

МЕТОД ОЦЕНКИ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ КОНТРОЛИРУЕМОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ЗАДАЧЕ ОПЕРАТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ РЕМОНТНО-ПРОФИЛАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

Л.С. Казаринов, Д.А. Шнайдер, А.Р. Хасанов

В настоящее время в теплоэнергетике многих промышленных предприятий сложились условия эксплуатации оборудования, при которых

- значительная часть тепломеханического оборудования выработала свой нормативный ресурс;
- массовая замена изношенного оборудования в ближайшие годы из-за экономической ситуации маловероятна;
- оборудование работает при максимальных нагрузках, что обуславливает его повышенный износ;
- сокращаются объемы плановых ремонтов оборудования и увеличиваются межремонтные периоды;
- практически все стареющее оборудование эксплуатируется на своей заключительной стадии - стадии предразрушения.

Таким образом, характерной особенностью эксплуатации энергетического оборудования является то, что по многим позициям оборудования сроки эксплуатации значительно превышают парковый ресурс. Для такого оборудования обычные подходы к оценке ресурса и планированию ремонтных работ являются неэффективными и требуют существенной доработки. В этой ситуации вопросы продления ресурса установленного оборудования и обеспечения его надежной эксплуатации имеют первостепенное значение.

Существует несколько стадий продления срока службы энергетического оборудования [1,2]:

- парковый ресурс;
- индивидуальный ресурс;
- эксплуатация сверх индивидуального ресурса.

Согласно существующей отраслевой системе технической диагностики, используемой на электростанциях, известно, что контроль металла осуществляется, в основном в периоды капитальных ремонтов, т.е. через 4-5 лет. Такая периодичность контроля стареющего оборудования не отвечает современным требованиям, которые должны предъявляться к энергооборудованию, вырабатывающему физический ресурс. К такому виду энергооборудования необходим индивидуальный подход, базирующийся на систематической информации о степени износа конструкций, которую можно получить только за счет использования оперативных и дистанционных диагностических систем и новой методической базы, касающейся оценочных характеристик металла, по которым можно

судить о происходящих в процессе эксплуатации изменениях в металле.

Центральными проблемами обеспечения надежности стареющего оборудования ТЭС являются проблема прогнозирования индивидуального ресурса энергетического оборудования и проблема гибкого планирования ремонтных работ. Решение этих проблем открывает дополнительные пути для получения экономического эффекта, позволяет предупреждать возможные отказы и непредвиденные достижения предельных состояний, более правильно планировать режимы эксплуатации, профилактические мероприятия и снабжение запасными частями. Более того, переход к индивидуальному прогнозированию ведет к увеличению среднего ресурса оборудования, поскольку уменьшает долю агрегатов, преждевременно снимаемых для ремонта, и открывает путь для обоснованного выбора оптимального срока эксплуатации. В ряде случаев рентабельная эксплуатация может быть продолжена в условиях сниженных нагрузок. Поэтому можно рассматривать прогнозирование индивидуального остаточного ресурса как своего рода систему управления процессом эксплуатации и технического обслуживания.

Методика оценки состояния элементов и порядок продления их ресурса после длительной эксплуатации, используемые в России, имеют много общего с принятыми в других странах (Германии, Великобритании, Голландии, Ирландии и др.) [1,3]. Накопленный ими опыт показывает, что при наработке, превышающей проектную более чем в 2 раза, должны быть выполнены специальные ресурсные исследования, измерения и расчеты. По результатам этих исследований устанавливается *индивидуальный ресурс* элемента энергооборудования, т.е. максимальное приближение к предельному состоянию оборудования при сохранении требований к его надежной эксплуатации.

Исходя из сказанного, следует, что актуальной проблемой продления индивидуального ресурса энергетического оборудования является реализация достоверной оценки текущего состояния оборудования в процессе эксплуатации. Решение данной проблемы затрудняется по следующим причинам:

- текущий контроль состояния оборудования может быть осуществлен лишь по ограниченному множеству показателей, в то время как принятие решения по продлению ресурса требует текущей оценки по всему множеству представительных показателей;

• необходимость рассмотрения как локальных частных показателей ресурса, так и обобщенных агрегированных показателей ресурса, на основе которых можно было бы принимать достоверные решения по планированию ремонтных работ.

Несмотря на то, что при проведении оценок текущего состояния оборудования, отсутствует представительная оценка всех необходимых показателей, на практике, как правило, возникают задачи принятия решения о текущем планировании ремонтных работ, которые связаны с переносом их сроков проведения. Перенос сроков ремонтных работ, как правило, связан с дефицитом ресурсов, необходимых для проведения ремонтов.

Из всего вышесказанного можно сделать вывод о том, что наиболее важной задачей при оперативном планировании ремонтных работ с целью минимизации риска возникновения аварийных ситуаций является задача достоверного прогнозирования частных и агрегированных показателей контролируемого агрегата. Для решения поставленной задачи сотрудниками НТЦ «Инженерные сети и системы» УНИ ЮУрГУ была разработана программа для ЭВМ «Автоматизированная информационная система "Ресурс"», в которой реализован метод прогнозирования *обобщенного индивидуального ресурса* ($r_O(t)$) оборудования с определением вероятностей достоверности прогнозных значений.

$$r_O(t) = r_B^{\alpha_1}(t) r_M^{\alpha_2}(t) r_T^{\alpha_3}(t); \quad (1)$$
$$r_O(t) \in [0,1], \quad \alpha_i \geq 0, \quad \sum_i \alpha_i = 1, \quad i = \overline{1,3},$$

где $r_B(t)$ - текущий механический ресурс оборудования, оцениваемый на основе анализа текущих показателей работоспособности; $r_M(t)$ - назначенный индивидуальный ресурс контролируемого агрегата, определяемый на основе данных, предоставляемых специализированной организацией, осуществляющей ремонт энергооборудования; $r_T(t)$ - текущее значение коэффициента готовности рассматриваемого оборудования; $\alpha_i (i = \overline{1,3})$ - веса частных составляющих $r_B(t)$, $r_M(t)$ и $r_T(t)$ соответственно обобщенного индивидуального ресурса агрегата.

Обратим внимание, что если по какому-либо частному показателю возникла аварийная ситуация ($r_i(t) = 0$), то обобщенный ресурс также покажет аварийную ситуацию ($r_O(t) = 0$). Таким образом обобщенный ресурс (1) отражает все аварийные ситуации для сложного агрегата.

Следует отметить, что использование обобщенного ресурса в виде (1) способствует решению задачи распознавания предаварийных ситуаций на контролируемом оборудовании.

Приведем алгоритм решения задачи распознавания предаварийных ситуаций на контролируемом агрегате.

Для того чтобы грамотно спрогнозировать состояние контролируемого агрегата на определенный отрезок времени необходимо знать динамику изменения некоторого представительного показателя, характеризующего текущее состояние объекта контроля в целом. Таким показателем в данной работе, как уже отмечалось ранее, является обобщенный ресурс агрегата, который определяется на основе базовой зависимости от частных параметрических ресурсов:

$$r_O(t) = \prod_{i=1}^n r_i^{a_i}(t). \quad (2)$$

Как видно из определения базовой зависимости основополагающую роль в расчете обобщенного ресурса контролируемого агрегата играют удельные веса частных ресурсов (a_i). Так при одних и тех же значениях частных ресурсов ($r_i(t)$) могут получаться различные значения обобщенного показателя $r_O(t)$. Такая неоднозначность расчетов для реальных производственных агрегатов просто недопустима! Поэтому, веса частных составляющих в составе обобщенного ресурса могут определяться как на основе экспертной оценки, так и на основе минимизации ошибки решения уравнения (2) одним из известных способов. Например, можно использовать метод градиентного спуска. Одним из наиболее простых способов определения указанных весов является расчет среднего значения «провала» каждого из частных ресурсов контролируемых показателей. Под «провалом» k -го частного ресурса понимается разница между значением этого ресурса в начальный момент времени после очередного k -го текущего/среднего (далее текущего) ремонта и его же значением в $(k+1)$ -м предаварийном состоянии агрегата. Следовательно, «провал» ресурса - это ухудшение его значения в процессе эксплуатации между k -м и $(k+1)$ -м текущим ремонтом.

Подобное определение весовых коэффициентов способствует выделению тех частных ресурсов, которые в большей степени характеризуют изменение текущего состояния контролируемого агрегата. При этом частным ресурсам, подверженным большим по величине и частоте «провалам», ставятся в соответствие большие веса в составе обобщенного индивидуального ресурса.

После расчета весовых коэффициентов частных ресурсов мы однозначно можем определить обобщенный индивидуальный ресурс контролируемого агрегата.

Итоговым результатом определения текущего обобщенного ресурса контролируемого объекта на k -й момент времени становятся два показателя. Первый - это оценка критического ресурса агрегата, которая является, типовым подходом к оценке

обобщенного ресурса агрегата в настоящее время (выявление «узких» мест). При этом всегда можно выявить тот частный показатель работоспособности, по которому происходит данная оценка - «узкое» место. Оценка критического ресурса на текущий момент времени выполняется по формуле:

$$r_{\min}^*(t_k) = \min_i \{r_i(t_k)\}. \quad (3)$$

Второй - это значение обобщенного ресурса (2), вычисленного с учетом накопленной к моменту расчета статистики.

Итак, имея однозначные значения обобщенного ресурса, можно оценить динамику изменения данного показателя во времени. На основе построения его трендовых характеристик, можно спрогнозировать значения данного показателя на определенный интервал времени, т.е. спрогнозировать состояние контролируемого объекта. Это, в свою очередь, даст возможность эффективно распознавать предаварийные ситуации на агрегате.

Для решения задачи прогноза обобщенного ресурса на заданный промежуток времени в программе АИС «Ресурс» проводится аппроксимация значений обобщенного ресурса только после последнего текущего ремонта. Задается точка начала аппроксимации в указанном диапазоне рассматриваемых значений β . После этого, проводится аппроксимация значений обобщенного ресурса на выбранном интервале и экстраполяция его значений на прогнозный интервал времени. Общий вид полинома кривой аппроксимации:

$$y(t) = \sum_{i=0}^m c_i t^i, \quad (4)$$

где m - порядок аппроксимации. Причем, порядок кривой аппроксимации рекомендуется выбирать не высоким (2-й, 3-й), во избежание неадекватных изгибов кривой аппроксимации на прогнозном интервале времени. Исходя из свойства любого из рассматриваемых ресурсов - самопроизвольной невосстанавливаемости (т.е. ресурс не может улучшиться без каких-либо внешних воздействий), можно сделать вывод о том, что ни один из рассматриваемых ресурсов не будет возрастать на рассматриваемом и прогнозном интервале времени. А так как назначенный индивидуальный ресурс, характеризующий состояние металлоконструкций агрегата, постоянно и неизбежно убывает, следовательно, обобщенный ресурс может лишь убывать с течением времени, т.е. после k -го текущего ремонта значение обобщенного ресурса никогда не будет равно его значению после $(k-1)$ -го ремонта, где $i = \overline{1, k-1}$. Из вышесказанного следует, что для прогнозирования динамики деградации (скорости ухудшения) обобщенного ресурса будет достаточно линейной зависимости (касательная к экстраполированной кривой в точке). Причем, в программе АИС «Ресурс» предусмотрена возможность варьирования точки построения линейной

зависимости τ для выбора наиболее адекватных прогнозных значений обобщенного ресурса (рис. 1).

Здесь o - линия изменения обобщенного ресурса агрегата; b - линия аппроксимации последней ветки обобщенного ресурса (после последнего текущего ремонта); t_{P1}, t_{P2} - время начала 1-х, 2-х ремонтно-профилактических работ относительно точки отсчета - последнего капитального ремонта агрегата; β - точка начала аппроксимации; τ - точка построения касательной к линии b ; $t_{\text{прогноз}}$ - прогнозный интервал времени.

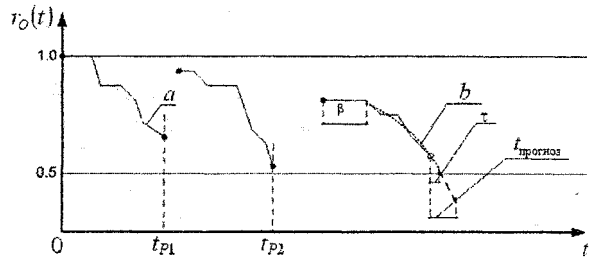


Рис. 1. Выбор значений обобщенного ресурса

Для того чтобы можно было судить о степени достоверности полученного прогноза, вводится сетка вероятностей наступления предаварийного состояния на контролируемом агрегате (рис. 2), основанная на вычислении плотности гамма-распределения для продолжительности работоспособных периодов и амплитуде соответствующих «провалов».

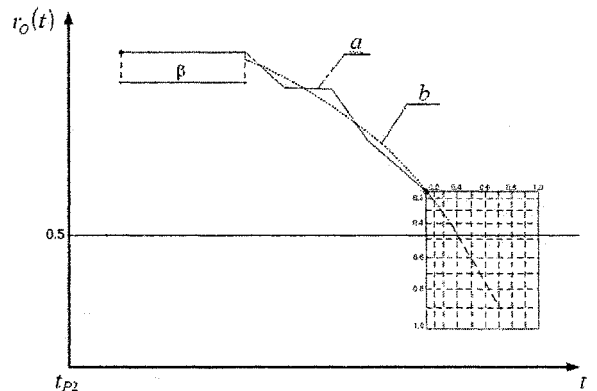


Рис. 2. Сетка вероятностей наступления предаварийного состояния

Общий вид формулы вычисления плотности гамма-распределения:

$$p = \frac{1}{b^a \Gamma(a)} \int_0^x t^{a-1} e^{-\frac{t}{b}} dt, \quad (5)$$

где $a = v^2/D$; $b = D/v$; v - математическое ожидание величины x ; D - дисперсия величины x .

Наличие гибкого механизма получения адекватных действительности прогнозных значений обобщенного ресурса и представление этих значений в виде рис. 2, делает программу АИС «Ресурс» хорошим средством поддержки в процессе опера-

тивного планирования ремонтных работ на контролируемом агрегате.

Следует отметить, что при работе с целым парком однотипного оборудования в программе АИС «Ресурс» предусмотрен механизм расстановки ремонтных приоритетов p_k ($k = \overline{1, n}$), определяемых на основе выработки обобщенного индивидуального ресурса R^* каждого из контролируемых агрегатов:

$$R^* = [1 - r_{Ok}(t)] \cdot 100\%, \quad k = \overline{1, n}, \quad (6)$$

где $r_{Ok}(t)$ - текущий обобщенный индивидуальны ресурс k -го оборудования; n - количество контролируемого оборудования.

Для численного представления об очередности планируемых ремонтно-профилактических работ необходимо произвести ранжирование рассматриваемых агрегатов по убыванию R^* . В результате каждому оборудованию присваивается соответствующий порядковый номер, который является его ремонтным приоритетом P_k на момент принятия решения.

Выводы

В заключении хотелось бы отметить, что программа АИС «Ресурс» является удобным средством контроля текущего состояния объекта и хорошим средством поддержки в задаче оперативного планирования ремонтно-профилактических работ.

Предложенный алгоритм распознания предаварийных ситуаций контролируемого оборудования на основе агрегированной оценки его текущего состояния позволяет решать задачи оперативно-го распознания предаварийных ситуаций и на этой основе своевременно принимать меры по недопу-

щению аварий. В работе предложен метод гибкого прогнозирования обобщенного ресурса контролируемого агрегата с оценкой достоверности прогнозных значений.

Литература

1. Резинских В.Ф., Гладштейн В.И. Ресурс и надежность металла паровых турбин тепловых электростанций// Теплоэнергетика. - 2004. - №4.
2. Резинских В.Ф., Гринь Е.А., Зленко В.Ф. Концепция продления ресурса металла оборудования ТЭС// Международная конференция «Эффективное оборудование и новые технологии - в российскую энергетику». - М.: ВТИ, 2001.
3. Generic Guidelines for the Life Extension of Fossil Fuel Power Plants. EPRI CS-4778. Project 2596-1, Final Report November. - Palo-Alto. California, 1986.
4. Черноруцкий К.Г. Методы оптимизации в теории управления. - ПИТЕР, 2004. - 256 с.
5. Дьяков А.Ф. и др. Новые подходы к оценке ресурса стареющего энергооборудования электростанций и модульные принципы создания диагностической аппаратуры// Электрические станции. - 2004. - № 4.
6. Канцдалов В.Г., Берляевский Г.П., Зленко В.Ф. и др. Новые аспекты в теории и практике надежности энергооборудования ТЭС, вырабатывающего физический ресурс// Электрические станции. - 2000. - № 3.
7. Дьяков А.Ф., Канцдалов В.Г., Берляевский Г.П. Техническая диагностика, мониторинг и прогнозирование остаточного ресурса паропроводов электростанций / Под ред. А.Ф. Дьякова. - М.: Издательство МЭИ, 1998. - 176 с.