

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННОГО ПАСПОРТА ПРОГНОЗА СОСТОЯНИЯ ТРУБЧАТКИ АЭС С ВВЭР

СЕМЕНОВ В.К., д-р техн. наук, РУМЯНЦЕВ Д.С., ЗАБЕЛИН Н.А., студенты

Предлагается полуэмпирическая математическая модель и компьютерная программа, позволяющие прогнозировать сроки химических промывок и количество заглушенных трубок парогенераторов АЭС с ВВЭР.

Ключевые слова: система обслуживания и ремонта оборудования, химические промывки, компьютерная программа, математическая модель.

DEVELOPMENT OF THE ELECTRONIC DESCRIPTOR TO PREDICT TUBE STILL CONDITION AT NUCLEAR POWER STATION WITH VVER

V.K. SEMIONOV, Doctor of Engineering, D.S. RUMYANTSEV, N.A. ZABELIN, Students

The author presents a semi-empirical mathematical model and computer program, which allow predicting periods of chemical rinses and blank-off pipes quantity of steam generators at nuclear power stations with VVER.

Key words: equipment maintenance and repair system, chemical rinses, computer program, mathematical model.

Опыт эксплуатации АЭС с реакторами ВВЭР показывает, что большинство случаев простоя станций связано с выходом из строя теплоэнергетического оборудования, преимущественно парогенераторов. Надежность оборудования обеспечиваются жестким соблюдением технологического режима, техническим обслуживанием и ремонтом оборудования. 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 совершенно неоправданному расходу материальных ресурсов. На повестке дня стоит внедрение более совершенной системы обслуживания и ремонта оборудования в зависимости от его технического состояния. Особенно остро эта проблема стоит для парогенераторов (ПГ), коррозионная повреждаемость которых определяется водно-химическим режимом и представляет большую проблему для АЭС. В последние годы стали массовым явлением аварии и отказы, обусловленные растрескиванием коллекторов и разгерметизацией теплообменных трубок (ТОТ). Образование трещин в стенках трубчатки приводит к радиоактивному загрязнению турбоустановки. Повреждение ТОТ требует срочного ремонта с заглушкой трубок либо замены ПГ. Когда число заглушенных трубок составит $\approx 15\%$, мощность блока должна быть снижена, что отрицательно скажется на его экономично-

сти. Замена ПГ требует трудоемких и дорогостоящих работ со значительными дозовыми нагрузками на персонал. Продолжительность простоев при замене ПГ может составлять около 300 дней и более при стоимости замены $\approx 100\text{--}200$ млн дол. Основным процессом, ответственным за повреждение ТОТ, является электрохимическая коррозия, осложненная наличием механических напряжений и коррозионно-активных частиц, занесенных в парогенератор из конденсато-питательного тракта. Эти отложения являются ловушками для различных химически-активных частиц, инициирующих коррозионные повреждения трубок (рис. 1), что приведет к их дальнейшему глушению.

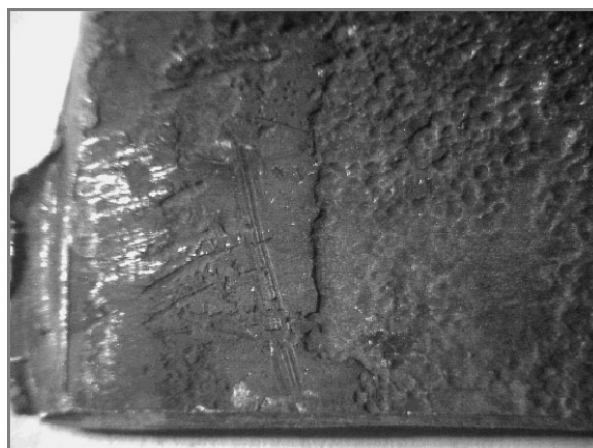


Рис. 1. Поверхность трубки с коррозионными повреждениями

Методом борьбы с указанным негативным явлением является организация химических промывок, сроки которых для парогенераторов АЭС должны прогнозироваться по достижению удельной загрязненности теплообменных трубок предельного значения, равного 150 г/м^2 . В свете сказанного, прогнозирование технического состояния

парогенераторов является одной из важнейших задач эксплуатации АЭС с ВВЭР.

Ранее нами разработаны стохастические математические модели, позволяющие прогнозировать количество коррозионных отложений и число заглушенных трубок отдельных парогенераторов. Эти модели позволяют прогнозировать не только средние значения вышеназванных величин, но и их флуктуации [1, 2]. Причем прогноз нужно вести для каждого аппарата в отдельности, отслеживая его состояние в течение всего срока эксплуатации. На основе этих моделей для построения функций прогноза получены расчетные формулы для среднего числа дефектов и дисперсии распределения

$$\langle N \rangle = 1 - (1 - \langle N_0 \rangle) \exp \left(\lambda t + \frac{\alpha t^2}{2} + \frac{\beta t^3}{3} \right); \quad (1)$$

$$\frac{\Delta}{N_p} = \frac{(1 - \langle N \rangle)^2}{(1 - \langle N_0 \rangle)^2} \left[\Delta_0 + \frac{(1 - \langle N_0 \rangle)(\langle N \rangle - \langle N_0 \rangle)}{(1 - \langle N \rangle)} \right], \quad (2)$$

где $\langle N \rangle$ – нормированное на единицу число заглушенных трубок; N_0 и N_p – начальное и предельное значение дефектов в аппарате, соответственно (под числом дефектов здесь понимается либо количество коррозионных отложений на трубчатке, либо число заглушенных трубок); α , β и λ – коэффициенты идентификации функций прогноза, подлежащие определению на основе регрессионного анализа данных обследования отдельных парогенераторов.

На базе приведенных формул на языке Object Pascal в среде Delphi разработана компьютерная программа (рис. 2). С ее помощью можно осуществить прогноз коррозионных отложений на трубчатке и прогноз вывода из ра-

боты теплообменных трубок. Рабочие окна программы представлены на рис. 3, 4. Они имеют дружелюбный интерфейс и просты в управлении.

Исходными данными в прогнозе коррозионных отложений является удельная загрязненность, отслеживаемая в процессе эксплуатации теплообменного оборудования. Для прогноза числа заглушенных трубок исходные данные получают при осмотре ПГ во время планового ремонта. В обоих случаях результаты вносятся в специальную таблицу, где автоматически сохраняются в базе данных.

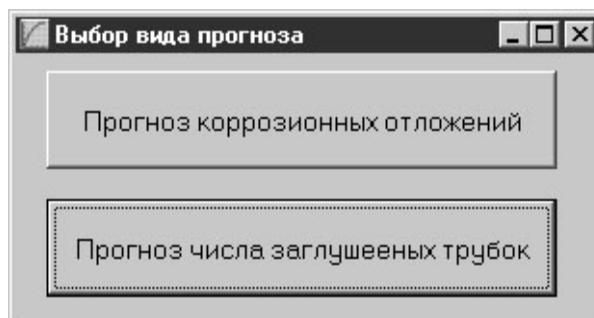


Рис. 2. Исходное окно выбора вида прогноза

Прогноз ведется для отдельного парогенератора с возможностью выбора сроков. Выходным результатом является не только значение прогнозируемой величины, но и график прогноза. Окончательно, путем нажатия кнопки «Создание отчета», можно увидеть заключение о необходимости вывода из работы ПГ в ремонт для его полной очистки от коррозионных отложений или глушения теплообменных трубок.

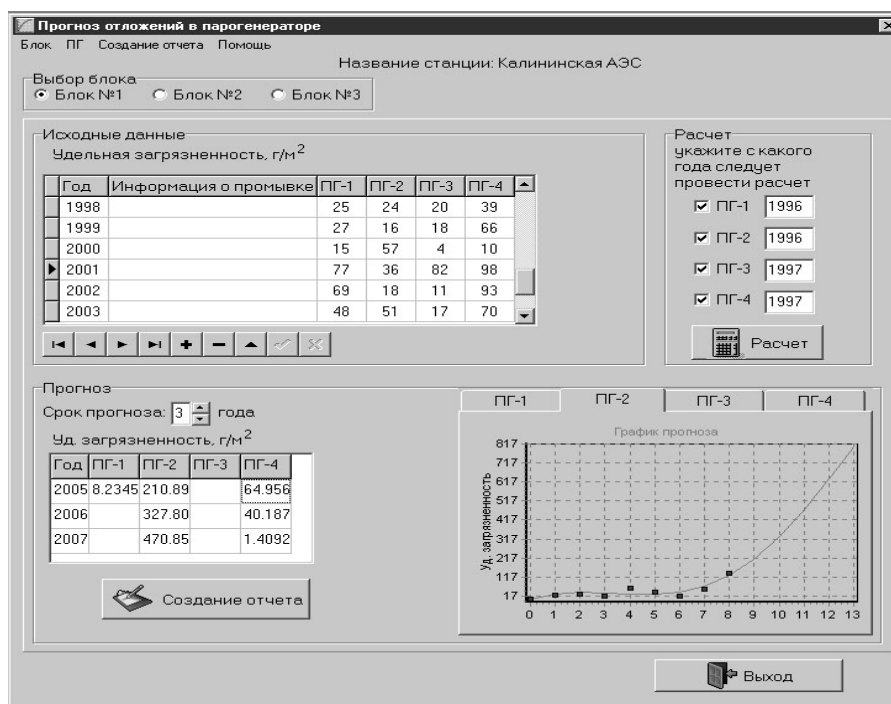


Рис. 3. Рабочее окно прогноза коррозионных отложений в парогенераторе

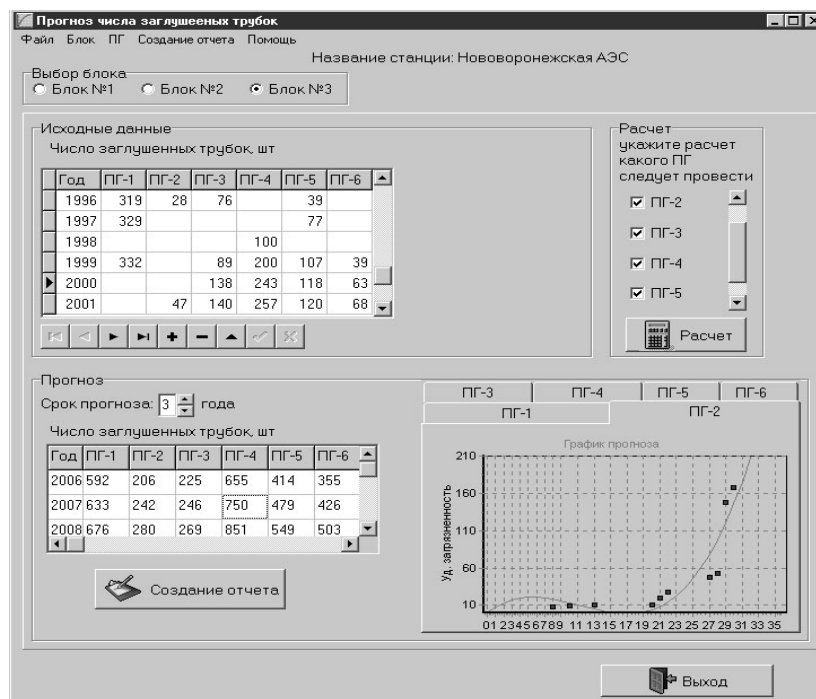


Рис. 4. Рабочее окно прогноза числа заглушенных трубок в парогенераторе

Таким образом, программа включает в себя следующие возможности:

- прогноз для отдельного ПГ;
- выбор срока прогноза;
- построение графиков прогноза;
- создание отчета с последующей его печатью;
- редактирование и добавления данных о результатах вскрытия ПГ с последующим сохранением изменений;
- добавление и удаление блоков информации о состоянии ПГ;
- возможность прогноза состояния трубки других теплообменников на АЭС;
- учет начального состояния теплообменного оборудования;
- вызов справки в случае возникновения затруднений при использовании программы.

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.

Список литературы

1. Дерий В.П., Семенов В.К., Щербнев В.С. К вопросу прогнозирования надежности и ресурса трубки АЭС с ВВЭР // Изв. вузов. Ядерная энергетика. – 2007. – № 2. – С. 58–63.
2. Семенов В.К., Щербнев В.С., Дерий В.П., Степанов В.Ф. К теории флуктуаций отложения продуктов коррозии на теплообменных поверхностях парогенераторов АЭС с ВВЭР // Вестник ИГЭУ. – 2004. – № 5. – С. 13–16.
3. Хомоненко А.Д. Delhi 7. – СПб.: БВХ-Петербург, 2004.

Семенов Владимир Константинович,
 ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
 доктор технических наук, профессор кафедры атомных электростанций,
 телефон (4932) 26-99-15,
 prp@aes.ispu.ru

Румянцев Дмитрий Сергеевич,
 ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
 студент,
 prp@aes.ispu.ru

Забелин Николай Александрович,
 ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
 студент,
 prp@aes.ispu.ru