

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННОГО ПАСПОРТА ПРОГНОЗА СОСТОЯНИЯ ТРУБЧАТКИ ПАРОГЕНЕРАТОРА АЭС С ВВЭР

В.К. Семенов, Д.С. Румянцев

Ивановский государственный энергетический университет, г. Иваново



Существующая система организационных и технических мероприятий по вводу и эксплуатации теплоэнергетического оборудования АЭС с ВВЭР разработана для нового оборудования, в котором все однотипные аппараты имеют одинаковое стартовое состояние. Если же исходные состояния однотипных аппаратов очень сильно различаются, то указанный подход не корректен. Поэтому необходимо создать методики прогнозирования долговечности труб ПГ, которые в комплексе с анализом результатов эксплуатации позволяют разработать рекомендации по повышению сохранности и продлению срока ресурса конкретного ПГ.

Разработаны полуэмпирическая математическая модель и компьютерная программа, позволяющие прогнозировать сроки химических промывок в парогенераторе.

Опыт эксплуатации АЭС с реакторами ВВЭР показывает, что большинство случаев простоя станций связано с выходом из строя теплоэнергетического оборудования, преимущественно парогенераторов (ПГ). Надежность оборудования обеспечивается жестким соблюдением технологического режима, техническим обслуживанием и ремонтом. Техническое обслуживание и ремонт оборудования базируются на системе планово-предупредительных ремонтов (ППР). Эта система основывается на среднестатистических данных обследования состояния оборудования. При этом не учитываются различие в условиях эксплуатации оборудования, его исходное состояние и износ. В особенности это касается оборудования, вводимого в эксплуатацию после длительной консервации. Поскольку теплоэнергетическое оборудование является чрезвычайно дорогим, то назначение одинаковых сроков ППР для оборудования с различным износом приводит к неоправданному расходу материальных ресурсов.

Для решения данной задачи необходимо создание действенной системы прогнозирования состояния оборудования, при этом прогноз должен осуществляться для каждого индивидуального аппарата на основе имеющейся о нем информации. Главным элементом, определяющим ресурс парогенератора, являются теплообменные трубки (ТОТ), поэтому обеспечение их надежной работы представляет собой важнейшую задачу. Основным фактором, влияющим на состояние теплообменных поверхностей трубчатки, является водно-химический режим, который определяет поступление продуктов коррозии конструкционных материалов из

конденратно-питательного тракта в парогенератор с последующим осаждением их на теплообменной поверхности трубного пучка и образованием шлама на нижней образующей корпуса парогенератора и в межтрубном пространстве вплоть до полного его перекрытия [1]. В отложениях происходит концентрирование коррозионно-активных примесей котловой воды, инициирующих коррозионные повреждения трубок (рис. 1), что приводит к их дальнейшему глушению. Образование продуктов коррозии на трубчатке парогенератора также ухудшает теплопередачу и приводит к повышению температуры.

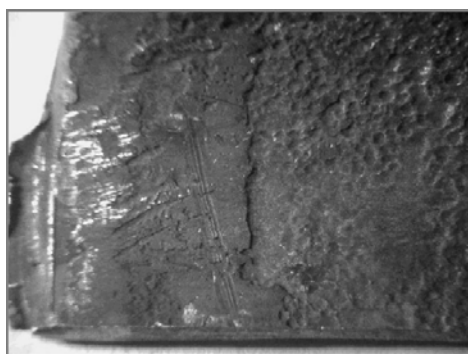


Рис.1. Поверхность трубки с коррозионными повреждениями

Это все отрицательно сказывается на ресурсе парогенератора и ведет к неминуемой его замене, при которой продолжительность простоя может составлять порядка 300 дней и более при стоимости замены 100–200 млн. долларов. Для удаления отложений на ТОТ применяют химическую промывку, осуществление которой является трудоемким и достаточно дорогим процессом с последующей трудностью утилизации промывочного раствора. Осуществление химической промывки также приводит к простоям оборудования.

Таким образом, прогнозирование сроков химических промывок отдельно взятого парогенератора является чрезвычайно актуальным.

В ходе работы нами была разработана полуэмпирическая стохастическая математическая модель, которая позволяет провести прогноз количества коррозионных отложений. Причем прогноз ведется для каждого аппарата в отдельности с отслеживанием его состояния в течение всего срока эксплуатации.

В модели было предположено, что первоначальное осаждение коррозионных отложений является термофоретическим адсорбционным процессом, для которого скорость накопления определяется уравнением рождения и гибели (образование отложений и их срыв). Скорость рождения определяется числом свободных мест – «ловушек» на адсорбирующей поверхности. Такими ловушками являются начальные поверхностные дефекты теплообменной поверхности (дефекты в виде царапин, шероховатостей, углублений и пр.). По мере роста числа отложений сами осажденные продукты коррозии являются ловушками для новых частиц [2], поставляемых гидродинамическим потоком. Таким образом, формально (математически) скорость рождения можно представить двумя слагаемыми:

$$\frac{dN}{dt} = \sigma_0 \Phi (N_{00} - N) + \sigma_1 \Phi N, \quad (1)$$

где N – безразмерное число, численно равное поверхностной плотности коррозионных отложений; σ_0 и σ_1 – соответственно сечения реакции осаждения примесей на свободную поверхность и на поверхность, занятую продуктами корро-

зии; Φ – плотность потока частиц на поверхность; N_{00} – начальная поверхностная плотность «ловушек». Первое слагаемое в правой части уравнения носит чисто адсорбционный характер. Оно говорит о том, что скорость адсорбции пропорциональна числу свободных мест-ловушек, обусловленных поверхностными дефектами. Наличие второго слагаемого говорит о том, что процесс осаждения продуктов коррозии сам зависит от уже имеющихся отложений, т.е. носит цепной характер. Вводя константу скорости реакции $k = \sigma \cdot \Phi$, выражение (1) можно записать в виде

$$\frac{dN}{dt} = k_0 (N_{00} - N) + k_1 N. \quad (2)$$

Скорость гибели отложений (срыв), зависящая от многих факторов, тоже пропорциональна поверхностной плотности частиц, может быть представлена в виде $k_r \cdot N$ (k_r – константа скорости гибели коррозионных отложений). Таким образом, скорость отложения продуктов коррозии может быть представлена следующим уравнением рождения и гибели:

$$\frac{dN}{dt} = R - kN, \quad (3)$$

где $R = k_0 N_{00}$, $k = k_0 + k_r - k_1$.

Прогноз на основе уравнения рождения и гибели, безусловно, физически является более предпочтительным. Поскольку в течение эксплуатации аппарата изменяются условия его работы (тепловой и динамический режимы, концентрация примесей, заносимых из конденсато-питательного тракта, накопление усталости материалов, образование трещин и пр.), то уравнение рождения и гибели несколько модифицируем и представим в следующем виде:

$$\frac{dN}{dt} = \lambda(t) \left(1 - \frac{N}{N_p} \right), \quad (4)$$

где $\lambda(t) = \lambda_0 + \alpha \cdot t + \beta \cdot t^2 + \gamma \cdot t^3$ – коэффициент, учитывающий изменчивость условий работы аппарата в процессе его эксплуатации. Из физических соображений ясно, что в первый момент времени при $t = 0$ скорость отложения продуктов коррозии должна равняться нулю, т.е. слагаемое λ_0 нужно положить тоже равным нулю. Интегрируя (4), получим

$$N = N_p - (N_p - N_0) \exp(-g(t)), \quad (5)$$

где $g(t) = \frac{\alpha \cdot t^2}{2} + \frac{\beta \cdot t^3}{3} + \frac{\gamma \cdot t^4}{4}$; N_0 – начальная поверхностная плотность коррозионных отложений; α, β, γ – коэффициенты, определяемые из экспериментальных данных.

Экспериментальными данные являются результатом по измерению удельной загрязненности трубчатки ПГ в течение его эксплуатации.

Для коррозионных отложений дисперсия распределения определяется выражением

$$\frac{\Delta}{N_p} = \frac{(1-N)^2}{(1-N)^2} \left[\Delta_0 + \frac{(1-N) \cdot (N-N)}{(1-N)} \right]. \quad (6)$$

Входящее в уравнение (2) стационарное значение коррозионных отложений N_p не может быть экспериментально определено, поскольку в условиях эксплуатации парогенераторов на исследуемых интервалах времени стационарное состояние не достижимо. Однако нам задано предельно допустимое значение концентрации отложений N_{npr} , которое достижимо в указанных интервалах. Поскольку

выполняется условие $N_{np} \ll N_p$, значение N_p можно определить методом подбора. Критерием правильности выбора этого значения будет совпадение теоретической функции прогноза с экспериментальными данными и близость функции прогноза для средних значений с более грубой функцией прогноза, для задания которой указанный предел не используется. Оптимальным вариантом выбора оказалось $N_p = 10N_{np}$.

На данной математической модели разработана компьютерная программа на языке Object Pascal в среде Delphi [3]. С ее помощью можно осуществить прогноз коррозионных отложений на трубчатке. Рабочее окно программы представлено на рис. 2. Оно имеет дружелюбный интерфейс и простое в управлении.

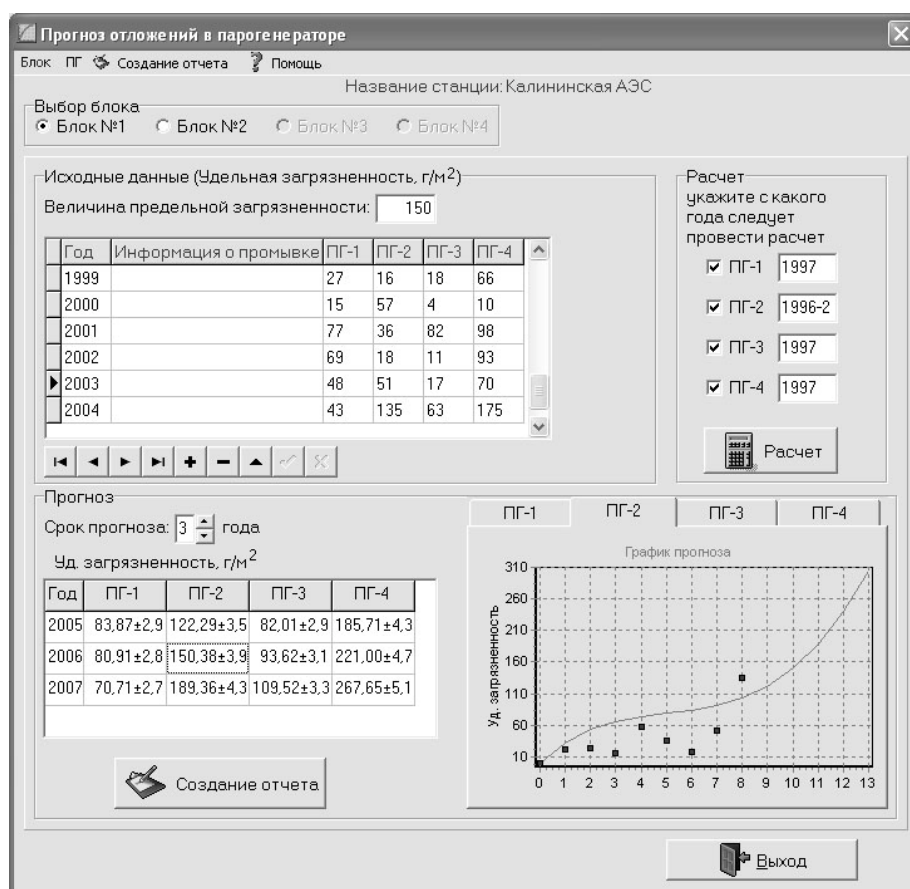


Рис. 2. Рабочее окно прогноза коррозионных отложений в парогенераторе

Исходными данными в прогнозе коррозионных отложений является удельная загрязненность, отслеживаемая в процессе эксплуатации теплообменного оборудования.

Прогноз ведется для отдельного парогенератора с возможностью выбора сроков. Выходным результатом является не только значение прогнозируемой величины и график кривой прогноза, но и срок проведения химической промывки. Окончательно, путем нажатия кнопки «Создание отчета», можно увидеть заключение о необходимости вывода из работы ПГ в ремонт с целью его полной очистки от коррозионных отложений (рис. 3).

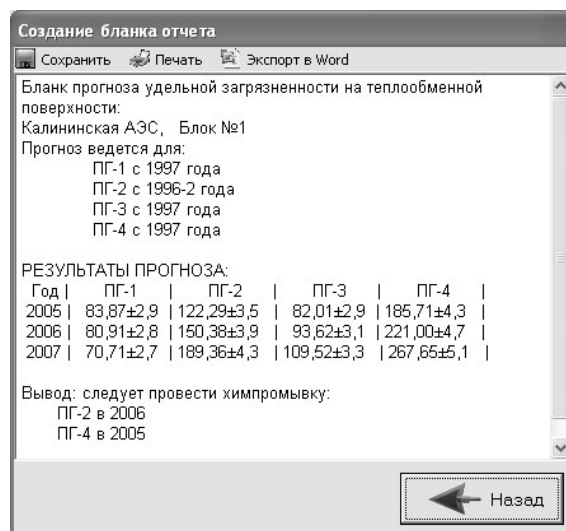


Рис. 3. Окно бланка прогноза удельной загрязненности в парогенераторе

Таким образом, программа включает в себя следующие возможности:

- вести прогноз для каждого ПГ в отдельности;
- выбирать сроки прогноза;
- редактировать и добавлять данные о результатах обследования трубочки ПГ с последующим сохранением изменений;
- рассчитывать наступление сроков химических промывок;
- рассчитывать флуктуацию прогноза значений коррозионных отложений;
- строить графики прогноза;
- создавать отчет с последующей его печатью или сохранением в текстовый файл, а также экспортировать в Microsoft Office Word;
- учитывать стартовое состояние теплообменного оборудования;
- вызывать справку в случае возникновения затруднений при использовании программы;
- использовать программу не только для ПГ, но и для любого теплообменного оборудования.

В заключение отметим, что предлагаемые нами математические модели и компьютерную программу электронного паспорта прогноза состояния теплообменных поверхностей, в принципе, можно использовать для любого теплообменного оборудования. Причем достоверность прогноза можно значительно повысить, организовав измерения концентрации примесей на входе и выходе из парогенератора в процессе его непрерывной работы.

Литература

1. Крицкий В.Г. Проблемы коррозии и водно-химических режимов АЭС. – С-Пб.: СИНТО, 1996.
2. Мамет В.А., Мартынова О.И. Процессы «хайд-аут» (местного концентрирования) примесей котловой воды парогенераторов АЭС и их влияние на надежность работы оборудования // Теплоэнергетика. – 1993. – № 7. – С.2-7.
3. Хомоненко А.Д. Delhi 7. – СПб.: БВХ-Петербург, 2004.

Поступила в редакцию 2.12.2008

ABSTRACTS OF THE PAPERS

УДК 621.039.58

The Microprocessor Unit Controlling the Complex Diagnostic Test Bench for Vibration Examination of Pipelines of Nuclear Power Plants \V.I. Velkin, D.S. Komoza, A.Y. Krutikov, V.V. Khnikina; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 5 pages, 5 illustrations. – References, 4 titles.

The examination results of passive swirlers for decreasing a level of vibration in the pipelines with two-phase flow were presented. Designs of the swirlers were shown. Metering characteristics providing formation of parameters of a two-phase mixture were described. The results characterizing a relative decreasing of vibration displacement of the pipelines used swirlers were exhibited. The view of the microprocessor unit controlling the experimental diagnostic test bench was exhibited. The scheme and the functioning algorithm were described.

УДК 621.039.548

Development of Automatic System by Expose Fuel Channel with Non-Hermetic Assemblies \A.M. Zagrebayev, I.V. Oghegin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 8 pages, 6 illustrations. – References, 6 titles.

Scrutinize problem expose non-hermetic fuel assemblies. Description principles of function automatic system by expose fuel channel with non-hermetic assemblies.

УДК 621.039.534

Methods and Control Facilities the Resource of the Capital Equipment on the Nuclear Power Plant \A.V. Nekrasov, K.N. Proskurjakov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 10 pages, 2 tables, 7 illustrations. – References, 12 titles.

Algorithms and software product for calculation of eigen frequencies of coolant pressure oscillations in the equipment of the first contour of the nuclear power plant with BB3P-1000, good quality factor of a contour of the coolant, a pass band of frequencies of fluctuations and factors of attenuations are developed. Results of calculations are resulted at presence and at absence in the coolant of products radiolysis in a gaseous status. The analysis of results allows to reveal the conditions resulting in raised vibrations, and also to develop managers of influences in ordinary system of management information system of the block for their prevention.

УДК 621.18.021

Designing of Electronic Passport for Forecast of Condition of the Pipe-Heater Steam Generator \V.K. Semenov, D.S. Rumyantsev; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 5 pages, 3 illustrations. – References, 3 titles.

We designed a system of organizational and technical steps, which carry out in exploration time of heat-and power engineering equipment of NPP (nuclear power plant) with PWR (power water reactor). This system was designed for the new equipment and can be apply only when the all devices have identical starting condition. If starting conditions are difference, then said approach is not correct. Therefore we are creating methodology, which permit to made prognosis of tubing steam generator longevity and work out a guidelines, which will be helped to raise a safety of steam generator and prolong its resource.

We designed a semi empirical mathematical model and computer program which permit to make forecast of chemical washing terms in steam generator.

УДК 502/504:57.08

Ecological bases of Application the Allium-Test in Ecological Monitoring \S.Y. Sinovets, S.V. Pyatkova, G.V. Kozmin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika»