

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ (АИС «РЕСУРС»)

А.Р. Хасанов, Д.А. Шнайдер, А.В. Николаенко

MONITORING AUTOMATED INFORMATION SYSTEM OF POWER EQUIPMENT REMAINING LIFE (AIS «RESOURCE»)

A.R. Khasanov, D.A. Shnaider, A.V. Nikolaenko

В статье рассматривается автоматизированная информационная система «Ресурс», реализующая оригинальную методику оценки обобщенного остаточного ресурса энергетического оборудования в реальном времени и алгоритм оперативного контроля металла в целях рационального планирования ремонтно-профилактических работ по фактическому состоянию оборудования.

Ключевые слова: обобщенный ресурс, остаточный ресурс, АСУТП, оперативный контроль, планирование ремонтов.

The article considers the automated information system «Resource» which implements the know-how of estimation of generalized power equipment remaining life on a real time basis and the algorithms of on-line control of metal in order to plan the maintenance and repair works rationally according to the real equipment condition.

Keywords: generalized resource, remaining life, industrial control, online control, maintenance and repair works.

В настоящее время на многих электрических станциях промышленных предприятий сложились условия, при которых по многим позициям оборудования сроки эксплуатации значительно превышают парковый ресурс. Для такого оборудования существующие подходы к оценке ресурса и планированию ремонтных работ являются неэффективными и требуют существенной доработки.

Так, согласно существующей отраслевой системе технической диагностики и планово-предупредительных ремонтов контроль металла энергоагрегатов осуществляется в периоды капитальных ремонтов, проводимых в соответствии с нормативами через 4-5 лет. Однако для энергооборудования, выработавшего свой парковый ресурс, существующий плановый подход является малоэффективным. В данном случае целесообразным является проведение ремонтов по фактическому состоянию оборудования, определяемому на

основании контроля диагностических показателей эксплуатации и металлоконструкций.

Методы, объем и периодичность контроля при диагностике состояния металла выбираются таким образом, чтобы обеспечить высокую надежность эксплуатации всех узлов энергооборудования. Накопленный опыт оценки состояния элементов энергооборудования и порядок продления их ресурса после длительной эксплуатации показывает [1-5], 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 надежности.

Из сказанного следует, что центральными проблемами обеспечения надежности и живучести ста-

Хасанов Алексей Романович - к.т.н., ассистент кафедры автоматике и управления ЮУрГУ; hasanov@ait.susu.ac.ru.

Шнайдер Дмитрий Александрович - к.т.н., доцент кафедры автоматике и управления ЮУрГУ; shnaider@ait.susu.ac.ru.

Николаенко Алексей Васильевич - аспирант кафедры автоматике и управления ЮУрГУ; nikolaenko@chel.iceu.ru.

Khasanov Alexey Romanovich - PhD, associate of automation and control department of SUSU; hasanov@ait.susu.ac.ru.

Shnaider Dmitry Alexandrovich - PhD, associate professor of automation and control department of SUSU; shnaider@ait.susu.ac.ru.

Nikolaenko Alexey Vasilievich - post-graduate student of automation and control department of SUSU; nikolaenko@chel.iceu.ru.

реющего оборудования являются проблема прогнозирования индивидуального ресурса 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.

1. Методика оценки обобщенного остаточного ресурса энергетического оборудования

Решение проблемы оценки индивидуального ресурса на практике затрудняется по следующим причинам:

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

- необходимо рассматривать не только локальные частные показатели ресурса, но и формировать обобщенные агрегированные показатели, отражающие состояние агрегата в целом, на основе которых можно было бы принимать достоверные решения по планированию ремонтных работ.

Таким образом, для реализации индивидуального подхода к планированию ремонтных работ необходимо не только наличие диагностических систем контроля состояния энергооборудования, но и соответствующей алгоритмической и методической базы оценки и прогнозирования остаточного ресурса энергоагрегата по его текущему состоянию, основанных на систематизации информации о диагностических показателях эксплуатации и степени износа металлоконструкций.

Из вышесказанного можно сделать вывод, что идентификация показателей процесса изменения ресурса оборудования при эксплуатации должна осуществляться на основе информации из различных источников таких, как результаты обследований во время ремонтных работ, результаты текущего контроля с использованием различных методов, статистики аварий, экспертные оценки.

Для сложных агрегатов число таких показателей может составлять десятки и более. Соответственно, по каждому из параметров оценивается свой

частный ресурс. Таким образом, контролируемый агрегат, являющийся объектом наблюдения, характеризуется множеством частных ресурсов:

$$\{R_i(t) : i \in I_R\}, \quad (1)$$

где $R_i(t)$ - частный ресурс агрегата по i -му показателю работоспособности; I_R - индексное множество частных ресурсов.

На сегодняшний день существует множество методов контроля и диагностики технического состояния оборудования, которые, в основном, направлены на выявление наиболее проблемных узлов контролируемого агрегата. Данный подход к оценке ресурса агрегата предполагает выявление таких показателей работоспособности, по которым частный ресурс контролируемого агрегата является минимальным. Аналитически данный подход можно записать в следующем виде:

$$R_{\min}(t) = \min_{(i \in I_R)} \{R_i(t)\}, \quad (2)$$

где $R_{\min}(t)$ - оценка критического ресурса агрегата.

Такой подход для отдельных агрегатов, безусловно, является оправданным, так как позволяет одновременно решать задачу диагностики состояния оборудования и предупреждать возникновение аварий на основе целенаправленных профилактических ремонтов. Поэтому детализованный контроль частных показателей является обязательным для всех методик прогнозирования предаварийных ситуаций.

Однако данный подход обладает недостатками. Во-первых, объем контролируемых показателей работоспособности всегда является ограниченным. Неконтролируемые параметры могут обусловить непрогнозируемую аварийную ситуацию. Поэтому оценка критического ресурса (2) контролируемого агрегата является неполной и должна рассматриваться в качестве одной из возможных, хотя и достаточно представительных оценок, но требующей дальнейшего уточнения. Во-вторых, на практике, как правило, не представляется возможным одновременно производить диагностику всего парка контролируемого оборудования традиционными методами.

Более того, некоторые методы диагностики требуют вывода оборудования из эксплуатации. В связи с этим, особо важное значение имеет решение задачи мониторинга общего технического состояния оборудования в реальном времени, с целью выявления отдельных агрегатов, требующих проведение более детальных обследований известными методами. Здесь знание обобщенного технического состояния оборудования позволяет оценить надежность всего технологического комплекса в целом и правильно распределить ресурсы на проведение ремонтно-профилактических работ по видам оборудования.

Для устранения указанных выше недостатков является целесообразным применение методики оценки и прогнозирования обобщенного остаточного ресурса энергооборудования, приведенной далее.

Методика предусматривает ввод дополнительной оценки обобщенного ресурса агрегата на основе его частных ресурсов, представляющих собой нормированные оценки состояния оборудования по отдельным взятым показателям работоспособности, например: коэффициент готовности агрегата (показатель, учитывающий статистику аварий); назначенный ресурс по металлу (показатель, учитывающий старение металлоконструкций); показатели вибрационной обстановки оборудования и др.

Эксплуатация любого энергооборудования характеризуется глубинными процессами, связанными со снижением его ресурса, в частности, параметрических ресурсов, которые отражают запас изменения параметров объекта контроля до критической границы:

$$r_i(t) = \left(\Pi_{\text{доп}}^{\text{ав}} - \Pi_i(t) \right) / \left(\Pi_{\text{доп}}^{\text{ав}} - \Pi_{\text{ном}} \right), \quad (3)$$

где Π_i – текущее значение i -го параметрического показателя работоспособности; $\Pi_{\text{доп}}^{\text{ав}}$ – предельное (аварийное) значение Π_i , $\Pi_{\text{ном}}$ – номинальное (рабочее) значение Π_i ; r_i – частный параметрический ресурс контролируемого агрегата по Π_i .

Общее состояние объекта контроля характеризуется также режимными факторами, учитываемыми условия и режимы эксплуатации технического объекта, превышение установленных значений которых ухудшает состояние объекта. Действие режимных факторов носит, как правило, интегральный характер, поэтому нормируются их интегральные величины:

$$\rho_j(t) = 1 - b \int_{t_k}^t \varphi_j(\tau) d\tau; \quad (4)$$

$$\varphi_j = \begin{cases} |P_{\text{доп}}^{\pm} - P_j|, & P_j \notin [P_{\text{доп}}^-, P_{\text{доп}}^+]; \\ 0, & P_j \in [P_{\text{доп}}^-, P_{\text{доп}}^+], \end{cases}$$

где P_j – j -й режимный показатель работоспособности; ρ_j – частный режимный ресурс контролируемого агрегата по показателю P_j ; φ_j – функция отклонения P_j от диапазона допустимых значений $[P_{\text{доп}}^-, P_{\text{доп}}^+]$; b – нормирующий коэффициент; $[t_k, t]$ – интервал времени с момента окончания k -го рассматриваемого ремонта до текущего момента времени.

Таким образом, рассмотренные параметрические (3) и режимные (4) ресурсы оборудования составляют множество частных ресурсов (1), характеризующих внутреннее состояние агрегата.

Однако наряду с задачей оценки внутреннего технического состояния агрегата существует задача внешней оценки его технического состояния, необходимой для рассмотрения надежности всего технологического комплекса в целом, элементом

которого является данный агрегат. Типовым подходом обобщенной внешней оценки агрегата является оценка параметра потока неисправностей λ_H и связанной с ним оценкой времени между событиями этого потока τ_H . В общем случае параметры λ_H и τ_H являются случайными величинами, имеющими нестационарный характер (рис. 1).

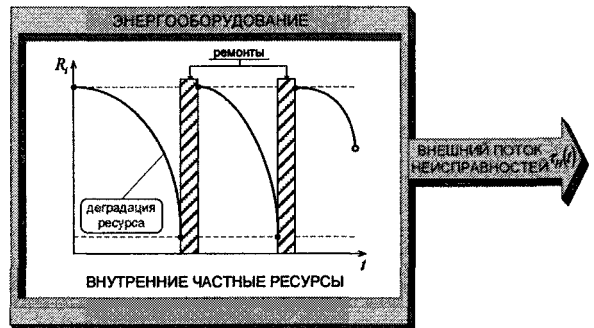


Рис. 1. Графическое представление ресурса энергооборудования:

Принимается, что $\{R_i\}$ – это множество частных ресурсов; $\tau_H(t)$ – время между событиями внешнего потока текущих неисправностей

Далее, можно сформулировать следующие две основные задачи:

- оперативное распознавание предаварийной ситуации;
- оценка текущего остаточного ресурса стареющего оборудования.

Рассмотрим постановку задачи оперативного распознавания предаварийной ситуации на контролируемом оборудовании.

Необходимо найти решающую функцию:

$$R_O(\{R_i\}, t) \leq R_d : \mu(t), \quad (5)$$

где R_O – обобщенный параметрический ресурс оборудования; R_d – значение предаварийной границы для обобщенного параметрического ресурса; $\mu(t)$ – индикаторная функция.

Решающая функция (5) описывает два основных состояния контролируемого оборудования:

- неравенство (5) выполнено – прогнозируется аварийная ситуация на ближайшем интервале времени Δt_p ;
- неравенство (5) не выполнено – аварийная ситуация не прогнозируется.

Возможны следующие ошибки решения неравенства (5):

- решающей функцией прогнозируется нормальная работа оборудования, а в действительности произошел отказ – ситуация пропуска аварийной ситуации $\mu_{\text{ГР}}(t) = 1$;
- решающей функцией прогнозируется аварийная ситуация на оборудовании, а в действительности

тельности отказа не было – ситуация возникновения ложной тревоги $\mu_{ЛТ}(t) = 1$.

Запишем относительные частоты возникновения указанных ошибок решения:

$$P_{ПР}(t) = \frac{1}{N} \sum_{s=1}^N \mu_{ПР,s}(t); \quad (6)$$

$$P_{ЛТ}(t) = \frac{1}{N} \sum_{s=1}^N \mu_{ЛТ,s}(t), \quad (7)$$

где N – общее число рассматриваемых отказов.

Обобщенный параметрический ресурс оборудования рассчитывается по формуле [4]:

$$R_O(t) = \prod_{i=1}^n R_i^{\alpha_i}(t); \quad (8)$$

$$\alpha_i \geq 0, \sum_i \alpha_i = 1, i = \overline{1, n}, \quad (9)$$

где α_i – удельные весовые коэффициенты частных параметрических ресурсов в составе обобщенного; n – общее число рассматриваемых частных ресурсов.

Из формулы обобщенного ресурса (8) и накладываемых ограничений (9) видно, что обобщенный ресурс отражает аварийные ситуации для сложного агрегата, так как если по какому-либо частному параметрическому показателю возникла аварийная ситуация ($R_i(t) = 0$), то $R_O(t)$ также покажет аварийную ситуацию ($R_O(t) = 0$). И наоборот, если все параметрические частные показатели находятся в области своих рабочих значений ($R_i(t) = 1, i = \overline{1, n}$), то и обобщенный ресурс покажет нормальное рабочее состояние оборудования в целом ($R_O(t) = 1$). При этом, если один из весовых коэффициентов частных ресурсов равен 1 ($\alpha_i = 1$), то обобщенный ресурс будет равен значению соответствующего частного ресурса. Следовательно, обобщенный параметрический ресурс (8) может быть использован в решении задачи оперативного распознавания предаварийных ситуаций на контролируемом оборудовании.

В итоге, ставится задача найти оптимальные значения α_i и R_i с точки зрения минимума пропусков аварийных ситуаций и возникновения ложных тревог. Формализованная постановка задачи:

$$\min_{\{\alpha_i, R_i\}} (P_{ПР} + P_{ЛТ}). \quad (10)$$

Далее рассмотрим задачу оценки текущего параметрического остаточного ресурса оборудования.

Для оценки текущего остаточного ресурса оборудования, выраженного в единицах времени, необходимо найти функциональную зависимость

$$\tau_H(t) = a_0 R_O(\{R_i\}, t), \quad (11)$$

где τ_H – оценка времени между отказами рассматриваемого потока; a_0 – масштабный коэффициент ($a_0 > 0$).

Оценка остаточного ресурса в относительных единицах (0...1 или 0...100 %) может быть рассчитана по формуле [4]:

$$R_{ОСТ}(t) = (\tau_H(t) - t) / \tau_H(t), \quad (12)$$

где $R_{ОСТ}$ – остаточный ресурс оборудования; t – текущее время с момента окончания последнего текущего ремонта.

Функциональная зависимость (11) может быть определена следующим образом:

$$\tau_H(t) = t + \Delta\tau(t) : v(t); \quad (13)$$

$$\Delta\tau(t) = a_0 \prod_{i=1}^n R_i^{\sigma_i}(t); \quad (14)$$

$$\sigma_i \geq 0, \sum_{i=1}^n \sigma_i = 1, i = \overline{1, n},$$

где $\Delta\tau$ – выработка интервала времени между отказами τ_H ; σ_i – удельные весовые коэффициенты рассматриваемых частных ресурсов оборудования в составе $\Delta\tau$; a_0 – масштабный коэффициент; $v(t)$ – индикаторная функция ошибок.

В этом случае возможны ошибки, аналогичные рассмотренным ранее, а именно:

1. $v_{ПР}(t) = 1$ – пропуск аварийной ситуации.
2. $v_{ЛТ}(t) = 1$ – возникновение ложной тревоги.

Относительные частоты возникновения указанных ошибок запишем по аналогии с формулами (6) и (7):

$$P_{ПР}(t) = \frac{1}{N} \sum_{s=1}^N v_{ПР,s}(t);$$

$$P_{ЛТ}(t) = \frac{1}{N} \sum_{s=1}^N v_{ЛТ,s}(t).$$

В итоге ставится задача найти оптимальные значения σ_i и a_0 с точки зрения минимума пропусков аварийных ситуаций и возникновения ложных тревог. Формализация поставленной задачи:

$$\min_{\{\sigma_i, a_0\}} (P_{ПР} + P_{ЛТ}). \quad (15)$$

Методы решения поставленных задач (10) и (15), с применением методов интеллектуального анализа данных, подробно описаны в [4].

2. Алгоритм оперативной оценки обобщенного остаточного ресурса энергооборудования с учетом состояния металла

Одним из ключевых и наиболее важных показателей работоспособности, определяющих срок службы энергоагрегатов, работающих в условиях высоких температур и давлений, является состояние металла. Далее рассмотрим алгоритм оперативной оценки

обобщенного остаточного ресурса энергетического оборудования с учетом состояния металла.

Одной из основных причин повреждения металла энергооборудования, эксплуатируемого при высокой температуре, является его ползучесть. Ползучесть - это пластическая деформация, которая увеличивается со временем под действием постоянного напряжения при постоянной высокой температуре [2]. Процессы ползучести металла наблюдаются также при относительно низких температурах и напряжениях, однако скорость ползучести в таких случаях может быть пренебрежимо малой. Графическая зависимость изменения деформации от времени, называемая кривой ползучести, приведена на рис. 2.

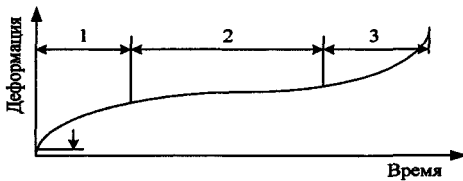


Рис. 2. Зависимость деформации от времени (кривая ползучести):
 1 – неустановившаяся ползучесть;
 2 – установившаяся ползучесть;
 3 – ускоренная ползучесть

Обычно кривая ползучести характеризуется тремя стадиями.

В стадии 1 - неустановившейся (первичной) ползучести - скорость деформации уменьшается с течением времени.

В стадии 2 - установившейся (вторичной) ползучести - скорость деформации остается практически постоянной.

В стадии 3 - ускоренной ползучести (стадии разрушения) - скорость деформации увеличивается с течением времени. Увеличение скорости ползучести на третьей стадии связано обычно с возрастанием нагрузки и физическими изменениями структуры металла. Третья стадия завершается лавинной ползучестью - разрушением.

Продолжительность каждой стадии зависит от свойств металла, температуры и напряжения. Иногда ползучесть может протекать в течение длительного времени и практически не достигать третьей стадии. Если напряжение и температура очень высоки, то вторая стадия процесса ползучести может отсутствовать (первая стадия непосредственно переходит в третью).

Для оценки времени до разрушения элементов паропроводов может быть использована обобщенная параметрическая зависимость Ларсона-Миллера [2], в которой, помимо напряжения, температуры и времени, учитываются действующие напряжения и механические свойства материалов паропроводов:

$$\lg \tau_p = -\frac{10^3}{T} \left(5,3 \left(\lg \frac{\sigma}{\sigma_b^{20}} + 0,9 \right) - LM^* \right) - 20, \quad (16)$$

где LM^* - коэффициент Ларсона-Миллера; T - температура рабочей среды, К; σ - действующее напряжение, МПа; σ_b^{20} - временное сопротивление разрыву при температуре 20 °С, МПа.

Как показали статистические данные [2], разрушение гибов из стали 12Х1МФ происходит преимущественно при коэффициенте Ларсона-Миллера $LM^* > 20$.

Таким образом, алгоритм оперативного расчета обобщенного остаточного ресурса оборудования с учетом состояния металла может быть представлен в следующем виде:

1. Составление статистической базы данных используемых в энергетическом оборудовании гибов.
2. Определение экспертами диагностируемых гибов по следующим критериям:
 - гибы, работающие в наиболее жестких условиях (высокие температура, давление);
 - гибы, обладающие наибольшим временем наработки.
3. При проведении останова энергетического оборудования измерение действующего напряжения (σ , МПа) и временного сопротивления разрыву при температуре 20 °С (σ_b^{20} , МПа).
4. Измерение и накопление значений контролируемых показателей работоспособности П,
5. Расчет значения критического ресурса (2) оборудования.
6. Вычисление расчетного времени до разрушения каждого выбранного элемента энергетического оборудования по формуле (16)
7. Выбор минимального значения расчетного времени до разрушения среди выбранных элементов $\tau_{\min} = \min(\tau_j)$.
8. Вычисление доли истощения ресурса $\bar{\tau} = \tau / \tau_p$.
9. Расчет обобщенного остаточного ресурса энергооборудования по формулам (12)–(14) и корректировка работы энергетического оборудования с учетом расчетного времени τ_{\min} .

Применение данного алгоритма позволит повысить точность и достоверность оценки остаточного ресурса агрегата за счет оперативного контроля состояния металла, режимов работы оборудования, а также статистических и фактических показателей его работоспособности.

Описанные выше методика и алгоритм оценки остаточного ресурса энергооборудования легли в основу разработанной программы для ЭВМ «Автоматизированная информационная система «Ресурс».

3. Программное обеспечение АИС «Ресурс»

Разработанная АИС «Ресурс» предназначена для мониторинга и прогнозирования остаточного

ресурса энергетического оборудования, а также для ведения информационной базы данных по энергетическому оборудованию. Структурная схема автоматизированной системы оценки остаточного ресурса энергооборудования приведена на рис. 3.

АИС «Ресурс» обеспечивает выполнение следующих функций:

- ведение информационной базы данных показателей работоспособности и ремонтной статистики оборудования;
- расчет и графическое отображение критического и остаточного ресурсов оборудования;
- прогнозирование остаточного ресурса оборудования на заданный интервал времени;
- расчет и графическое отображение вероятностных оценок возникновения аварийных ситуаций на контролируемом оборудовании;
- расчет и графическое отображение ремонтных приоритетов оборудования.

Автоматизированная информационная система «Ресурс» состоит из 7 основных модулей: информационной базы данных, ОРС-клиента, модуля расчета обобщенного, частного и критического ресурсов, программного обеспечения (ПО) операторов производственно-технических отделов (ПТО), ПО технических экспертов и ПО администрирования.

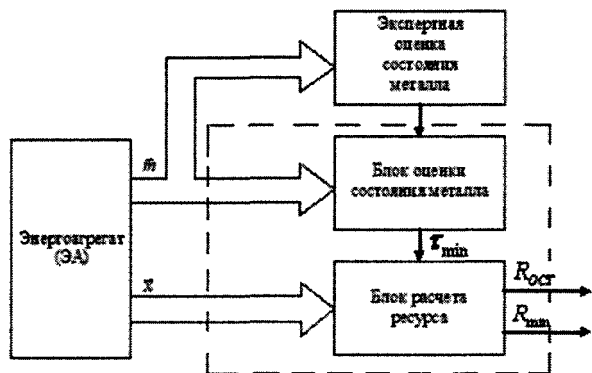


Рис. 3. Структурная схема автоматизированной системы оценки остаточного ресурса энергооборудования

В информационной базе данных хранятся сведения о структуре станций, информация об основных эксплуатационных характеристиках агрегатов, параметрах расчета обобщенного и критического ресурса. При каждом добавлении в базу данных новой записи о параметрах эксплуатационных характеристик агрегата активизируется модуль расчета обобщенного, критического и частных ресурсов. Данный модуль работает на сервере АИС «Ресурс» постоянно, в фоновом режиме ожидания добавления новой записи или изменения уже существующей записи.

Конфигурирование работы системы осуществляется посредством программного обеспечения администрирования

Посредством ПО технических экспертов обеспечивается расчет и графическое отображение критического и остаточного ресурсов оборудования, графическое отображение частных ресурсов по рассматриваемым показателям работоспособности, расчет и отображение прогнозных значений остаточного ресурса оборудования, вероятностных оценок возникновения аварийных ситуаций на контролируемом оборудовании, а также графиков ремонтных приоритетов.

При рассмотрении целого парка энергетического оборудования и, как правило, дефицитном ремонтном фонде предприятия, зачастую возникает задача оперативного планирования ремонтно-профилактических работ по фактическому состоянию оборудования. По сути дела, необходимо обоснованно установить четкую очередность вывода того или иного оборудования в ремонт. В разработанном ПО АИС «Ресурс» реализован подход к оперативному планированию ремонтно-профилактических работ, основанный на расстановке ремонтных приоритетов контролируемого оборудования. Расстановку ремонтных приоритетов производится, исходя из выработки (17) обобщенного остаточного ресурса однотипного оборудования.

$$L_k(t) = (1 - R_{ост}^k(t)) \cdot 100\%, \quad (17)$$

где L_k - выработка остаточного ресурса k -го оборудования; $R_{ост}^k$ - остаточный ресурс k -го оборудования на момент принятия решения.

Далее, необходимо произвести ранжирование полученных значений выработки в порядке убывания и присвоить каждому из агрегатов соответствующий номер. На рис. 4 приведен пример окна ПО АИС «Ресурс» расстановки ремонтных приоритетов для парка однотипного энергетического оборудования. Каждому агрегату присваивается ремонтный приоритет, который отображается на графике в верхней части столбиковой диаграммы. Единица присваивается агрегату с наибольшей выработкой остаточного ресурса.

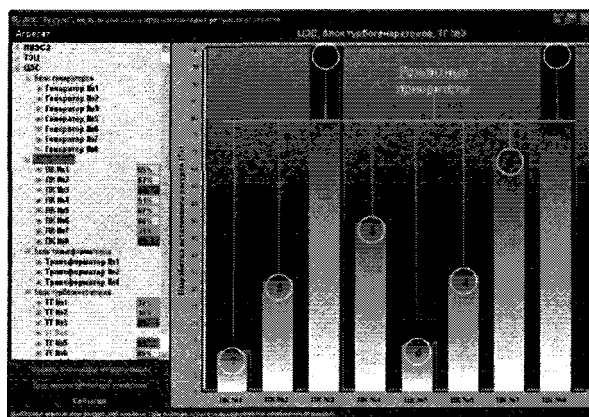


Рис. 4. Окно ремонтных приоритетов парка энергетического оборудования

Чем больше выработка остаточного ресурса агрегата, тем выше его ремонтный приоритет. Назначение ремонтных приоритетов контролируемого оборудования позволяет устанавливать четкую очередность проведения ремонтно-профилактических работ.

Выводы

1. Предложена методика оценки обобщенного остаточного ресурса энергетического оборудования в реальном времени на основе данных эксплуатации и оперативного контроля состояния металла, позволяющая автоматизировать мониторинг и прогнозирование общего технического состояния контролируемого оборудования.

2. Предложен подход к приоритетному планированию ремонтно-профилактических работ на основе текущих или прогнозных значений оценки остаточного ресурса контролируемого оборудования по обобщенным показателям, позволяющий обоснованно установить очередность проведения ремонтно-профилактических работ для парка контролируемого оборудования с целью минимизации риска возникновения аварийных ситуаций.

3. Разработана программа для ЭВМ АИС «Ресурс», предназначенная для автоматизации мониторинга и прогнозирования обобщенного остаточного ресурса энергетического оборудования по текущему состоянию в реальном времени, ведения информационной базы данных по данному

оборудованию, а также осуществляющая поддержку в решении задач оперативного планирования ремонтно-профилактических работ для парка однотипного оборудования по его фактическому состоянию.

Литература

1. Березина, Т. Г. *Диагностирование и прогнозирование долговечности металла теплоэнергетических установок* / Т. Г. Березина, Н. В. Бугай, И. И. Трунин. — Киев: Техника, 1991.

2. *Живучесть паропроводов стареющих тепловых электростанций* / Ю. Л. Израшев, Ф. А. Хромченко, А. П. Ливийский и др.; под ред. Ю. Л. Израшева и Ф. А. Хромченко. — М.: ТОРУС ПРЕСС, 2002. — 616 с.

3. Резинских, В. Ф. *Ресурс и надежность металла паровых турбин тепловых электростанций* / В. Ф. Резинских, В. И. Гладштейн // *Теплоэнергетика*. — 2004. — №4.

4. Хасанов, А. Р. *Автоматизация мониторинга и прогнозирования остаточного ресурса стареющего оборудования с использованием обобщенных показателей: автореферат дис. канд. тех. наук* / А. Р. Хасанов. — Челябинск: РЕКПОЛ, 2007. — 24 с.

5. *Generic Guidelines for The Life Extension of Fossil Fuel Power Plants: EPRI CS-4778, Project 2596-1 Final Report*. — Palo-Alto, California, 1986.

Поступила в редакцию 16 мая 2008 г.