

Анализ приведенных данных свидетельствует о том, что пеноизоляция из полиэтилена удовлетворяет требованиям, обеспечивающим ее длительную эксплуатацию (30...50 лет).

Ее объемная плотность находится на уровне 60 кг/м^3 ; прочность при сжатии и изгибе соответственно равны $0,43$ и $0,70 \text{ Н/мм}^2$; гигроскопичность – небольшая; достаточно малая величина коэффициента теплопроводности – $0,032 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$. Изоляция также характеризуется большим числом закрытых ячеек (94 %).

ЛИТЕРАТУРА

1. Бэр Х. В., Абражевич С. И. Патент № 1035 от 25.12.2003, пер. № 0000363.
2. Бэр Х. В., Абражевич С. И. Патент № 1043 от 02.06.2003, пер. № 0000371.
3. Бэр Х. В., Абражевич С. И. Патент № 1145 от 02.06.2003, пер. № 0000373.

Представлена кафедрой
промышленной теплоэнергетики
и теплотехники БНТУ

Поступила 19.01.2004

УДК 62-503.5

АНАЛИЗ СИТУАЦИЙ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ОПЕРАТИВНОМ УПРАВЛЕНИИ РАБОТОЙ ОБОРУДОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Канд. техн. наук ЯНИЦКИЙ В. А.

*Научно-исследовательское и проектное
республиканское унитарное предприятие «БЕЛТЭИ»*

В [1] изложены основные принципы построения автоматизированных систем принятия решений (АСПР) при оперативном управлении работой оборудования тепловых электрических станций. В АСПР анализ технологических ситуаций и формирование рекомендаций оперативному персоналу осуществляются в процессе совместной работы следящей программы (СП), наблюдающей за изменениями важнейших параметров, диспетчера (Д), согласовывающего режимы работы отдельных частей системы и программных модулей анализа нарушений работы (АНР) оборудования.

Структура модуля анализа конкретного нарушения работы соответствует структуре графа древовидной формы, в котором корень дерева соответствует нарушению работы, стволы, ветви, листья – возможным причинам нарушения с последовательно понижающимся уровнем обобщения.

Структура АНР существенно зависит от того, насколько точно можно определить причину нарушения на основе автоматически вводимой информации. В противном случае для получения вывода требуется информа-

ция других источников. На структуру АНР существенное влияние также оказывает необходимость учета общей ситуации: наличия прочих нарушений работы оборудования, оценки режима работы других частей технологического комплекса.

Сравнительно просто диагностируются фрагменты технологического комплекса, в которых отдельные элементы объединены в последовательные цепочки и выходные параметры предыдущего элемента, как правило, являются входными параметрами для следующего элемента. К таким фрагментам можно отнести тракт основного конденсата турбины, деаэрационно-питательный тракт котла, систему смазки турбины, гидравлическую систему регулирования турбины, систему очистки подпиточной воды энергоустановки и др.

Сложнее диагностировать объекты, в которых значения параметров, определяющих режим работы, устанавливаются в результате совместного воздействия большого числа факторов. Обычно анализ нарушений работы таких объектов вызывает значительные трудности у оперативного персонала электростанций.

Ниже описаны методы анализа нарушений работы таких объектов: ухудшение вакуума в конденсаторе паровой турбины, нарушение работы газовоздушного тракта котла. Особенности анализа этих двух видов нарушений является то, что в первом случае полный анализ ситуации может быть выполнен на основе анализа автоматически вводимой информации; во втором случае для анализа ситуации требуется привлечение дополнительной информации, получаемой человеком вручную.

Давление в паровом пространстве конденсатора устанавливается в результате совместного влияния процессов подвода теплоты с отработавшим паром турбины и отвода теплоты с охлаждающей воды, на эффективность последнего существенно влияют степень загрязнения поверхностей теплообмена и содержание воздуха в паровом пространстве конденсатора.

Имеющиеся на большинстве паратурбинных установках средства контроля, как правило, не позволяют достоверно оценить влияние перечисленных факторов в конкретный момент времени. Оперативный персонал при управлении работой конденсатора пользуется косвенными показателями, лишь приблизительно отражающими влияние этих факторов.

Высокая скорость обработки информации средствами вычислительной техники (СВТ) позволяет за счет использования сложных математических моделей процессов получить достаточно точные характеристики процессов, определяющие значения параметров рабочих тел. Для паротурбинных установок с регулируемыми отборами пара на основании показаний приборов контроля трудно достоверно определить расход пара в конденсатор.

При использовании СВТ расход пара в конденсатор определяется из уравнения материального баланса турбоустановки

$$D_k = D_0 - \sum_{i=1}^n D_i^{\text{рег}} - \sum_{j=1}^k D_j^{\text{Б}} - \sum_{l=1}^m D_l^{\text{всп}}, \quad (1)$$

где D_0 – расход острого пара в турбину, т/ч; $D_i^{\text{рег}}$ – расход пара в i -й регенеративный подогреватель конденсата (питательной воды), т/ч; $D_j^{\text{Б}}$ – расход

пара в j -й подогреватель сетевой воды, т/ч; $D_j^{\text{всп}}$ – расход пара в l -й вспомогательный механизм, т/ч.

Величины $D_j^{\text{рег}}$, $D_j^{\text{в}}$ определяют из уравнений материального баланса соответствующих подогревателей. Вспомогательные потоки $D_j^{\text{всп}}$ оцениваются различными способами. При большой величине $D_j^{\text{всп}}$ целесообразно использовать непосредственное измерение, при незначительных значениях $D_j^{\text{всп}}$ – определять в функции характеристик и режимов работы устройств, потребляющих пар.

Расход охлаждающей воды находится из уравнения теплового баланса конденсатора

$$W_k = D_k \Delta i_k \cdot 10^3 / c_w (t_{2w} - t_{1w}), \quad (2)$$

где Δi_k – количество теплоты, выделяемой при конденсации (с учетом степени влажности в конденсаторе $\Delta i_k = 2200$ кДж/кг); t_{1w} , t_{2w} – температура охлаждающей воды на входе и выходе конденсатора, °С; c_w – теплоемкость воды, кДж/(кг · °С).

По характеристике конденсатора определяется нормативный температурный напор в конденсаторе $\Delta t^{\text{н}}$ и сравнивается с фактическим $\Delta t^{\text{ф}}$. Если $\Delta t^{\text{ф}}$ значительно превышает $\Delta t^{\text{н}}$, то это свидетельствует о повышенных присосах воздуха в конденсатор или загрязнении поверхностей нагрева конденсатора. Причиной этого может быть также повышение уровня конденсата в конденсаторе, и диагностируется она по показаниям прибора, установленного на щите управления.

Из-за отсутствия типового эффективного способа автоматического измерения присосов воздуха в конденсатор на многих турбоустановках используется периодический ручной замер присосов. При автоматической обработке информации с помощью СВТ целесообразно использовать способ определения присосов воздуха в конденсатор, предложенный в [2].

Если присосы воздуха в конденсатор существенно превышают допустимые, то анализируются допустимость давления эжектирующей среды перед эжекторами и количество работающих эжекторов (ступеней эжекторов). Проверяются допустимость давления пара, подаваемого на уплотнения турбины, изменение положения запорно-регулирующей арматуры в части турбоустановки, находящейся под разрежением. При отсутствии автоматического ввода информации о положении арматуры рекомендуется проверить положение соответствующих задвижек.

Если присосы воздуха в конденсатор близки к норме, то степень загрязнения поверхностей теплообмена оценивается с использованием известной эмпирической формулы Л. Д. Бермана [3] для расчета среднего коэффициента теплопередачи в конденсаторе

$$K_p = 3500a \left(\frac{1,1v_{ki}}{\sqrt[4]{d_w}} \right)^x \left[1 - \frac{0,42\sqrt{a}}{1000} (35 - t_{1w})^2 \right] \Phi_d \Phi_z, \quad (3)$$

где a – коэффициент степени чистоты поверхности теплообмена;

$v_{ki} = \frac{W_k}{3600f_k}$ – скорость охлаждающей воды в трубах; f_k – площадь внут-

ренного сечения трубок конденсатора; $t_{1в}$ – температура охлаждающей воды перед конденсатором; $\chi = 0,12a_n(1 + 0,15t_{1в})$; a_n – нормативный коэффициент степени чистоты поверхности теплообмена; Φ_d – коэффициент, учитывающий влияние удельной паровой нагрузки конденсатора; Φ_z – то же, число ходов воды в конденсаторе.

Соотношения для расчета Φ_d и Φ_z приведены в [3].

Фактический коэффициент теплопередачи для чистого конденсатора определяется по формуле

$$K_{\phi} = \frac{c_{в} W_{к} t_{2в} - t_{1в}}{F_{к} \delta t}, \quad (4)$$

где $F_{к}$ – поверхность теплообмена, m^2 ; δt – среднелогарифмический температурный напор в конденсаторе, $^{\circ}C$.

Из равенства $K_{\phi} = K_p$ определяют значение коэффициента a_n для чистого конденсатора. Аналогично определяют величину a_{ϕ} для конденсатора в момент нарушения. Соотношение a_{ϕ}/a_n определяет изменение степени загрязнения конденсатора по сравнению с исходными условиями.

Для определения, является ли причиной ухудшения вакуума недостаточный расход охлаждающей воды $W_{к}$, выясняют, можно ли изменением режима работы циркуляционных насосов (ЦН) обеспечить увеличение вакуума в конденсаторе до допустимого значения.

Далее описывается метод анализа работы ЦН при их блочной компоновке: несколько циркуляционных насосов подают воду только в анализируемый конденсатор. При подаче воды от единой насосной на несколько конденсаторов метод расчета усложняется. Однако основные положения, применяемые при анализе работы ЦН, в основном сохраняются. Расход воды в конденсатор $W_{к}$ устанавливается в результате совместной работы сети, в которую подается вода, и ЦН.

С достаточной точностью характеристику сети можно представить выражением

$$H_c = H_r + S_c W_{к}^2, \quad (5)$$

где H_c – напор, развиваемый насосами, кПа; H_r – напор, необходимый для подачи воды в наивысшую точку контура циркуляции, кПа; S_c – коэффициент сопротивления сети, кПа/($m^3/ч$).

При известных H_c , H_r и $W_{к}$ можно определить коэффициент S_c .

Характеристика ЦН при угле поворота направляющего аппарата α и скорости вращения v аппроксимируется зависимостью

$$H^{ЦН} = H^{(\alpha, v)} - S^{(\alpha, v)} W_{ЦН}^2, \quad (6)$$

где $H^{(\alpha, v)}$ – условный напор ЦН при расходе воды, равном нулю, кПа; S – внутреннее сопротивление ЦН, кПа/($m^3/ч$)²; $W_{ЦН}$ – расход воды через ЦН, $m^3/ч$.

С использованием выражений (5) и (6) определяют, какие изменения режима работы ЦН могут увеличить расход воды в конденсатор.

Расход W_k при изменении режима работы ЦН (количества работающих ЦН, изменении величин α и ν) определяют при решении системы уравнений:

$$\begin{aligned} H_1^{\text{ЦН}} &= H_1^{(\alpha, \nu)} - S_1^{(\alpha, \nu)} W_{\text{ЦН1}}^2; \\ &\vdots \\ H_n^{\text{ЦН}} &= H_n^{(\alpha, \nu)} - S_n^{(\alpha, \nu)} W_{\text{ЦНn}}^2; \\ H_c &= H_r + S_c W_k^2; \\ W_k &= W_1 + \dots + W_n. \end{aligned} \quad (7)$$

При известных значениях D_k и W_k можно определить:

- температуру окружающей воды

$$t_{2в} = D_k \Delta i_k / c_b W_k + t_{1в}; \quad (8)$$

- температурный напор в конденсаторе

$$\delta t = (t_{2в} - t_{1в}) / (e^{kF/c_b W_k} - 1); \quad (9)$$

- температуру пара в конденсаторе

$$t_n = \frac{t_{2в} e^{kF/c_b W_k} - t_{1в}}{e^{kF/c_b W_k} - 1}. \quad (10)$$

По величине t_n определяем p_k для пара при состоянии насыщения [4]. Если определен вариант режима работы ЦН, при котором p_k принимает допустимое значение, указываются рекомендуемый режим работы ЦН и ожидаемая величина p_k .

Принципиальная схема анализа ухудшения вакуума в конденсаторе паровой турбины представлена на рис. 1.

Описанный способ анализа позволяет автоматически формировать рекомендации оперативному персоналу, потому что процессы, характеризующие его работу, могут быть описаны с приемлемой точностью аналитическими зависимостями. При анализе нарушений работы котлоагрегата достоверно смоделировать происходящие в нем процессы сложно из-за влияния на нарушение неконтролируемых факторов. При этих условиях целесообразно сочетать автоматический анализ поступившей информации с анализом, выполняемым вахтенным персоналом вручную. В результате автоматического анализа были указаны выявленные причины нарушений, а также диагностические действия, выполняемые вручную. Для этого требуется специальное согласование работы отдельных диагностических модулей.

На рис. 2 представлена принципиальная схема анализа нарушений работы газовоздушного тракта котла.

Дискретные сигналы об отключении тяго-дутьевых механизмов (ДВ, ДС), регенеративного воздухоподогревателя (РВП), а также признак загорания отложений в РВП обрабатывают с более высоким приоритетом. После выполнения соответствующего диагностического модуля, уточняющего общую ситуацию, формируют диагностические сообщения вида:

- «Отключены оба ДС. Убедитесь по амперажу тока двигателей. Убедитесь в останове котла защитой или остановить котел дистанционно»;

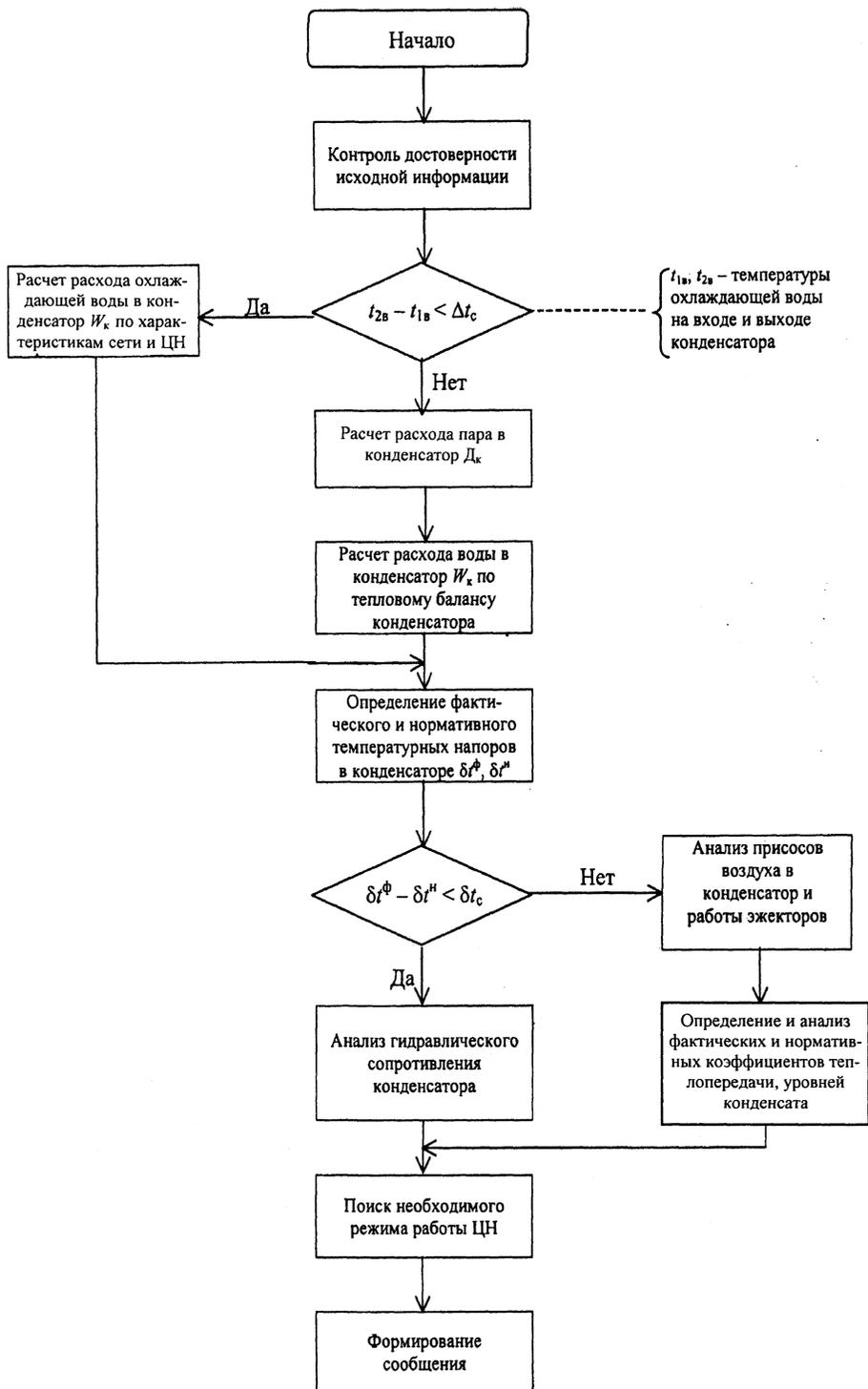


Рис. 1

• «Остановлен РВП А. Убедитесь в останове по амперажу тока двигателя. Убедитесь в снижении нагрузки котла защитой или дистанционно отключить горелки верхнего яруса, подачу воздуха к отключенным горелкам, отключить регулятор нагрузки в сторону "прибавить"».



Рис. 2

При загорании отложений в РВП формируется сообщение:

- «Загорание отложений в РВП А. Убедитесь по дымомеру, дыму из лючков. Проконтролировать работу защиты. Убедитесь в останове ДВ, ДС, закрытии направляющих аппаратов. Включить пожаротушение».

При обнаружении указанных событий формируется признак $\Pi > 0$, блокирующий запуск программы анализа отклонения от нормы разрежения вверху топки котла. Принципиальная схема анализа отклонения от нормы разрежения вверху топки котла H_t представлена на рис. 3.

При работе программы анализа сначала уточняют допустимый диапазон изменения H_t , так как он изменяется в зависимости от вида сжигаемого топлива. При поиске причин нарушения проверяют параметры сжигаемого топлива, воздуха, подаваемого к горелкам, выясняют, изменялся ли режим работы ДС, ДВ, ДРГ, РВП. При обнаружении признаков изменения режима работы тракта или отклонении параметров от заданных диапазонов формируют соответствующее сообщение и признак $\Pi > 0$. Если после выполнения проверок $\Pi = 0$, то формируют сообщение, рекомендующее проверить наличие признаков срыва (потемнения) факела, сквозных повреждений поверхностей нагрева, которые, как правило, требуют осмотров, прослушиваний.

Использование АСПР позволяет оперативному персоналу быстро вникать в ситуацию, принимать правильные решения и тем самым сократить ущерб, связанный с ошибками персонала при управлении оборудованием.

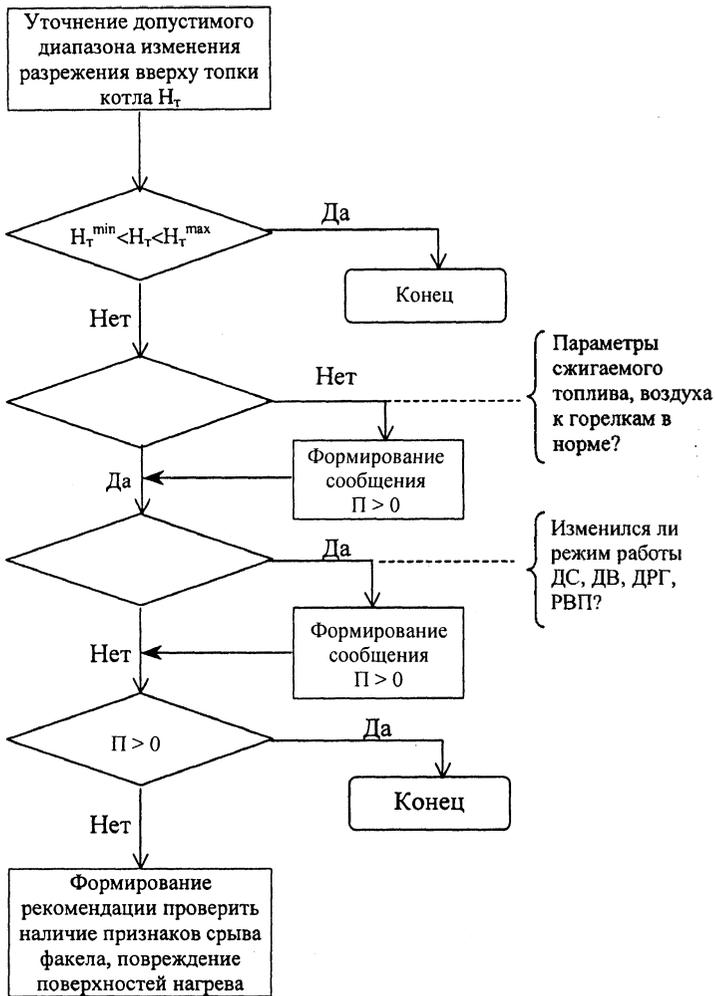


Рис. 3

ЛИТЕРАТУРА

1. Я н и ц к и й В. А. Автоматизация принятия решений при оперативном управлении работой оборудования тепловых электрических станций // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2003. – № 2. – С. 55–68.
2. А. с. 756171 СССР, МКЛ F 28 В 9/10. Способ контроля воздушной плотности конденсатора паротурбинной установки / В. А. Яницкий. – 1987.
3. К и р с а н о в И. Н. Конденсационные установки. – М.; Л.: Энергия, 1965. – 376 с.
4. В у к а л о в и ч М. П. Теплофизические свойства воды и водяного пара. – М.: Машиностроение, 1967. – 160 с.

Поступила 10.06.2003