

РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНОЙ СКОРОСТИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПРИ НЕРАЗРУШАЮЩЕМ КОНТРОЛЕ ПРОТЯЖЕННЫХ ОБЪЕКТОВ АЭС

В. В. Чегодаев

Обнинский институт атомной энергетики, г. Обнинск



Приведены основные критерии оптимизации скорости перемещения преобразователя (в частности, минимизация времени контроля и параметры минимальных дефектов), положенные в основу расчета оптимальной скорости. Производится обоснование расчета с использованием теоремы В.А.Котельникова. Получено выражение для вычисления максимально возможной скорости перемещения преобразователя и приведен пример расчета.

Большое количество протяженных объектов на АЭС (например, трубопроводы парогенератора) подвергается неразрушающему контролю для своевременного выявления дефектов типа нарушение сплошности материала. Минимизация времени проведения контроля возможна только при использовании максимально допустимой скорости перемещения преобразователя, однако, имея высокую скорость перемещения, можно пропустить мелкие дефекты, следовательно, скорость перемещения должна быть оптимальной.

Скорость перемещения преобразователя зависит от многих факторов, но основной - это параметры минимальных дефектов, которые необходимо выявить при контроле. В зависимости от выбранного метода неразрушающего контроля (вида преобразователя, его размеров) и минимальных размеров дефектов, а также учитывая частоту опроса преобразователя, рассчитывается оптимальная скорость его перемещения.

Для протяженных объектов контроля характерны следующие виды дефектов [1]: трещины, волосовины, риски, закаты. Эти дефекты можно рассматривать как длинный, узкий разрез с определенной глубиной и шириной раскрытия. Поперечный разрез этих дефектов хорошо аппроксимируется прямоугольным или треугольным сечением. При эксплуатации указанные дефекты развиваются и появляются новые, такие как поверхностная коррозия и усталостные трещины [2], которые в своем сечении могут не иметь резких переходов и описываются непрерывной функцией. Указанные типы дефектов неплохо выявляются электромагнитными методами неразрушающего контроля [2], а скорость перемещения преобразователя должна определяться, исходя из условия достоверного выявления дефекта по дискретным отсчетам в процессе перемещения вдоль объекта контроля.

Согласно теореме В.А.Котельникова (теоремы отсчетов) [3], любая функция с ограниченным спектром может быть однозначно определена по своим выбороч-

ным значениям, которые разделены интервалом $\Delta X = 1/2B$. Параметр B есть ширина спектра восстанавливаемой функции при условии, что спектральная плотность S этой функции, при верхней граничной частоте $\omega_b \geq 2\pi B$ равна нулю [3]. Для нахождения интервала отсчетов ΔX необходимо определить закон изменения спектральной плотности сечения дефекта, и на основании полученного закона изменения рассчитывается верхняя граничная частота.

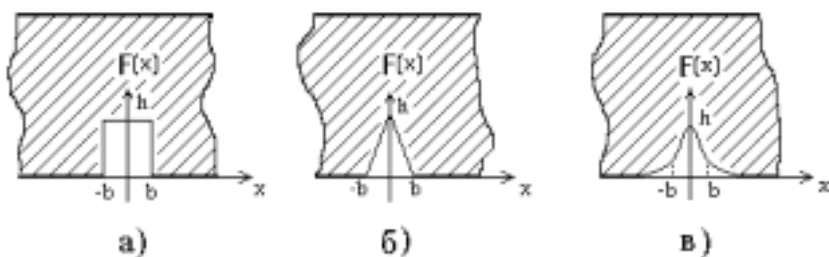


Рис.1. Сечение дефектов

На рис. 1а показано сечение дефекта, описываемое функцией

$$F(x) = \begin{cases} h & -b \leq x \leq b \\ 0 & |x| > b \end{cases}, \quad (1)$$

где b - половина ширины раскрытия дефекта; x - текущая координата перемещения преобразователя; h - глубина дефекта.

Спектр сечения этого дефекта имеет вид:

$$S(\omega) = 2hb \frac{\sin(\omega b)}{\omega b}. \quad (2)$$

На рис. 1б показано сечение дефекта, описываемое функцией

$$F(x) = \begin{cases} h \left(1 - \frac{|x|}{b}\right) & |x| \leq b \\ 0 & |x| > b \end{cases}. \quad (3)$$

Спектр сечения этого дефекта имеет вид:

$$S(\omega) = hb \left[\frac{\sin(\omega b / 2)}{\omega b / 2} \right]^2. \quad (4)$$

На рис. 1в показано сечение дефекта, описываемого функцией

$$F(x) = h e^{-(x/b)^2}. \quad (5)$$

где b - половина ширины дефекта, при которой глубина h в e раз меньше ее максимальной величины.

Спектр сечения указанного дефекта имеет вид:

$$S(\omega) = hb \sqrt{\pi} e^{-\left(\frac{\omega b}{2}\right)^2}. \quad (6)$$

Спектр этих функций ограничен, т. е. стремится к нулю при ω стремящейся к ∞ , поэтому восстановление сечения дефекта по дискретным отсчетам возможно при правильном выборе частоты дискретизации.

Согласно теореме Котельникова, во всех трех случаях частота дискретизации стремится к бесконечности. Для практических целей достаточно считать верхней частотой спектра такую частоту, при которой функция $S(\omega)$ принимает первое нулевое значение или, если нулевых значений функция не имеет, по уровню 0,1 от максимального значения. Принимая во внимание это условие, найдем верхнюю частоту спектра вышеуказанных идеализированных дефектов.

Выражение (2) принимает первое нулевое значение при $\omega_b = \pi/b$, выражение (4) имеет первое нулевое значение при $\omega_b = 2\pi/b$, выражение (6) монотонно убывает и не имеет нулевых значений. Для этого выражения определим верхнюю частоту по уровню 0,1 от максимального значения, т.е. $\omega_b = 1,5174/b$.

Интервал между выборками согласно теореме В.А.Котельникова для дефекта, изображенного на рис. 1а - $\Delta X \leq b$; на рис. 1б - $\Delta X \leq b/2$; на рис. 1в - $\Delta X \leq 2b$. Но поскольку при контроле могут встретиться все типы дефектов, то интервал между выборками необходимо принять такой, который одновременно удовлетворяет всем типам дефектов, следовательно, $\Delta X \leq b/2$.

Заданные минимальные размеры дефекта определяют интервал отсчета, а интервал времени между отсчетами, т.е. период повторения импульсов отсчетов, связан со скоростью перемещения преобразователя следующим выражением:

$$\Delta X = V \cdot \Delta t, \quad (7)$$

где ΔX - интервал отсчетов по координате X ; Δt - интервал времени отсчетов, имея в виду, что $\Delta t = T$; T - период отсчетов; V - скорость перемещения преобразователя.

Оптимальная скорость перемещения преобразователя зависит от минимальных размеров дефекта и частоты повторения импульсов отсчета $f=1/T$, а именно:

$$V \leq f \cdot b/2 \quad (8)$$

Расчеты показывают, что при $b=10$ мкм и $f=100$ кГц скорость перемещения преобразователя не должна превышать 50 см/сек.

Приведенные расчеты подразумевают, что ширина преобразователя намного меньше размеров сечения дефекта. На практике размеры электромагнитных преобразователей соизмеримы с размерами сечения дефекта или больше. В этом случае преобразователь можно разбить на элементарные участки, имеющие минимальную ширину сечения, которое перпендикулярно направлению перемещения. При этом полный сигнал преобразователя от дефекта определяется суммой откликов элементарных участков в процессе перемещения вдоль дефекта.

Список литературы

1. Герасимов В.Г., Покровский А.Д., Сухоруков В.В. Неразрушающий контроль (В 5 кн.). Электромагнитный контроль: Практ. пособие /Под ред. В. В. Сухорукова. - М.: Высш. шк., 1992. - №3. - 312 с.
2. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. Справочник (В 2 кн.) /Под ред. В. В. Клюева. - 2 изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1986. №2. - 352 с.
3. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике (для научных работников и инженеров). - М.: Наука, 1974. - 832 с.

Поступила в редакцию 20.08.99.

ABSTRACTS OF THE PAPERS

УДК 621.039.566

Calculation of the Resource Performances of Equipment under Nonlinear Effects of Degradation Processes \ O.M. Gulina, N.L. Sal'nikov; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 1999. – 5 pages, 2 illustrations, 1 table. – References, 4 titles.

The method of nonlinear summation of damages for calculation of the resource performances of equipment working under corrosion and the change of modes of operation conditions is developed. Parameter describing the process of degradation of a material under these conditions is introduced, and the equation for estimation of this parameter is obtained. For the solution of the problem the statistics on failures of equipment and the dependence of time before failure from parameters of medium and performances of a material is utilized.

УДК 620.179.16

Ultrasonic Method of Control of Stressed State of a Metal for Technological Channels of RBMK-type Nuclear Reactors on the Basis of Acousto-elasticity Effect \ M.A. Trofimov; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 1999. – 6 pages, 2 illustrations, 1 table. – References, 9 titles.

The analysis of theoretical investigations devoted to the acoustic elasticity effect is carried out. Modules of the second and the third order and their quantitative assessments are considered. On the basis of the analysis results the theoretical basing of the control method of stressed state for the metal of technological channels of RBMK-type nuclear reactors is proposed.

УДК 62-762.6: 62-13.621.318

Magnetic End Sealing \ Jan Fidler; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 1999. – 4 pages, 2 illustrations, 1 table. – References, titles.

End sealing of rotated heat installations, such as steam turbines, used both for classical heat power stations and for NPPs are very important from the point of view of providing the tight and reliability of equipment. To secure the sealing between the rotors are usually used the labyrinth noncontact sealings. Besides the classical noncontact and contact sealings tested by long-lived operational experience, the magnetic end sealings with the powder seal have been developed. However, the field of their applicability is restricted. The opportunities of usage this sealings are discussed in the paper.

УДК 620.179.1: 621.039.004.58

Calculation of Optimal Travel Velocity of a Transducer during Nondestructive Control of NPP's Lengthy Objects \ V.V. Chegodaev; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 1999. – 3 pages, 1 illustration. – References, 3 titles.

The calculation of optimum velocity based on the main criteria of optimization of travel velocity of a transducer (in particular minimization of the control time and parameters of minimal defects) are given. The basing of the calculation using the V.A. Kotelnikov theorem is given. The expression for evaluation of the maximal travel velocity of the transducer is obtained and the example of calculation is given.

УДК 621.039.526

Optimization of the Characteristics of Inherent Self-Protection of Fast Reactors Cooled Potassium-Heavy Metal Alloys \ A.M. Kuzmin, V.S. Okunev; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 1999. – 9 pages, 5 tables. – References, 5 titles.

Some optimal inherent safety characteristics of LMFRs cores cooled with K-Pb and K-Bi alloys are analysed and presented in this paper. The core concept is based on the BN-800