

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ЦЕЛОСТНОСТИ МЕТАЛЛА И ПЕРЕХОДНИКОВ СТАЛЬ- ЦИРКОНИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КАНАЛОВ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ РБМК-1000

А.И. Трофимов, С.И. Минин, М.Г. Каленишин, А.В. Нахабов

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



Представлена автоматизированная система контроля целостности металла и переходников сталь-цирконий технологических каналов ядерных реакторов РБМК-1000, в которой применена ультразвуковая цилиндрическая фазированная решетка. Приведены рабочие формулы, позволяющие управлять работой цилиндрической фазированной решетки, алгоритм контроля и структура программного обеспечения.

Трубы технологических каналов (ТК) ядерного реактора РБМК-1000 представляют собой конструкцию, состоящую из трех частей – верхней, средней и нижней. Средняя часть располагается в активной зоне реактора и выполнена из циркония. Верхняя и нижняя части, проходящие через слои защиты, выполнены из нержавеющей стали. Переходники ТК сталь-цирконий соединяются методом диффузионной сварки в заводских условиях. Под действием радиационного облучения и температуры в процессе длительной работы ядерного реактора происходит изменение физических свойств металла ТК, его старение. Основными механизмами старения ТК являются ползучесть, радиационное и гидридное охрупчивание, радиационный рост. В переходниках сталь-цирконий помимо указанных факторов старения возможно межкристаллитное коррозионное растрескивание. По этим причинам необходим тщательный контроль основного металла и переходников сталь-цирконий.

Для контроля состояния металла ТК и переходников сталь-цирконий в настоящее время разработаны специальные ультразвуковые автоматизированные системы [1]. При работе таких систем по тракту ТК при помощи спускоподъемного устройства перемещается измерительный зонд с вращающимся блоком ультразвуковых преобразователей; ТК при этом заполнен водой и контроль осуществляется иммерсионным способом. Сигналы от пьезопреобразователей обрабатываются многоканальным дефектоскопом. Основным недостатком таких систем заключается в наличии скользящих контактов и вращающихся частей зонда, которые являются причиной его разгерметизации и выхода из строя.

© **А.И. Трофимов, С.И. Минин, М.Г. Каленишин, А.В. Нахабов, 2008**

Уменьшить ошибку сканирования измерительного блока, повысить его скорость передвижения, точность измерений, увеличить возможность контроля труднодоступных изделий и предметов сложной геометрической формы можно применив универсальный пьезоэлектрический преобразователь – фазированную решетку. Прямые и наклонные преобразователи формируют плоскую волну, т.е. одинаковую фазу возбуждающего сигнала в пределах плоскости пьезопластины. Ультразвук от таких излучателей распространяется в среде в виде направленного луча. Для того, чтобы уменьшить мертвую зону и повысить разрешающую способность, используют фокусирующие преобразователи. Фокусировка ультразвукового поля достигается введением заданного закона распределения фазы возбуждающего сигнала в пределах апертуры излучателя – практически, приданием определенной формы, например, сферической, активному элементу излучателя, или применением специальных акустических линз. Изменение и регулировка фазовых соотношений в пределах активной поверхности преобразователя позволяет существенно расширить его возможности. Этого можно добиться, если разбить поверхность преобразователя на ряд отдельных элементов и ввести относительные фазовые сдвиги между электрическими сигналами, подаваемыми или снимаемыми с этих элементов. Такие преобразователи называются матричными или фазированными решетками. Используя соответствующий закон изменения фазы, можно сформировать волновой фронт любой требуемой формы. Это означает, что фазированная решетка может выполнять функции рассмотренных выше преобразователей: прямых, наклонных и фокусирующих.

Одномерная матрица пьезоэлементов, расположенных вдоль прямой линии эквидистанционно, имеющих ширину намного больше длины, называется линейной фазированной решеткой (рис.1) [1]. Фазированные решетки могут иметь геометрию расположения элементов в виде двумерной матрицы, концентрических колец и других разнообразных геометрий. Сложность управления и стоимость системы фазирования и самой решетки возрастают пропорционально увеличению количества элементов в преобразователе. По этой причине вследствие относительной простоты и в то же время удобства для методов неразрушающего контроля в представляемой системе была выбрана линейная фазированная решетка. Такой преобразователь дает возможность управлять его диаграммой направленности в одной полуплоскости XU (рис.1). Принцип работы линейной фазированной решетки заключается в том, что при прохождении в среде волны от элементов интерферируют между собой и образуют результирующий волновой фронт. Интерференционная картина ультразвукового поля фазированной решетки зависит от разницы фаз между возбуждающими сигналами на ее элементах. В данной системе эле-

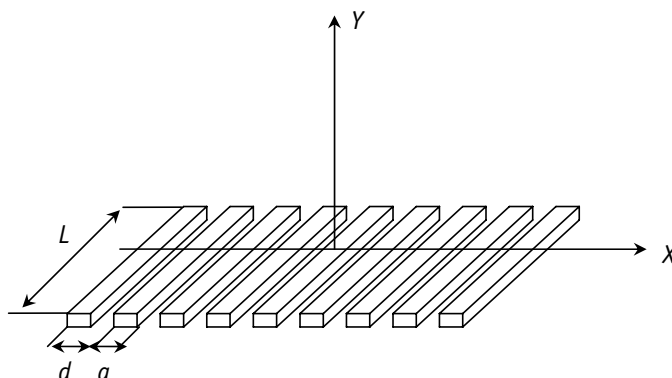


Рис. 1. Линейная фазированная решетка

менты решетки возбуждаются отдельными импульсными радиосигналами, поэтому для получения желаемого волнового фронта они задерживаются относительно друг друга по определенным зависимостям, называемым фокальными законами. Если задержки будут возрастать линейно от любого из крайних элементов или же их не будет вообще, то соответственно линейная фазированная решетка будет работать так же, как наклонный или прямой одноэлементный преобразователь, т.е. испускать ультразвук в виде луча. Распределением задержек по элементам решетки по нелинейному фокальному закону достигается эффект фокусировки ультразвука. Изменение закона распределения задержек позволяет управлять углом ввода ультразвука, глубиной фокуса, размером фокусного пятна и толщиной ультразвукового луча.

Фазированная решетка может работать как в режиме излучения ультразвука, так и в режиме его приема. В режиме приема эхосигналы принимаются с разными временами элементами решетки, задерживаются во времени в соответствии с фокальным законом, а затем суммируются вместе для того, чтобы сформировать один ультразвуковой импульс, который посылается на обработку. Результирующая сумма является откликом из желаемой области, а сигналы из других различных точек материала аттенюируются. При излучении высоковольтные импульсы определенной длительности и с задержками, определенными фокальными законами, распределяются по элементам решетки. Получающийся многокомпонентный ультразвуковой сигнал, распространяющийся от нее в среде, сталкивается с дефектом и возвращается назад, как при обычном контроле. При помощи электронного изменения задержек между элементами можно управлять с очень высокой скоростью волновым фронтом, что позволяет с высоким быстродействием сканировать ультразвуковым лучом по пространству.

Данная система может быть легко запрограммирована для выполнения традиционных методик ультразвукового контроля. В особенности это касается методов отражения и комбинированных методов: эхометода, tandemного метода, дельта-метода, зеркально-теневого метода. При использовании фазированной решетки присущие этим методикам достоинства остаются такими же, как и при использовании обычных преобразователей, но появляются дополнительные возможности благодаря ее способности изменять без механических перемещений углы ввода и фокус ультразвука. Фокусировка ультразвука повышает отношение сигнал/шум, что увеличивает чувствительность и позволяет определять более мелкие дефекты, чем при использовании обычных прямых и наклонных преобразователей. Применение фазированной решетки дает возможность визуализации получаемых данных. Для ее получения делают множественные А-сканы под различными углами, которые представляются в виде двумерного рисунка на экране монитора. При этом интенсивность принятого ультразвукового сигнала кодируется разными тонами или цветами, что позволит четко определять дефекты.

Разработана математическая модель линейной фазированной решетки, в рамках которой были получены зависимости, связывающие параметры преобразователя с ультразвуковым полем, создаваемым им. Одним из основных выводов данной модели является фокальный закон. Схема вычисления фокальных соотношений линейной фазированной решетки приведена на рис. 2. Для реализации интерференции сигналы от элементов решетки должны прийти в точку фокуса в одно и то же время, для этого вводится задержка сигналов по элементам. Исходя из геометрии рисунка, получаем соотношение

$$(F \cos \Theta_s)^2 + \left[F \sin \Theta_s - \left(nd - \frac{d(N-1)}{2} \right) \right]^2 = [F - (t_n - t_0)c]^2 \quad (1)$$

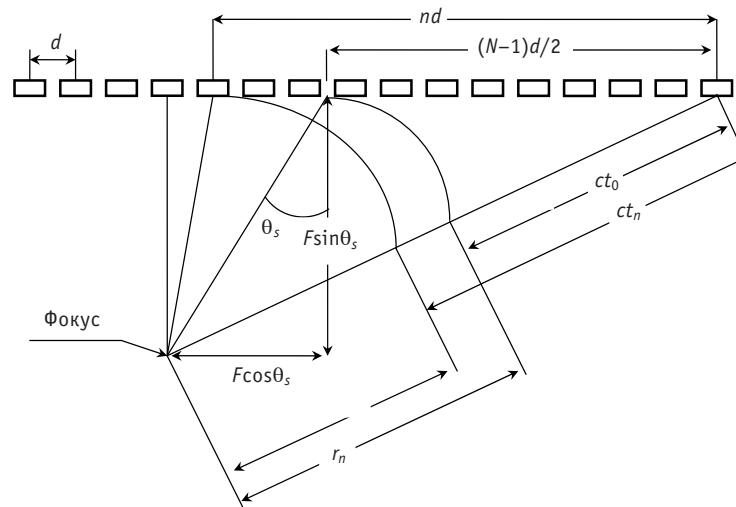


Рис. 2. Схема вычисления фокальных соотношений линейной фазированной решетки

для элементов $n = 1, \dots, N - 1$, где N – общее количество элементов; F – фокусное расстояние; Θ_s – угол ввода ультразвукового луча; d – межэлементное расстояние; t_n – задержка сигнала на элементе с индексом n ; t_0 – временная константа. На рис. 2 первый элемент с $n=0$ находится справа.

Из уравнения (1) находим

$$t_n = \frac{F}{c} \left\{ 1 - \sqrt{1 + \left(\frac{d}{F} \left(n - \frac{N-1}{2} \right) \right)^2} - 2 \sin \Theta_s \frac{d}{F} \left(n - \frac{N-1}{2} \right) \right\} + t_0. \quad (2)$$

Константа t_0 может быть выражена применением граничных условий ($t_n = 0$ для $n=0$)

$$t_0 = -\frac{F}{c} \left\{ 1 - \sqrt{1 + \left(\frac{d(N-1)}{2F} \right)^2} - 2 \sin \Theta_s \frac{d}{F} \left(-\frac{N-1}{2} \right) \right\}. \quad (3)$$

Подставляя (3) в (2), получаем

$$t_n = \frac{F}{c} \left\{ 1 - \sqrt{1 + \left(\frac{d}{F} \left(n - \frac{N-1}{2} \right) \right)^2} - 2 \sin \Theta_s \frac{d}{F} \left(n - \frac{N-1}{2} \right) \right\} - \\ - \frac{F}{c} \left\{ 1 - \sqrt{1 + \left(\frac{d(N-1)}{2F} \right)^2} - 2 \sin \Theta_s \frac{d}{F} \left(-\frac{N-1}{2} \right) \right\}. \quad (4)$$

Упрощая выражение (4) можно записать в окончательном виде

$$t_n = \frac{F}{c} \left\{ \sqrt{1 + \left(\frac{N'd}{F} \right)^2} + \frac{2N'd}{F} \sin \Theta_s - \sqrt{1 + \left(\frac{(n-N')d}{F} \right)^2} - \frac{2(n-N')d}{F} \sin \Theta_s \right\}, \quad (5)$$

где N – количество элементов фазированной решетки; $N' = (N - 1)/2$; t_n – требуемая задержка для элементов $n=0, \dots, N - 1$; d – межэлементное расстояние; F – фокусное расстояние от центра решетки; c – скорость ультразвука; Θ_s – угол отклонения луча.

Эта формула справедлива для четного и нечетного количества элементов при выполнении соотношения $0^\circ \leq \Theta_s \leq 90^\circ$.

Квадратный корень в уравнении (2) может быть записан согласно формуле Тейлора как

$$\begin{aligned} & \sqrt{1 + \left(\frac{d}{F} \left(n - \frac{N-1}{2} \right) \right)^2} - 2 \sin \Theta_s \frac{d}{F} \left(n - \frac{N-1}{2} \right) \approx \\ & \approx 1 - \sin \Theta_s \frac{d}{F} \left(n - \frac{N-1}{2} \right) + \frac{1}{2} \cos^2 \Theta_s \frac{d^2}{F^2} \left(n - \frac{N-1}{2} \right)^2. \end{aligned} \quad (6)$$

Применяя (6) и (2), выражаем задержку между элементом n и $(n-1)$:

$$\begin{aligned} \Delta \tau_n = t_n - t_{n-1} = & \frac{F}{c} \left[1 - \sin \Theta_s \frac{d}{F} \left(n-1 - \frac{N-1}{2} \right) + \frac{1}{2} \cos^2 \Theta_s \frac{d^2}{F^2} \left(n-1 - \frac{N-1}{2} \right)^2 \right] - \\ & - \frac{F}{c} \left[1 - \sin \Theta_s \frac{d}{F} \left(n - \frac{N-1}{2} \right) + \frac{1}{2} \cos^2 \Theta_s \frac{d^2}{F^2} \left(n - \frac{N-1}{2} \right)^2 \right]. \end{aligned} \quad (7)$$

Упрощая, получаем окончательную формулу задержки между соседними элементами:

$$\Delta \tau_n = \frac{d \sin \Theta_s}{c} + \frac{1}{2} \cos^2 \Theta_s \frac{d^2}{cF} (N - 2n). \quad (8)$$

В случае, если ультразвуковой луч нефокусирован, т.е. $F \rightarrow \infty$, задержки между соседними элементами одинаковы для всей фазированной решетки и вычисляются по формуле

$$\Delta \tau_0 = \frac{d \sin \Theta_s}{c}. \quad (9)$$

Данный предельный случай соответствует работе решетки в режиме управления только углом ввода, без фокусировки.

В представленной системе контроля для повышения надежности, точности и быстродействия вращающийся блок датчиков заменен неподвижной цилиндрической ультразвуковой фазированной решеткой (рис. 3).

Система с фазированной решеткой способна изменять угол ввода ультразвука в контролируемую среду за счет электронного изменения задержек между сигналами.

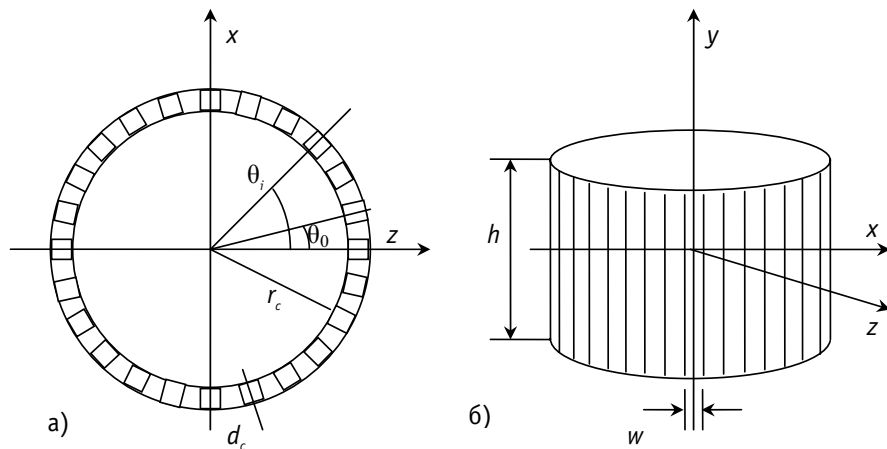


Рис. 3. Цилиндрическая фазированная решетка

лами возбуждения элементов решетки. Распределение задержек сигналов по элементам решетки называется фокальным законом. В процессе излучения сигналы поступают на элементы решетки согласно фокальному закону. В результате интерференции сигналов от всех элементов в среде образуется результирующий волновой фронт, который распространяется в виде направленного луча. В режиме приема сигналы от элементов решетки задерживаются по фокальному закону, а затем суммируются сумматором. Результирующая сумма пропорциональна интенсивности ультразвука в заданном направлении.

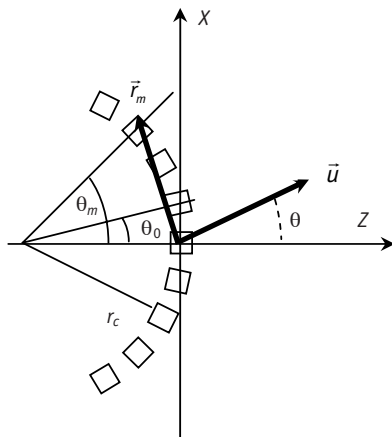


Рис. 4. Виртуальная апертура цилиндрической фазированной решетки

В процессе работы цилиндрической фазированной решетки излучение и прием сигналов производится частью ее элементов, ограниченной выбранным сектором. Эта часть элементов называется виртуальной апертурой цилиндрической решетки. Величина угла апертуры $\Theta_M = \Theta_0(M - 1)$, где M – количество задействованных элементов. Переключением виртуальных апертур по окружности датчика достигается контроль поперечного сечения трубы канала на 360° . На рис. 4 показана виртуальная апертура фазированной решетки. Рассматривается работа фазированной решетки в плоскости xz , в которой производится управление углом ввода ультразвука. Положение центров элементов фазированной решетки определяется вектором \vec{r}_m . Направление излучения при-

ема определяется единичным вектором \vec{u} .

Эти векторы в матричной форме имеют вид:

$$\vec{u} = \begin{bmatrix} \cos \theta \\ \sin \theta \end{bmatrix}, \vec{r}_m = \begin{bmatrix} r_c (\cos \theta_m - 1) \\ r_c \sin \theta_m \end{bmatrix}. \quad (10)$$

Ультразвуковой сигнал $x(t)$, распространяющийся в среде, является гармоническим:

$$x(t) = e^{j\omega t}. \quad (11)$$

Сигнал, принятый или излученный в направлении \vec{u} пьезоэлементом с индексом m , равен

$$x_m(t) = e^{j(\omega t + k \vec{r}_m^T \vec{r}_m \vec{u})} = x(t) e^{jkr_m}, \quad (12)$$

где $m = 0, \dots, M-1$, k – волновое число; ω – круговая частота и $r_m = \vec{r}_m^T \vec{u}$ – проекция вектора \vec{r}_m на \vec{u} , которая определяет необходимое относительное расстояние для прихода плоской волны из направления \vec{u} к элементу, расположенному при координатах вектора \vec{r}_m .

Для виртуальной апертуры, изображенной на рис. 4,

$$r_m = \vec{r}_m^T \vec{u} = r_c (\cos \theta (\cos \theta_m - 1) + \sin \theta \sin \theta_m). \quad (13)$$

Структура суммирования сигналов от элементов решетки подобна структуре фильтра с конечной импульсной характеристикой (КИХ-фильтра). Отклик такого фильтра равен

$$y(t) = \mathbf{a} \mathbf{X}(t) = x(t) \mathbf{a} e^{jkR}, \quad (14)$$

где \mathbf{a} – функция окна, определяющая амплитудное распределение по элементам решетки; $\mathbf{X}(t)$ – векторная матрица, которая определяет отклики от всех элементов; \mathbf{R} – векторная матрица, которая определяет соответствующую задержку для каждого элемента; таким образом,

$$\mathbf{a} = [a_0 \dots a_{M-1}]; \mathbf{X}(t) = [x_0(t) \dots x_{M-1}(t)]^T; \mathbf{R} = [r_0 \dots r_{M-1}]^T. \quad (15)$$

Для управления лучом фазированной решетки в желаемом направлении \bar{u}_0 необходимо добавить фазовый сдвиг, который определяется для каждого элемента по формуле, аналогичной (13):

$$r_m^0 = r_c (\cos \theta_0 (\cos \theta_m - 1) + \sin \theta_0 \sin \theta_m). \quad (16)$$

Фокальный закон будет определяться векторной матрицей

$$\mathbf{R}_0 = [r_0^0 \dots r_{M-1}^0]^T. \quad (17)$$

Сумма сигналов от элементов решетки в режиме управления ультразвуковым лучом записывается как

$$y(t) = x(t) a e^{jk(R-R_0)} = x(t) b(\theta_0). \quad (18)$$

$b(\theta_0)$ – характеристика направленности виртуальной апертуры цилиндрической фазированной решетки:

$$b(\theta_0) = a e^{jk(R-R_0)} = a e^{jkr_c ((\cos \theta - \cos \theta_0)(\cos \theta_m - 1) + (\sin \theta - \sin \theta_0) \sin \theta_m)}. \quad (19)$$

На рис. 5 представлена нормированная характеристика направленности в децибелах. Она позволяет оценить влияние геометрических параметров фазированной решетки на ее свойства направленности.

Автоматизированная система контроля целостности металла и переходников сталь-цирконий ТК ядерного реактора РБМК-1000 представляет собой программно-аппаратный комплекс. В состав комплекса входят зонд с фазированной решеткой, многоканальный дефектоскоп, ЭВМ и лебедка с сервоприводом, которая перемещает зонд по ТК.

Блок-схема контроля представлена на рис.6. Процесс контроля разбит на две части, разнесенные по времени: сбор данных и первоначальная их обработка, осуществляемые в реальном времени; обработка и анализ накопленных данных,

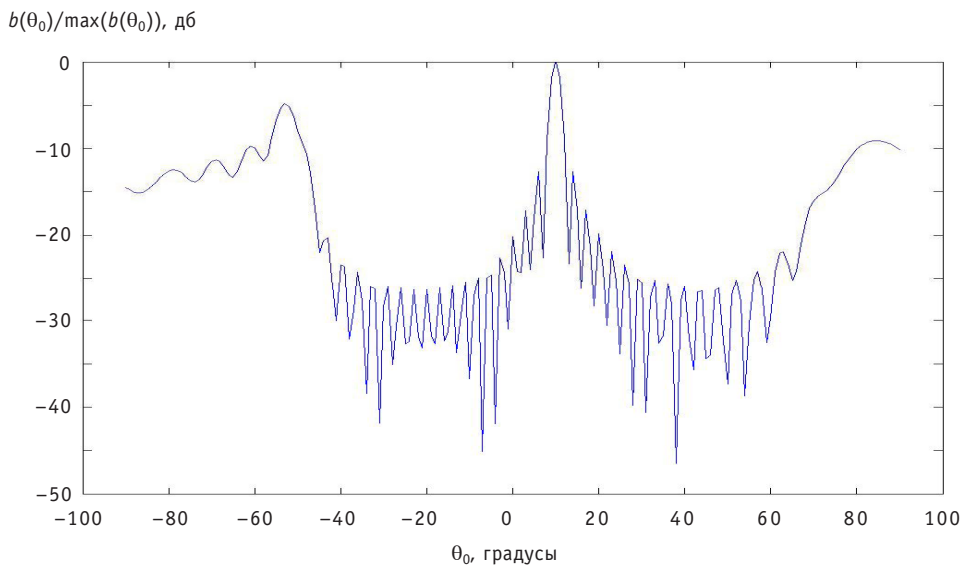


Рис. 5. Характеристика направленности виртуальной апертуры цилиндрической фазированной решетки



Рис. 6. Алгоритм контроля

осуществляемые в отложенном времени. Для проведения цикла измерений контролирующий зонд с помощью спускоподъемного устройства опускается в ТК до нижней стартовой точки. Контроль проводится при движении контролирующего зонда вверх с заданной скоростью. Получаемые данные поступают в ЭВМ, обрабатываются и записываются на жесткий диск. Электродвигатель спускоподъемного устройства снабжен механизмом слежения за количеством оборотов, что позволяет отслеживать координату вертикального перемещения.

Программное обеспечение построено по двухуровневому принципу. На верхнем уровне расположена программа управления, которая отслеживает параметры контроля и управляет всеми устройствами системы. Она отвечает за организацию контроля и взаимодействие блоков. На нижних уровнях располагаются программы, управляющие отдельными устройствами и обеспечивающие дополнительные функции. В состав программного обеспечения входят следующие программные блоки: управления серводвигателем, управления фазированной решеткой,

обработки и накопления информации, визуализации.

Серводвигатель снабжен электронным блоком сопряжения и подключен к управляющей ЭВМ. В программном блоке управления серводвигателем производится установка скорости вращения вала, установка направления вращения вала, считывание текущего положения ротора (в оборотах), формирование управляющих команд. Пересчет количества оборотов в вертикальную координату положения осуществляется по таблице градуировки. Блок управления серводвигателем включает в себя автоматизированную подсистему определения крайних положений

движения. Верхняя точка определяется автоматически с помощью так называемого датчика определения уровня зеркала, т.е. при пересечении зонда границы воздух-вода. Нижняя точка определяется заданной оператором глубиной погружения. Данная подсистема обеспечивает также возможность подвода зонда к указанной точке и проведения повторного контроля отрезка канала при необходимости.

Блок управления фазированной решеткой вырабатывает управляющие сигналы, поступающие на многоканальный дефектоскоп. Эти сигналы переключают виртуальные апертуры фазированной решетки и управляют распределением задержек по каналам дефектоскопа. Получаемые от фазированной решетки данные обрабатываются и отправляются в блок визуализации и накопления.

Блок накопления информации обеспечивает сохранение сформированного пакета в накопителе (жесткий диск ЭВМ). На каждом шаге в блок-накопитель отправляется информационный пакет, содержащий следующие данные: время отчета, координаты (уровень погружения), обработанные данные фазированной решетки. Перед началом контроля оператор заполняет протокол контроля, который сохраняется вместе с данными измерений. Программное обеспечение позволяет накапливать и хранить данные измерений в структурированном виде.

Блок визуализации обеспечивает отображение данных, поступающих во время процедуры контроля в реальном времени, обеспечивает анализ и отображение накопленных данных в отложенное время. Отображение поступающих данных во время контроля реализовано в виде осциллограмм. Отображение накопленных данных после процедуры контроля реализовано в виде графической таблицы, представляющей развертку поверхности ТК. Яркие точки указывают на наличие дефекта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная автоматизированная система контроля позволяет проводить контроль целостности с более высокой скоростью и точностью по сравнению с существующими системами.

Литература

1. Трофимов А.И., Балдин В.Д., Григорьев М.В. Диагностика и ремонт конструкций активной зоны энергетических ядерных реакторов РБМК-1000. – М.: Энергоатомиздат, 2002.

Поступила в редакцию 24.10.2007

related to reduced sets of common attributes associated with design, location and operation modes of redundant components of safety systems is proposed.

УДК 621.039.5

Automated Breakage Monitoring System of Metal and Binding Steel-Zirconium Fuel Channels RBMK-1000 Nuclear Reactor \A.I. Trofimov, S.I. Minin, M.G. Kalenishin, A.V. Nakhobov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2008. – 9 pages, 6 illustrations. – References, 1 title.

Automated breakage monitoring system of metal and binding steel-zirconium fuel channels RBMK-1000 nuclear reactor presented uses ultrasonic cylindrical phased array. Working equation allowing to managing cylindrical phased array, monitoring algorithm, and software structure are presented.

УДК (504.3+504.4):623.8

A Comprehensive Radiological and Environmental Investigation of Territories and Water Areas near Nuclear Submarine Operation Bases and Dismantling Sites \C.M. Vakulovsky, M.V. Propisnova, V.M. Kim, A.I. Nikitin, I.Y. Katrich, V.B. Chumichev, A.A. Volokitin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2008. – 6 pages, 5 tables. – References, 8 titles.

The paper presents information on the system of radiation monitoring in Arkhangelsk, Murmansk, Kamchatka regions and Primorye Territory, where the atomic submarine bases and the sites for their utilization are located. Given also are the generalized results of regular observations of the radiation situation (bulk activity of radioactive substances in the atmospheric boundary layer, their fallout on the underlying surface, tritium contents in precipitation, total activity of ^{90}Sr in the seas, the gamma radiation exposure dose) in the regions for 2003–2007 in comparison with the data given for the Russian Federation. Besides, given are the data of a radionuclide analysis of the aquatic environment samples (water, bottom sediments, flora and fauna) taken at the Russian station of coastal monitoring (near the settlement of Teriberka) along with the results of annual observations of radionuclide contents in bottom sediments in the water area close to the FSUE PA «Sevmash» in Severodvinsk.

УДК 621.039.564

Justification of Turbine-Neutron Flow Gages usage in a Vessel-Type Boiling Reactor with Natural Coolant Circulation in the Core \V.P. Sadulin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2008. – 8 pages, 3 illustrations. – References, 7 titles.

The paper presents the calculated and experimental justification of an advanced turbine-neutron flow gage to be used to measure coolant flow rate in fuel assemblies of vessel-type boiling reactor VK-50. A distinctive feature of this flow gage is that a turbine rotation frequency signal is read by a neutron detector of the in-pile heat rate control system. The lifetime of the gage is about 8 months of uninterrupted operation. Calculations of a change of its calibration performance were done at a testing facility under nominal conditions, the temperature of reactor water being raised up to 280°C. A design correction factor for the turbine rotation frequency makes up 1.006–1.01 being in inverse proportion to the water flow rate. The experiment shows that the gage performance remains the same during the above-said period of operation in the reactor.

УДК 621.039.51

Modified Internuclear Cascade-Evaporated Model for Calculation of Interactions between Particles and Nucleus in Intermediate and High Energy Ranges with Matter \A.Yu. Stankovskiy, A. Yu. Konobeev, I. S. Kuptsov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2008. – 11 pages, 3 illustrations. – References, 33 titles.

The improved intranuclear cascade and evaporation model is discussed. The fast intranuclear cascade stage follows by the de-excitation, which is described using the Hauser-Feshbach statistical model. The model proposed has been validated on radionuclide yields in proton-induced reactions at energies 0.8–1.2 GeV. The results show the advantages of using this approach instead of usual intranuclear cascade and evaporation algorithms.