

МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНОВА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭРОЗИОННО-КОРРОЗИОННОГО ИЗНОСА ОБОРУДОВАНИЯ АС МЕТОДОМ НЕЙРОСЕТЕВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В.И. Бараненко, О.М. Гулина, Д.А. Докукин

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



Обсуждается проблема эрозионно-коррозионного износа (ЭКИ), которому подвержены оборудование и трубопроводы АС. Анализируются методы моделирования процесса ЭКИ. Изложена методология применения теории нейронных сетей для прогнозирования ЭКИ.

В настоящее время в мире эксплуатируется 436 блоков, из них 105 блоков старше тридцати лет. В течение следующих десяти лет каждый год от 15 до 30 блоков будут достигать тридцатилетнего возраста [1]. На подобных объектах особую опасность представляют дефекты оборудования и трубопроводов, образующиеся по эрозионно-коррозионному механизму, эффект которого проявляется после 10-15 лет эксплуатации. Этот процесс характерен для оборудования и трубопроводов, изготовленных из сталей перлитного класса [1, 2].

На атомных и тепловых станциях регулярно проводятся мероприятия по контролю толщин стенок элементов трубопроводов с целью выявления мест эрозионно-коррозионного износа. Выполнение подготовительных работ, проведение измерений и обработка результатов контроля требуют значительного количества времени и средств. Эффективность данных мероприятий определяется объемом и периодичностью контроля, а также распределением проводимых измерений по элементам трубопроводов. Ежегодно на каждом блоке осуществляется выборочный контроль толщинометрии объемом ~ 20000 измерений. С целью сокращения объема контроля проводится предварительный анализ по выявлению групп элементов трубопроводов, наиболее подверженных процессу ЭКИ.

Для оценки периодичности контроля необходимо использовать модели прогнозирования развития процесса ЭКИ. Как правило, используются аналитический и эмпирический подходы к моделированию процесса. При этом точность результатов прогнозирования зависит от применяемой модели. На рис. 1 приведена классификация моделей прогнозирования ЭКИ.

Аналитические модели, основанные на теоретическом описании физических процессов, незаменимы при исследовании отдельных механизмов ЭКИ: каплеудар-

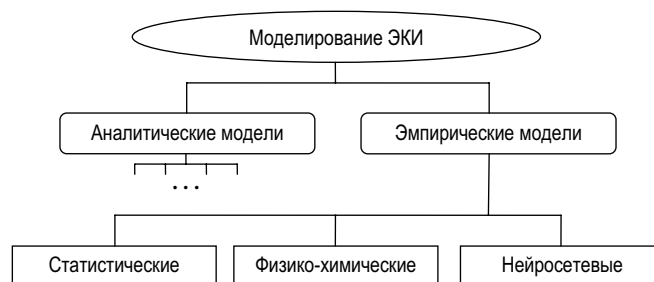


Рис. 1. Модели прогнозирования ЭКИ

ная эрозия, кавитационная эрозия, электрохимическая коррозия и т.д. Кроме того, например, гидродинамические модели позволяют выявлять места возникновения локальных утонений и получать пространственные распределения ЭКИ на основании характеристик потока, что позволяет корректировать схемы мест проведения контрольных измерений.

Однако процессы, определяющие ЭКИ, сложным образом взаимосвязаны друг с другом, и их влияние на общий процесс износа определяется многими факторами: геометрией элемента оборудования, химическим составом металла, типом теплоносителя и параметрами эксплуатации. Поэтому в настоящее время аналитические модели способны обеспечить лишь качественный анализ и не могут быть использованы для количественного прогнозирования процесса ЭКИ.

Эмпирические модели строятся на основании данных эксплуатационного контроля и результатов лабораторных исследований. Для прогнозирования ЭКИ оборудования конкретного блока необходимо выполнить калибровку эмпирической модели, используя данные эксплуатационного контроля этого блока. Модель, полученная в результате калибровки, не может быть применена для другого блока без соответствующей адаптации.

Основным недостатком эмпирических моделей является невозможность прогнозирования пространственного распределения ЭКИ. Можно выделить три вида эмпирических моделей: статистические, физико-химические и нейросетевые.

Статистические модели позволяют оценить общее состояние системы или отдельных групп элементов трубопроводов на данный момент. В основе статистических моделей лежат данные эксплуатационного контроля. Методы статистического анализа применяются для оперативного реагирования на сложившуюся ситуацию: выявление элементов, подверженных ЭКИ, оценка максимальной и средней скорости ЭКИ, и т.д., на основании чего можно оценить объем и примерную дату следующего контроля.

Физико-химические модели базируются на большом объеме экспериментальных данных, на основании которых выявляются закономерности влияния отдельных факторов на общий процесс ЭКИ, например, влияния температуры, скорости потока, содержания кислорода или диаметра трубопровода на интенсивность ЭКИ (см. рис. 2). Приведенные графики иллюстрируют разнообразный характер влияния факторов на износ оборудования.

В общем виде физико-химическую модель можно представить как произведение функций, описывающих влияние конкретного фактора при постоянных значениях оставшихся факторов:

$$W = F_1(T)F_2(V)F_3(O_2)F_4(pH)F_5(Cr)F_6(Mo)F_7(Cu)F_8(D)F_9(G)F_{10}(Am)F_{11}(\alpha)F_{12}(\tau) \quad (1)$$

где $F_1(T)$ – функция зависимости скорости ЭКИ от температуры (мм/год), а $F_2 - F_{12}$ – безразмерные функции, описывающие зависимость процесса ЭКИ от скорости

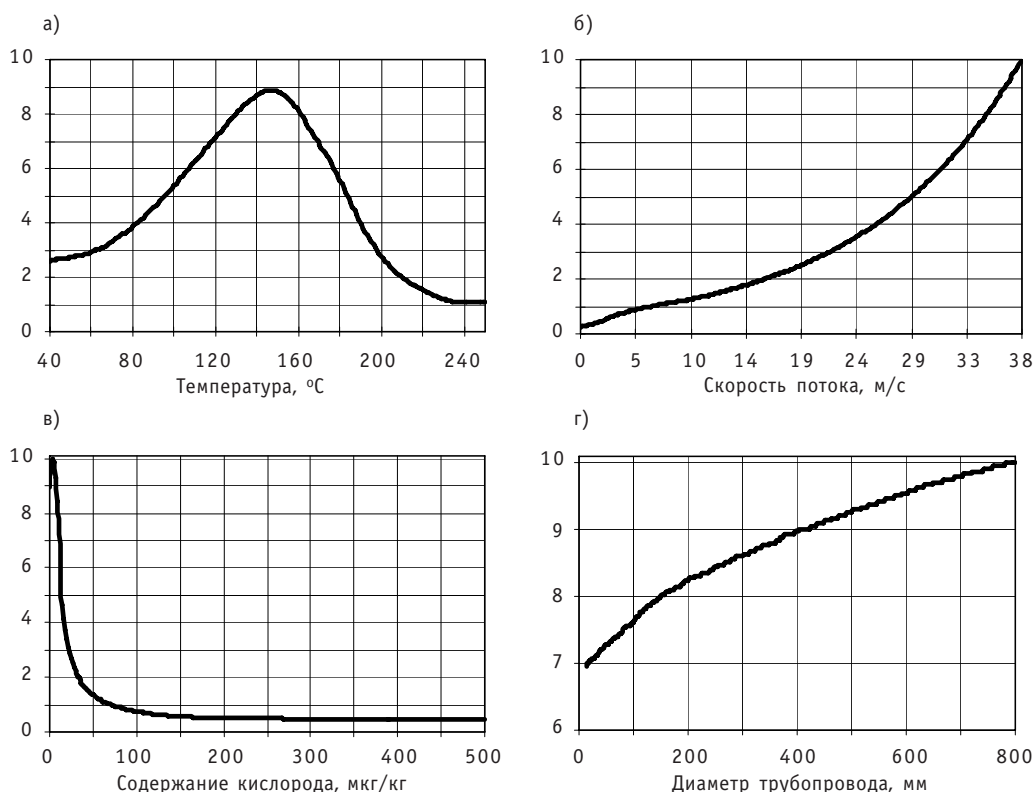


Рис. 2. Влияние температуры (а), скорости потока (б), содержания кислорода (в), диаметра трубопровода (г) на интенсивность ЭКИ

потока, содержания кислорода, значения pH среды, содержания хрома, молибдена и меди в металле, внутреннего диаметра и геометрических особенностей элемента трубопровода, применяемого амина, влажности пара, времени эксплуатации соответственно. Перечень факторов, заложенных в модель, может изменяться в зависимости от имеющихся эмпирических данных [2].

Недостатком физико-химических моделей является допущение о независимом влиянии факторов с целью снижения сложности модели. Достоверность прогнозных расчетов определяется достоверностью эмпирических зависимостей, построенных для каждого фактора. Кроме того, функции влияния факторов времени и геометрии элемента трубопровода являются индивидуальными для каждого блока. Таким образом, для достоверного прогнозирования требуется проведение большой аналитической работы по адаптации модели к эксплуатационным данным конкретного блока. Погрешность физико-химических моделей обычно составляет $\pm 50\%$ [1].

Несмотря на недостатки, прогнозирование на основе физико-химических моделей согласуется с данными контроля ЭКИ. В рамках этого подхода разработан известный программный комплекс CHECWORKS (ERPI, USA) [3]. Этот продукт широко используется для прогнозирования ЭКИ на энергоблоках США, Канады, Франции, Германии и др. В России аналогичными программными средствами являются ЭКИ-02 (однофазная среда) и ЭКИ-03 (двухфазная среда) [2].

Нейросетевые модели. Вышеуказанные недостатки автоматически снимаются при использовании математического аппарата теории нейронных сетей. Нейронные сети хорошо зарекомендовали себя в области моделирования систем и про-

цессов, внутренние связи которых либо мало изучены, либо реализуют сложные взаимодействия [4]. Эрозионно-коррозионный износ оборудования и элементов трубопроводов АС относится к подобным процессам. В настоящее время данный метод прогнозирования ЭКИ активно развивается [5].

Сеть – это модель процесса. Основными характеристиками сети являются структура, количество слоев, тип нейрона, входные и выходные величины, алгоритм обучения. Выбор атрибутов нейронной сети обусловлен объемом и качеством экспериментальных данных, имеющихся для обучения. Базой обучения являются результаты толщинометрии, химический состав металла, водно-химический режим теплоносителя, температура, скорость потока и др. Причем предварительной обработки данных и получения соответствующих зависимостей для конкретного фактора не требуется. Однако для повышения достоверности прогноза необходима фильтрация данных, заключающаяся в использовании лишь информации об утонениях, т.к. процесс ЭКИ связан с утонением стенки, а утолщения обусловлены другим процессом – переносом продуктов коррозии, который не должен вносить дополнительный шум в прогнозируемый процесс.

Не стоит пытаться построить универсальную сеть. Это потребует разработки сложной структуры сети с большим количеством слоев и нейронов, а, следовательно, понадобится обучающая выборка большего объема для получения приемлемого результата. Так, например, для каждого геометрического типа элементов трубопровода (прямой участок, гиб, отвод и т.п.) имеет смысл построить отдельную сеть, что значительно упростит структуру нейронной сети и повысит точность модели.

Результатом работы сети является прогнозируемое значение утонения стенки элемента трубопровода в выбранный момент времени. Значения входных величин, одновременно подаваемых на вход сети, должны относиться к конкретному элементу трубопровода. Данные величины можно разделить на основные и дополнительные (см. рис. 3).

Основные параметры являются необходимыми для работы сети. К ним относятся дата проведения и результат толщинометрии, а также момент времени, для которого прогнозируется значение утонения. Начало отсчета времени соответствует началу эксплуатации блока. В случае, когда для каждого рассматриваемого элемента трубопровода доступно несколько заключений толщинометрии, следует расширить количество используемых моделью значений утонения стенки элемента трубопровода, что положительно отразится на точности прогноза.

Дополнительные входные параметры вводятся в модель для более детального разделения значений результатов толщинометрии, что приводит к образованию

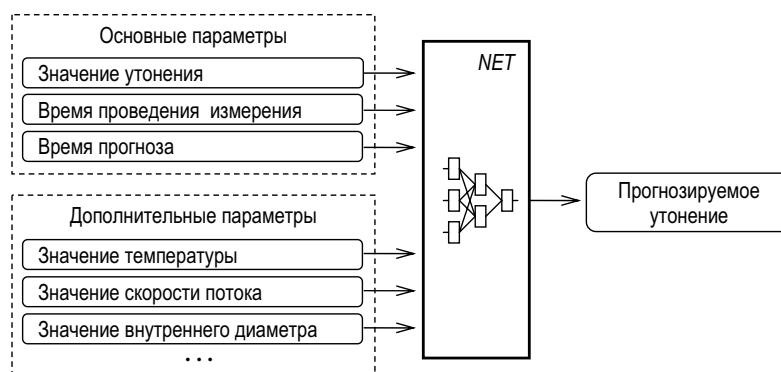


Рис. 3. Входные и выходные параметры нейронной сети

дополнительных связей в нейронной сети. К дополнительным параметрам относятся значения температуры, внутреннего диаметра, скорости потока, содержания кислорода, типа амина, химического состава металла и др. Введение в модель дополнительного параметра имеет смысл только при наличии эксплуатационных данных для различных значений этого параметра. В этом и состоит основная сложность процесса сбора информации, т.к. многие факторы, оказывающие существенное влияние на процесс ЭКИ, не контролируются на реальных блоках [1].

Заключение о результатах толщинометрии, помимо таблицы значений толщин (табл. 1), содержит следующую информацию: календарная дата проведения контроля, геометрический тип, внешний диаметр и номинальная толщина контролируемого элемента, а также схема зон контроля. Выше упоминалось, что локальные эффекты плохо прогнозируются эмпирическими моделями, поэтому из серии измерений следует выбирать максимальное значение утонения стенки элемента трубопровода.

Таблица 1

**Фрагмент заключения о результатах толщинометрии.
Отвод Ø530×28 трубопровода питательной воды**

Объект контроля	Полоса	Места контроля толщины по сечениям, мм					
		А	Б	В	Г	Д	Е
1–2	1	26,1	26,0	26,0	26,0	26,0	26,1
	2	26,3	26,0	25,8	25,6	26,0	26,3
	3	26,8	26,7	26,5	26,7	26,8	26,8

Настройка нейронных сетей, предназначенных для задач прогнозирования, производится по принципу «обучение с учителем». Для формирования обучающего вектора необходимо располагать по крайней мере двумя заключениями о результатах толщинометрии и значениями дополнительных входных параметров для каждого рассматриваемого элемента. На входы нейронной сети подаются значения дополнительных параметров, даты и максимального утонения стенки из заключения более ранней процедуры контроля, и даты следующего контроля. В результате работы нейронной сети значение, полученное на выходе, сравнивается со значением максимального утонения из заключения более позднего контроля и выполняется процедура подстройки сети в соответствии с выбранным методом обучения [4]. Процедура обучения повторяется до тех пор, пока разность между значением, получаемым на выходе нейронной сети, и эталонным значением не будет меньше требуемой величины.

В рабочем режиме на входы обученной нейронной сети подаются значения результата последней процедуры контроля, даты контроля, дополнительных параметров для рассматриваемого оборудования и времени, для которого нужно выполнить прогноз. На основании указанных входных данных нейронная сеть вычисляет прогнозируемое значение утонения стенки элемента трубопровода.

Таким образом, в данной работе показано, что

- процесс ЭКИ характерен для элементов трубопроводов со сроком эксплуатации более 15 лет и требует особого контроля;
- для повышения эффективности контроля необходима разработка моделей прогнозирования ЭКИ; приведен обзор аналитических и эмпирических моделей;
- предложен аппарат теории нейронных сетей для решения задачи прогнозирования процесса ЭКИ; изложена методологическая основа прогнозирования ЭКИ методом нейросетевого моделирования.

Литература

1. Эрозия-коррозия. Коррозия при содействии потока/Материалы международного технического семинара (Обнинск, 6-8 ноября 2007).
2. Бараненко В.И., Янченко Ю.А. Решение проблем снижения эрозионно-коррозионного износа оборудования и трубопроводов на зарубежных и отечественных АЭС// Теплоэнергетика. – 2007. – № 5. – С. 12-19.
3. Chexal B., Mahini R., Munson D. CHECWORKS An integrated computer program for controlling flow accelerated corrosion/The forth Inter. Topral. Meeting on Nuclear Thermal Hydraulics Operations and Safaty (Taipei – Taiwan, 5-9 april 1994). – P. 5.
4. Уоссерман Ф. Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика (пер. Ю.А. Зуев, В.А. Точенов). – М.: Мир, 1992.
5. Левчук В.И., Бакиров М.Б., Селезнев Л.И. Новый подход к оценке эрозионно-коррозионного износа оборудования и трубопроводов на АЭС// Теплоэнергетика. – 2007. – № 5. – С. 71-76.

Поступила в редакцию 26.12.2007

ABSTRACTS OF THE PAPERS

УДК 621.039.58

Methodology of Erosion-Corrosion Wear Prediction by Neuron Net Modeling \ V.I. Baranenko, O.M. Gulina, D.A. Dokukin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2008. – 6 pages, 1 table, 3 illustrations. – References – 5 titles.

There is discussed the problem of ECW in NPP equipment, also the classification of prediction models is performed. The methodology of NPP equipment ECW prediction by using of neuron net models is observed.

УДК 621.039.5

The Conservatism Estimations Providing of Reliability of Nuclear Technologies Objects Including Low Statistics of Failures \ Y.V. Volkov, D.S. Samohin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2008. – 8 pages, 1 table, 5 illustrations. – References – 7 titles.

The method of the analysis of a degree of the conservatism estimations of reliability and safety parameters of nuclear technologies objects is developed and shown on data of reactor VVR-C emergency shutdowns. Opportunities of the offered approach are shown by the analysis of statistical data on failures of the equipment, including low statistics of failures.

УДК 621.039.564

Automatic Complex Control System of Condition of Technological Channels of the RBMK-1000 Reactor \ A.I. Trofimov, A.V. Nahabov, M.G. Kalenishin, S.I. Minin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2008. – 6 pages, 5 illustrations. – References – 2 titles.

The results of development the algorithm and software for the complex control system have been shown in the article. The system allows to control diameter, linearity and thickness of technological channels. Also defects of a channel's metal are detected by the system.

УДК 519.7:574

Analyze of the Distribution Functions Soils Biological Activity in Technogenic Contaminated Areas \ N. Pavlova, V. Romancov, E. Sarapul'seva; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2008. – 7 pages, 3 illustrations. – References – 13 titles.

In this work a lot of biological activity parameters have been analyzed. The results were processed statistically. This work demonstrates that CO₂ flux, metanogenic and denitrificated activities of soil microorganisms are statistically significant for biological analysis of technogenic contaminated areas.

УДК 621.039.5

Georeactor in Bowels of the Earth \ A.A. Bezborodov, N.V. Gusev, I.R. Suslov, V.I. Folomeev; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2008. – 11 pages, 4 illustrations, 3 tables. – References – 40 titles.

The possibility of long proceeding of nuclear fission chain reactions in Earth's bowels during 4 gygarears up to date is researched. Natural fast breeder in state of "lakes" may have been formed in settling down of uranium oxides or uranium carbides from liquid layer onto a solid Earth's core. Mechanism of uranium concentration at the Earth's core have been given. Corresponding experiments have carried out. In this layer chain nuclear reaction could occurred with new fissile nuclides breeding. Neutron physics performance data of the georeactor have been calculated. It is possible that it takes place pulse mode operation haw it was in case of natural nuclear reactor in Oklo (Gaboon). International set neutrino detectors are available to detect georeactor characteristics.