

## УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ УСТАНОВКИ ДЕФЕКТОСКОПИИ ГИБОВ ТРУБОПРОВОДОВ АЭС

**А.И. Трофимов, С.И. Минин, А.Н. Савин**

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



В данной работе представлены ультразвуковые преобразователи, разработанные для автоматизированного устройства контроля гибов трубопроводов Ду 300 – Ду 800 мм АЭС. Конструкция призм ультразвуковых преобразователей позволяет фиксировать направление облучения эталонного отражателя контрольного образца. Демпфер обеспечивает оптимальную комбинацию соотношения сигнал/помеха и разрешающей способности. Для расчета демпфирования и протектора применен метод матриц перехода.

Как известно, в циркуляционных трубопроводах АЭС возникают утоньшения металла в районе гибов [1-3]. Такие же проблемы наблюдаются и в других отраслях промышленности. Непостоянство профиля поверхностигиба создает трудности его ультразвукового контроля. В силу специфики акустического тракта при контроле гибов, отсутствуют специализированные пьезоэлектрические преобразователи (ПЭП) для решения этой задачи. В некоторых случаях дефектоскописты предпринимают попытки самостоятельно «притирать» обычные наклонные ПЭП под диаметры гибов. Такая «притирка» нарушает качество ПЭП, изменяет угол ввода, что приводит в конечном счете к низкой или нулевой достоверности контроля.

Вследствие изменения угла падения излучаемой волны на границу раздела, что неизбежно при «притирке», в соответствии с законом Снеллиуса изменяется угол ввода ультразвука в металл (см. рис. 1). Это, в свою очередь, приводит к падению ультразвукового пучка на эталонный отражатель контрольного образца под углом, отличным от 45°. Но отражающая способность эталонного отражателя является величиной, зависимой от направления облучения. Таким образом, «притирка» приводит к неправильной настройке браковочной чувствительности, и, следовательно, к недостоверной оценке качества контролируемого объекта [4].

В данной работе предлагаются ПЭП для дефектоскопии гибов трубопроводов из перлитной стали. ПЭП предназначены для УЗ дефектоскопии гибов необогреваемых труб, выполненных из сталей перлитного класса, с наружным диаметром 90 мм и более, толщиной стенки 3,5 мм и более при соотношении толщины стенки к наружному

---

© А.И. Трофимов, С.И. Минин, А.Н. Савин, 2004

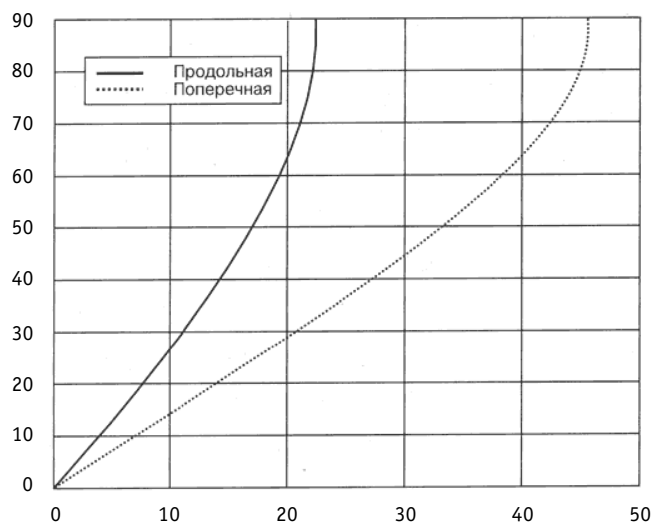


Рис.1. Зависимость углов рефракции продольной волны из оргстекла в продольную и поперечную волны в стали

диаметру не более 0,123.

Конструкция изготовленных призм устраняет вышеописанную проблему с углом ввода и создает предпосылки для достоверного контроля гибов труб вследствие фиксации направления облучения эталонного отражателя контрольного образца. Устройства конструкции, обеспечивающие эту фиксацию, иллюстрируются ходом лучей, приведенном на рис. 2.

Разработаны также демпферы резонаторов. Демпфер подобран таким образом, чтобы обеспечить оптимальную комбинацию соотношения сигнал/помеха и разрешающей способности.

Для расчета демпфирования и протектора был применен метод матриц перехода. Метод основан на том, что каждому слою (протектору, пьезопластине, демпферу) ставится в соответствие матрица с элементами, зависящими лишь от физических характеристик слоя, позволяющая легко пересчитывать акустическое поле с одной грани слоя на другую. На основе метода матриц перехода была составлена программа на языке среды MATLAB 5.2, при помощи которой проводились расчеты.

ПЭП изготавливаются разборными, т.е. состоят из резонатора и сменной призмы

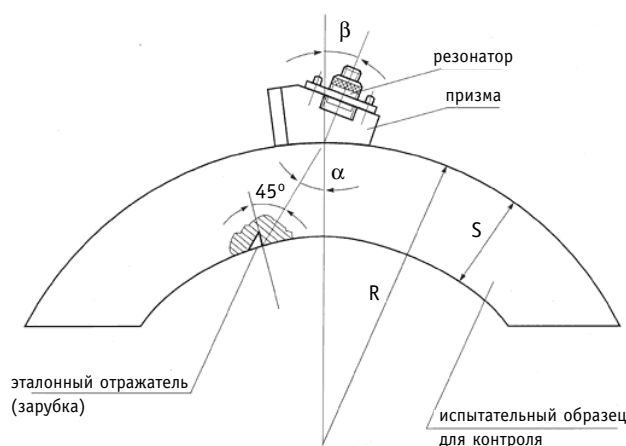


Рис. 2. Конструкция пьезоэлектрического преобразователя

Таблица

**Некоторые параметры ПЭП**

Частота, МГц, диаметр пьезоэлемента, мм	Угол ввода в сталь, град.	Отношение Сигнал/Шум в зоне контроля не менее, дБ	Запас чувствительности преобразователя, дБ	
			По С02 отв 06 мм, h44 мм	По С02 отв 06 мм, h 15 мм
1,25d20	40	16	52	-
	50	16	50	-
	65	16	43	-
2,5d12	40	16	64	-
	50	16	60	-
	65	16	44	-

из органического стекла, изготовленной под требуемый типоразмер гига, что снижает их стоимость. Основные параметры резонаторов:

- частота 1,25 МГц – диаметр пьезоэлемента 20 мм;
- частота 2,5 МГц – диаметр пьезоэлемента 12 мм.

Будем рассматривать многослойную конструкцию (рис. 3). Поле в слое будем описывать напряжением  $\sigma \equiv \sigma_x$  и колебательной скоростью  $v \equiv v_x$ . Поскольку все волны падают на границы нормально, то преобразования не происходит и распространяются только продольные волны. Значит поле в каждом пассивном слое (см. рис. 4) можно представить в виде:

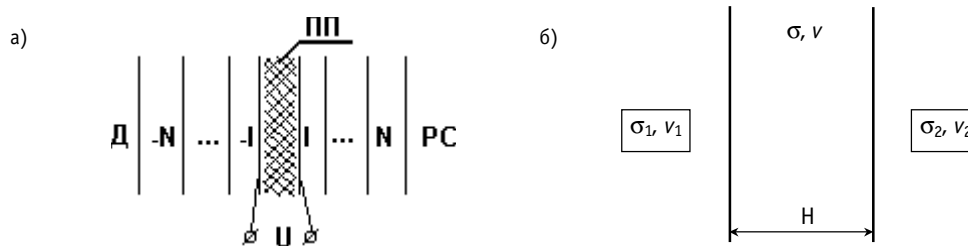


Рис. 3. Система слоев: а) – многослойная конструкция: ПП – пьезопластина, I ÷ N / -I ÷ -N – пассивные слои справа и слева от пьезопластины, Д – демпфер, РС – рабочая среда; б) – пассивный слой

**Метод матриц перехода**

$$v(x) = A \exp(ikx) + B \exp(-ikx)$$

$$\sigma(x) = -\rho c (A \exp(ikx) - B \exp(-ikx)),$$

где  $\rho$  – плотность материала слоя;  $c \equiv c_j$  – скорость продольной волны в материале слоя;  $k = \omega/c$  – волновое число. Удовлетворяя условиям на гранях слоя, приходим к понятию матрицы перехода через пассивный слой:

$$\begin{pmatrix} \sigma_2 \\ v_2 \end{pmatrix} = M \begin{pmatrix} \sigma_1 \\ v_1 \end{pmatrix} \text{ где } M = \begin{pmatrix} \cos kH - \rho c \sinh kH \\ -\frac{i \sinh kH}{\rho c} \cos kH \end{pmatrix}$$

Для перехода через слой справа налево используется обратная матрица перехода:

Очевидно, что при пересчете поля через  $N$  пассивных слоев, формула будет иметь следующий вид:

$$\begin{pmatrix} \sigma_N \\ v_N \end{pmatrix} = M^{(N)} \begin{pmatrix} \sigma_0 \\ v_0 \end{pmatrix} \text{ где } M^{(N)} = M_N M_{N-1} \dots M_1$$

$$\text{и } \begin{pmatrix} \sigma_0 \\ v_0 \end{pmatrix} = T^{(N)} \begin{pmatrix} \sigma_N \\ v_N \end{pmatrix} \text{ где } T^{(N)} = T_1 T_2 \dots T_N.$$

Для пьезоактивного слоя формулы усложняются:

$$\begin{pmatrix} \sigma_2 \\ v_2 \end{pmatrix} = M^n \begin{pmatrix} \sigma_1 \\ v_1 \end{pmatrix} + Q^n \begin{pmatrix} \sigma_0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\text{где } M^n = \begin{pmatrix} \frac{\cos kH - ai \sin kH}{1 - ai \sin kH} - \rho c i \frac{\sin kH + 2a(1 - \cos kH)}{1 - ai \sin kH} & \frac{1 - \cos kH}{1 - ai \sin kH} \\ -\frac{1 - ai \sin kH}{\rho c(1 - ai \sin kH)} & \frac{\cos kH - ai \sin kH}{1 - ai \sin kH} \end{pmatrix}; \quad Q^n = \begin{pmatrix} -\frac{1 - \cos kH}{1 - ai \sin kH} & 0 \\ -\frac{1 - ai \sin kH}{\rho c(1 - ai \sin kH)} & 0 \end{pmatrix}$$

$$\sigma_0 = \frac{e_{33} U_0}{H(1 - i\omega Z_{i/c})}; \quad a(\omega) = \frac{e_{33}^2}{\chi_3^E k H} \cdot \frac{1}{1 - i\omega Z_{i/c} C}; \quad e_{33} \text{ и } \chi_3^E - \text{физические постоянные пьезо-}$$

материала;  $U_0$  – электрическое напряжение возбуждения пьезопластины;  $Z_{i/H}$  – внутреннее сопротивление источника/сопротивление нагрузки;  $C$  – емкость пьезопластины;  $k = \omega/C^D$ ;  $C^D$  – фазовая скорость при фиксированном электрическом смещении.

Пользуясь этими соотношениями можно легко пересчитать любой сигнал через систему слоев (в том числе и через пьезослой) и решать задачи приема и излучения.

Дополнительными требованиями к ультразвуковым пьезопреобразователям при контроле трубопроводов АЭС является их радиационная и температурная стойкость. Пьезокерамика ЦТС-19 не изменяет своих свойств при потоке нейтронов  $7 \cdot 10^{17}$  нейтр/см<sup>2</sup>, она может работать даже непосредственно в активной зоне ядерного реактора. Для демпфирующего состава, протектора, корпуса ультразвукового преобразователя используются материалы, не меняющие своих свойств до 300°C.

Производительность контроля при помощи данных преобразователей определяется быстродействием электронных блоков возбуждения и обработки ультразвуковых сигналов.

Таким образом, разработаны ультразвуковые преобразователи для автоматизированного устройства контроля гибов трубопроводов Ду 300 – Ду 800 АЭС.

### Литература

1. Малейчук В.П. Разработка методов и средств автоматизированного ультразвукового контроля с повышенной информативностью и достоверностью. Отчет ДГУ. – Днепропетровск, 1981.
2. Гурвич А.К., Ермолов И.Н. Ультразвуковой контроль сварных швов. – Киев: Техника, 1972.
3. Ключев В.В. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий: Справочник. – М.: Машиностроение, 1976.
4. Трофимов А.И. Контроль и диагностика ЯЭУ/Сборник научн. тр. кафедры АКиД. – Обнинск: ОИАТЭ, 1993.

Поступила в редакцию 1.12.2003

## ABSTRACTS OF THE PAPERS

### УДК 621.039.53

*Influence of Choice Design Materials on NPP PWR and VVER SG Damage* \V.I. Baranenko, S.G. Oleinik, O.A. Belyakov, L.S. Osipova, R.S. Istomin; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2004. – 11 pages, 3 illustration, 6 tables. – References 5 titles.

Erosion-corrosive wear (ECW) is a common damage of NPP processing equipment and pipelines. Practically all elements of the condensate-feeding circuit of NPP turbo-installations are subjected to ECW. In most cases other wear modes of metal are running simultaneously with the above process.

Selection of material determines substantially the reliability and residual life of the plant.

Susceptibility of austenitic nickel-chromium alloys to corrosion cracking in different corrosive mediums depends substantially on chemistry. So, nickel and chromium influence on susceptibility to chloride cracking. Austenitic steels with 70% content of nickel are susceptible to intergranular cracking under pressure in primary circuit water, and with under 15% content of nickel are susceptible to transcrystalline cracking, when chloride concentration in the coolant is high.

The evolution of materials applied was more radical in oversea steam-generator construction. At the beginning of 70-s austenitic steels AJSJ 304 and AJSJ 316 were changed into high-nickel alloys Inkonel-600MA. As the operation life increased, the view of these alloys use were revised: improved steels Inkonel-600TT, Inkonel-690TT and Inkonel-800 came to be used. The improved steels are more resistant to intergranular and transcrystalline cracking.

In domestic SG stainless steel 08X18H10T is used. It's considered that for steam generators without horizontal tube plate life characteristics of tube systems from this steel are ensured.

Operation experience of domestic NPP showed that a large in number destructions of tube systems due to chloride corrosive cracking both at VVER-1000 NPP and VVER-440 NPP is discovered. To a certain extent consequences of tube destructions are graded by possible repairing of steam generators.

To determine more exactly residual life and to predict operation life of the pipelines a set of basic factors, such as thermohydraulic, geometric and a factor of no small importance – steel chemistry, should be available.

### УДК 621.039

*Usage of Software-Methodical Complexes for NPP Second Circuit Elements Lifetime Management* \V.I. Baranenko, S.G. Oleynik, L.S. Osipova, R.S. Istomin, S.A. Baklashov; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2004. – 6 pages, 3 illustration, 1 table. – References 9 titles.

The descriptions of PC programs (software) implementing for predicting of pipelines damages (software EKI-02) as well as steamlines (software EKI-03) of secondary circuit damages at NPPs with WWER-440 are represented in this report.

PC EKI-02 and PC EKI-03 are similar to well-known PC code CHECWORKS.

These programs allow to carry out the calculations on erosion-corrosion wear (ECW) of walls calculation of thinning and thinning velocity (direct problem), physical-chemical and thermal-hydraulic characteristic of pipelines (inverse problem) over a rated time period for pipelines with single and two-phase medium of secondary circuit at NPPs with WWER-440.

The following parameters of secondary circuit are used as initial data in software EKI-02 and EKI-03: temperature and velocity of coolant, water chemistry value (pH, oxygen concentration), design features of equipment components and pipelines, duration of operating, chemical composition of pipelines components metal and others.

The calculations on the velocity of ECW of the equipment and pipelines of the NPPs secondary circuit were carried out by means of PC EKI-02 and PC EKI-03.

### УДК 621.039.548:53.

*Ultrasonic Converters for the Automated Ultrasonic Installation of Diagnostics the Bent Pipelines of NPPs* \A.I. Trofimov, S.I. Minin, A.N. Savin; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy.

*Yadernaya energetika*" (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2004. – 4 pages, 4 illustration, 1 table. – References 4 titles.

Ultrasonic converters developed for the automated device for the control of taps pipelines 300-800 millimeters in diameter submitted in the given work. The ultrasonic converters prisms design allows to fix a direction of irradiation of a reference reflector of control sample. The layer of attenuation fluctuations provides an optimum combination of a signal/handicap ratio and resolution. The method of transition matrixes is applied for account of the attenuation fluctuations and intermediate layer.

#### **УДК 502.3**

*Results of Radioecological Expedition on Territory 30-Kilometer Zone of Chernobyl Nuclear Power Plant and Twelve Regions of Russia, Ukraine and Byelorussia in August 1986* \V.K. Oleynik, I.I. Kryshev; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2004. – 7 pages, 4 tables. – References 12 titles.

The results of radioecological expedition on territory 30-kilometer zone of Chernobyl Nuclear Power Plant and twelve regions of Russia, Ukraine and Byelorussia in August 1986 are presented. The experimental data are given on content of artificial radionuclides (Cs-137, Cs-134, Ru-103, Ru-106, Zr-95, Ce-144, Ce-141) and natural radionuclide K-40 in components aquatic and terrestrial ecosystem: algae, mollusca, fish, water, bottom sediments, mosses, needle of pine, grass and soil. The estimates of dose rates to components of natural biota are performed on the base of obtained experimental data.

#### **УДК 621.039.5.001.57**

*Method for Description of Fission Fragments by Two Pseudo-Fission Fragments. Theoretical Model* \Yu.V. Volkov, O.B. Duginov; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2004. – 7 pages, 3 illustration, 2 tables. – References 6 titles.

The model for description of neutron-fission fragments interactions by two pseudo-fission fragments is developed. The methods for ranking of isotopes according to their impact to the neutron balance and determination of the pseudo-fission fragments parameters has been proposed.

#### **УДК 621.039.5.001.57**

*Elementary Theory of the Ring Nuclear Reactor (Stability of the Ring Reactor)* \Yu.V. Volkov, G.Ya. Rumiantsev; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2004. – 7 pages, 2 illustration, 1 table. – References 4 titles.

Simulators of the ring nuclear reactors are considered in this paper. Influence of geometric parameters of ring configuration on stability of neutron field under distortion is investigated.

#### **УДК 621.039.51**

*Simulation of Slow Neutron's Transport for TRIGA Reactor* \Yu.A. Korovin, A.A. Travleev; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2004. – 7 pages, 4 illustration, 1 table. – References 10 titles.

The utilization of TRIGA fuel type reactor within a TRADE project requires a detailed analysis of neutron-physics characteristics of the TRIGA core. One of important features of TRIGA fuel – a presence of a moderator – hydrogen in the fuel meat leads to strong negative reactivity feedback. A hydrogen is in the form of zirconium hydride, and a neutron spectrum in the fuel is affected strongly by chemical binding of hydrogen and neighboring atoms in zirconium hydride.

Calculations of multiplication coefficient performed in this work with the help of MCNP code show the importance of taking into account binding effects for some materials used in TRIGA core. Recent evaluations of thermal data for hydrogen in water and in zirconium hydride are reviewed. Some differences in cross-sections from different evaluations are discovered, and an impact of these differences to the multiplication coefficient are displayed.

#### **УДК 621.039.5.001.4**

*On Possibility of Production  $^{242m}\text{Am}$  in the Special Installations* \A.L. Kochetkov, Yu.A. Kazansky, V.A. Levchenko, I.P. Matveenko; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2004. – 8 pages, 6 illustration, 2 tables. – References 8 titles.