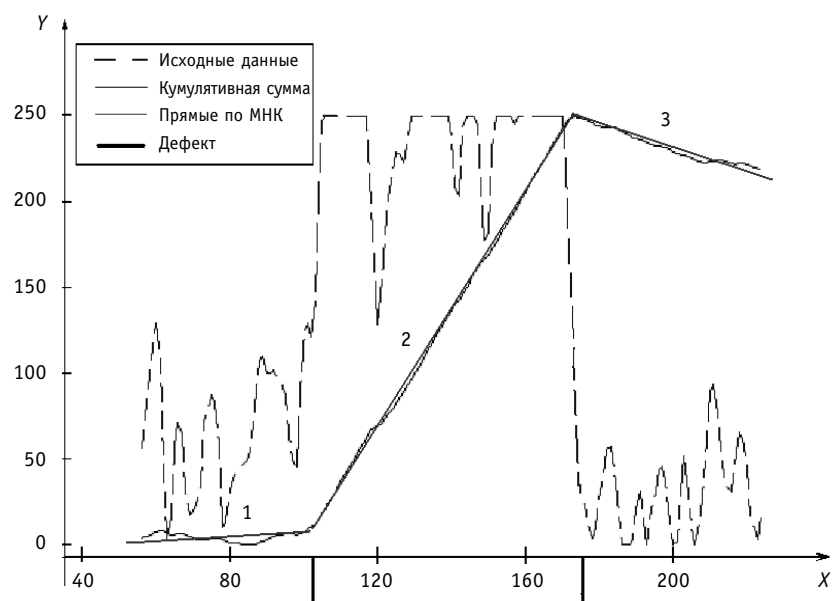


Рис. 5. Исходные данные и кумулятивная сумма в области дефекта

### ГОЛОСОВАНИЕ ОЦЕНОК КООРДИНАТ ДЕФЕКТОВ

Как уже отмечалось выше, измерительная система спроектирована с избыточностью. Таким образом, каждый дефект должен проявляться по более чем одному эхо-такту. Например, дефект на стороне А (рис. 1) должен быть сначала обнаружен по сигналу эхо-такта Г0–У0, а затем (после перемещения сканера на 95 мм) по эхо-такту Г5–У5. Вместе с тем, шумы и помехи, являясь случайными величинами, проявляются в сигнале каждого такта независимо. Это позволяет повысить достоверность выявления дефектов и снизить число ложных тревог, проводя голосование по результатам, полученным для различных эхо-тактов. Мы будем располагать набором дефектов, выявленных по различным тактам. В общем случае для того, чтобы получить спи-



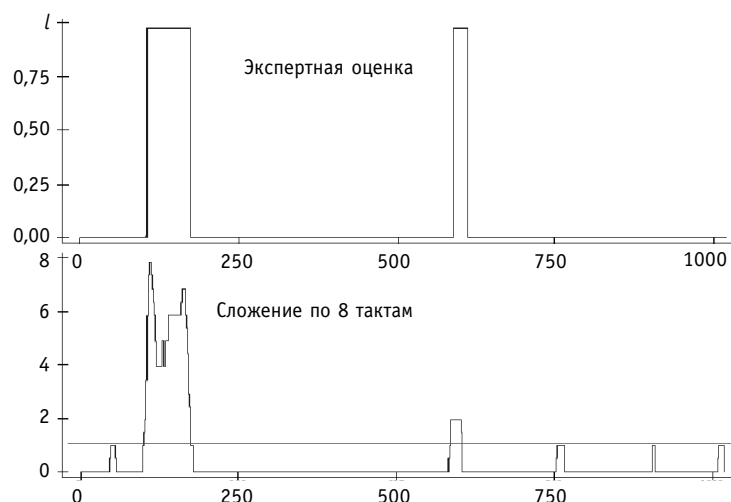


Рис. 6. Исходные данные и кумулятивная сумма в области дефекта: верхняя часть рисунка показывает области двух дефектов, определенные экспертами; нижняя часть – число эхо-тактов, по которым сигнал превышает соответствующий порог для каждой координаты

сок дефектов для всего шва, нам необходимо просто объединить координаты дефектов по различным эхо-тактам. Пример такого голосования приведен на рис. 6.

Максимально возможное значение составляет 8, это означает, что порог превышен по всем восьми эхо-тактам. Путем анализа большого набора сигналов нами было выбрано правило «дефект при данной координате, если сигналы по двум или более эхо-тактам превышают пороги». В приведенном на рис. 6 примере это правило позволило выявить оба дефекта и избавиться от четырех ошибок, случайно проявлявшихся по одиночным тактам.

Заключительным этапом диагностирования является проверка, для областей подозреваемых на наличие дефекта, падения сигналов по теневым тактам и определение условной высоты дефектов, что выходит за рамки настоящей статьи.

## ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

Описанные выше алгоритмы выявления дефектов и определения их координат были программно реализованы в виде системы «УЗК-Аналитик» для работы под управлением операционной системы MS Windows™. В качестве средства разработки был выбран язык программирования Dyalog APL/W [7]. Этот выбор обусловлен тем, что данный язык программирования очень хорошо подходит как для эффективной обработки массивов данных, так и для создания полноценного графического интерфейса пользователя.

Общий вид графического интерфейса пользователя представлен на рис. 7. Система предоставляет пользователю широкие возможности по вводу, преобразованию и визуализации исходных данных. Наряду с интерактивным анализом результатов УЗК, система позволяет проводить полностью автоматическое выявление дефектов. После проведения диагностики система автоматически формирует (в формате RTF) итоговое заключение о состоянии сварного соединения с возможностью выдачи его на печать.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований авторами была решена задача автоматизации процедуры анализа результатов ультразвукового контроля сварных соединений трубопроводов Ду-300 на АЭС с реакторами РБМК-1000. На основе разрабо-

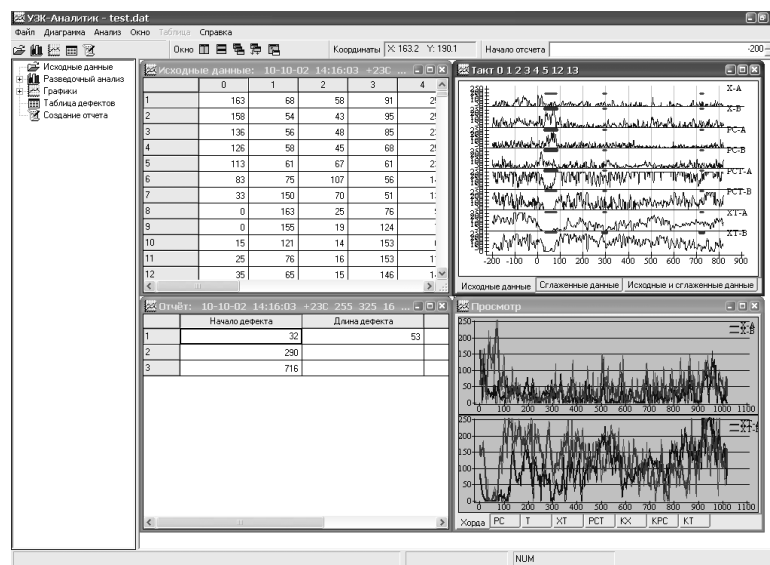


Рис. 7. Интерфейс программы для анализа результатов УЗК сварных соединений

танных методик и алгоритмов анализа данных была создана система «УЗК-Аналитик», которая находится в опытной эксплуатации на Курской и Смоленской АЭС. Обработка с помощью системы результатов УЗК по более чем 1000 сварных соединений показало высокую достоверность результатов автоматического диагностирования. В ряде случаев система позволила выявить пропущенные экспертами дефекты.

По результатам опытной эксплуатации ведется работа по совершенствованию используемых алгоритмов, уточнению оценок статистических параметров и адаптации возможностей интерфейса к требованиям пользователя. В ближайшем будущем планируется прохождение данной системой аттестации в соответствующих государственных органах и последующее принятие системы в штатную эксплуатацию.

### Литература

1. Бадалян В.Г., Вовилкин А.Х. Опыт применения ультразвуковой системы с когерентной обработкой данных «Авгур» на российских АЭС // Контроль. Диагностика. – 2000. – № 9. – С. 35-39.
2. Методика полуавтоматизированного ультразвукового контроля аустенитных сварных соединений трубопроводов Ду-300 и РГК энергоблоков типа РБМК-1000. № 840.11М-01. М. – ГУП ИЦД НИКИЭТ, 2003.
3. Система полуавтоматизированного ультразвукового контроля аустенитных сварных соединений трубопроводов Ду-300 и РГК с ограниченным доступом и автоматической записью результатов контроля: Техническое описание и инструкция по эксплуатации № 840.04ИЭ. – М.: ГУП ИЦД НИКИЭТ, 2003.
4. Подсекин А.К. Основы неразрушающих методов контроля сварных соединений АЭС: Учеб. пособие. – ИАТЭ, 1990.
5. Cohen R. An Introduction to PROC LOWESS for Local Regression. SAS Institute Inc., 2002.
6. Никифоров В.Н. Последовательное обнаружение изменения свойств временных рядов. – М.: Наука, 1983.
7. Dyalog APL/W. Version 10.1. <http://www.dyalog.com>

Поступила в редакцию 15.11.2004

## ABSTRACTS OF THE PAPERS

### УДК 621.039:32:338

*Nuclear Technology – Guarantee of the Stable Development Russia in the 21 Century* \V.M. Murogov, N.N. Ponomarev-Stepnoy; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of High Schools. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2005. – 6 pages, 1 table.

The gives brief analysis of the current and future role of the nuclear technology ( first off all – nuclear energy) in the world and in Russia, specifically Russia, we could say, has to develop the nuclear technology (and nuclear energy, as the key for this development). The nuclear energy is not the only and not so much the part of energy market: it is the key element of the defence power of the russsian nuclear «triada» and moreover, nuclear science and technology predetermine the social-political and technical-economic development of our country in the 21 century.

### УДК 681.51:621.039

*Development and Research of the Ultrasound Wave-Guide Sensors for Control Liquid Metal Coolant* \V.I. Melnikov, M.A. Kamnev, S. Eckert, G. Gerbeth; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of High Schools. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2005. – 7 pages, 7 illustrations. – References, 9 titles.

New ultrasound wave-guide sensors employing longitudinal and shear wave-guide's for control and diagnostics liquid metal coolant have been developed. The sensor's application possibility for liquid sodium and lead-bismuth eutectic control has been confirmed. A technology of the wave-guide surface preparation aimed to achieve acoustic contact in the liquid metal medium have been developed and tested. Velocities profile various temperatures tests have been carried out in lead-bismuth eutectic and sodium.

### УДК 681.51:621.311.25

*Automatic Weld Flaw Detection Based on the Ultrasonic Testing of NPPs' Pipelines* \A.O. Skomorokhov, P.A. Belousov, A.V. Nakhobov, A.S. Mokrousov, I.F. Schedrin, T.F. Kozak; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). Obninsk, 2005. – 10 pages, 7 illustrations, References – 7 titles.

The paper describes development of algorithms and software of «UJK-Analyst» – a system for automatic weld flaw detection in pipelines of RBMK-type nuclear power plants. The paper covers ultrasonic signals smoothing, dependence of detection levels and statistical characteristics of noise, calculation of flaw coordinates and false alarm minimization. The paper also contains a short description of a system software implementation.

### УДК 621.039.586

*Checking of Continuity of Boron Solution Delivery into Core during Rupture of the First Circuit with Equivalent Diameter 50 – 100 mm* \A.N. Shkarovskiy, V.I. Aksenov, N.P. Serdun'; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of High Schools. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2005. – 6 pages. – References, 7 titles.

Calculating research of accidents with rupture of the first circuit with equivalent diameter 50 – 100 mm and loss of coolant in reactor operation on power rating with the purpose to check the continuity of boron solution delivery into core is developed. The work is carried out with successive including of three steps of emergency cooling of core: boron injection with high pressure, vbhidrostorage reservoirs, boron injection with low pressure. It is shown, there are intersection in time of end of work of the step with more high pressure and begin of work of the step with more low pressure in all researching conditions. It is ensured reactor cooldown and its transfer in subcritical condition.