

Рис. 4. К выбору $\Delta T_{\text{доп}}$ в цилиндрической заготовке диаметром 0,1 м

Выполненный анализ позволил установить, что расчетная конечная неравномерность прогрева контрольного сечения составляет 0,72 и 1,42 ч, фактическая же – 0,83 и 1,52 ч соответственно, что указывает на возможность снижения расхода топлива на нагрев заготовок.

Представлена кафедрой
ПТЭ и ТТ

Поступила 1.07.2002

УДК 62 – 503.5

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ОПЕРАТИВНОМ УПРАВЛЕНИИ РАБОТОЙ ОБОРУДОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Канд. техн. наук ЯНИЦКИЙ В. А.

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

Создание автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) – один из эффективных способов повышения тепловой экономичности и надежности работы оборудования ТЭС. Современный уровень развития программных и технических средств, используемых в АСУ ТП, позволяет автоматизировать выполнение функций, которые вызывают трудности у вахтенного персонала (управление при резкопеременных режимах или быстро развивающихся нарушениях работы оборудова-

ния). Именно эти режимы являются причинами ошибок персонала, приводящих к материальному ущербу.

При обнаружении изменений в работе оборудования оперативный персонал на основании анализа поступающей информации должен принять решение о необходимости и способах управления его работой. Анализ текущей ситуации включает поиск связей между текущими событиями, проверку гипотез о причинах нарушений и выбор способа управления на основе принятой гипотезы.

Вероятность удовлетворительного выполнения указанных функций существенно зависит от запаса времени для решения задачи. В [1] приведены результаты экспериментов по изучению способности персонала ТЭС находить правильные решения. Получены оценки вероятностей найти правильное решение при снижении температуры острого пара за котлом вследствие открытия обвода подогревателей высокого давления в регенеративной схеме турбоустановки, работающей в блоке с котлом. При запасах времени соответственно 1, 5, 30, 120 мин. процент ошибок при анализе ситуации составляет соответственно 99, 90, 9, 1. Следовательно, применение средств вычислительной техники позволит использовать такие важные преимущества, как высокое быстродействие, полнота и высокая точность анализа независимо от внешних воздействий, которые обычно существенно влияют на действия персонала.

Решение задачи при оперативном управлении работой оборудования позволит сократить количество вынужденных остановов и аварий оборудования по вине персонала.

Анализ технологической ситуации и принятия решения включает следующие этапы:

- контроль допустимости изменения параметров, характеризующих режим работы оборудования, прогноз их изменения;
- обнаружение изменений параметров, не соответствующих требованиям эксплуатационной документации, оценка возможных последствий;
- анализ причин недопустимых изменений параметров;
- выбор способа воздействия на оборудование, оценка результатов воздействия;
- реализацию принятого решения.

Контроль допустимости изменений параметров, как правило, сводится к проверке, находятся ли значения параметров в допустимых диапазонах, или же проверяется допустимость скорости их изменения.

При оперативном контроле работы оборудования ТЭС вахтенному персоналу чаще всего приходится оценивать уровень, на котором стабилизировалось значение контролируемого параметра, а также оценивать и прогнозировать тренд при переходных режимах.

Условие, по которому оценивается нормальность хода технологического процесса в момент времени t , представляется выражением

$$X(t) \in X^{\text{н}}(x_i^{\text{min}} < x(t) < x_i^{\text{max}}). \quad (1)$$

Для части параметров проверяются условия вида $dx_j/dt < c$. Последняя оценка выполняется усредненно для определенных отрезков времени в прошлом.

Проверка условия (1) осложняется тем, что на устройства представления информации поступает сумма полезного сигнала и помехи

$$x_i(t) = x_{oi}(t) + \xi_i(t). \quad (2)$$

При автоматических измерениях параметров помехи возникают как в контролируемых объектах (возмущения, связанные с работой механизмов собственных нужд, а также вызванные переходом рабочих тел из одного фазового состояния в другое), так и каналах измерения (погрешности, возникающие при обработке сигналов, тепловое движение электронов и др.).

Опытные операторы вырабатывают собственные алгоритмы сглаживания поступающей информации. Однако это происходит интуитивно, субъективно.

Задача оптимального выделения полезного сигнала из суммы полезного сигнала и помехи впервые поставлена академиком А. Н. Колмогоровым в 1941 г. [2] и доведена до практически реализуемой Н. Винером в 1949 г. [3].

Фильтрация по Колмогорову – Винеру нашла ограниченное практическое применение вследствие следующих причин:

оптимальное действие фильтра обеспечивается при стационарном входном процессе $x(t)$;

для построения фильтра требуется трудоемкая предварительная экспериментальная работа по восстановлению автокорреляционных функций случайных процессов, определяющих изменение величин, которые поступают на вход фильтра;

разработанный метод позволяет установить только переходную импульсную функцию фильтра, что требует подбора структуры фильтра и способа преобразования поступающих сигналов, обеспечивающих найденную переходную функцию.

Метод, получивший название фильтра Калмана – Бьюси, предложенный в [4] и детально разработанный в последующих публикациях, позволил устранить главные недостатки фильтра Колмогорова – Винера.

Фильтр Калмана – Бьюси позволяет непосредственно получить оператор преобразования входного сигнала, обеспечивающий оптимальную фильтрацию сигналов при стационарном и переходном процессах на входе. Характеристики фильтра адаптируются к характеристикам поступающих сигналов: в используемом операторе преобразования входного сигнала применяется рекуррентная процедура, позволяющая уточнять характеристики фильтра по результатам обработки поступающих сигналов на предыдущих этапах.

Недостатком фильтра Калмана – Бьюси являются трудоемкие расчеты, которые необходимо выполнять на каждом шаге обработки поступающей информации.

Практическая задача реализации фильтра значительно упрощается, если в качестве выражения, осуществляющего фильтрацию, принять для всех поступающих сигналов единое выражение, реализующее сглаживание. Параметры фильтра настраиваются индивидуально для каждого сигнала.

В качестве такого выражения может использоваться фильтр экспоненциального сглаживания (ФЭС) [5]. Применительно к системе контроля с дискретным опросом датчиков информации ФЭС описывается выражением

$$y_i(n) = \gamma_i x_i(n) + (1 - \gamma_i) y_i(n - 1), \quad (3)$$

где $y_i(n)$, $y_i(n - 1)$ – значения i -го сигнала на выходе фильтра в n -м и $(n - 1)$ -м циклах опроса датчиков; $x_i(n)$ – значение i -го сигнала на входе фильтра в n -м цикле опроса; γ_i – коэффициент.

При стремлении промежутка времени между циклами опроса датчиков информации к нулю и $\gamma_i < 1$ уравнение ФЭС есть уравнение инерционного звена

$$\frac{1}{\gamma_i} \frac{dy_i}{dt} + y_i = x_i.$$

При рекуррентных расчетах по (3) сглаженное значение на выходе фильтра после n -го цикла опроса датчиков определяется выражением, связывающим его с поступившими на вход ФЭС значениями i -го сигнала в предыдущих циклах опроса:

$$y_i(n) = \gamma_i \sum_{j=1}^{j=n} x_i(j) (1 - \gamma_i)^{n-j}. \quad (4)$$

При неизменном значении полезного сигнала $x_{oi}(n)$ изменение сигнала $x_i(n)$ есть

$$\Delta x_i(n) = \Delta \xi_i(n) = x_i(n) - x_i(n - 1). \quad (5)$$

Неизменность значения полезного сигнала или, другими словами, стационарность случайной последовательности $x_i(1)$, $x_i(2)$, ..., $x_i(n)$ определяется с помощью критериев стационарности [6]. С учетом сказанного выше и использованием системы автоматического опроса датчиков информации определены частоты появления различных значений помехи $\Delta \xi_i$ для 33-х каналов измерения на энергоблоке с турбиной Т-250/300-240 и котлом ТГМП-314ц. Гистограммы распределения частот появления различных значений помехи для некоторых каналов измерения показаны на рис. 1.

По экспериментальным данным восстановлен закон распределения вероятностей появления различных значений $\Delta \xi_i$. Для проверки гипотезы о нормальности распределения $\Delta \xi_i$ применен критерий Шапиро – Уилка [7] как наиболее эффективный в данном случае. Установлено, что для всех каналов измерения экспериментальные данные соответствуют нормальному закону распределения с математическим ожиданием $M(\Delta \xi_i) = 0$ и дисперсиями $D(\Delta \xi_i)$.

С использованием выражений (4) и (5) получаем, что при стационарном процессе на выходе ФЭС будет

$$\Delta y_i(n) = \gamma_i \sum_{j=1}^{j=n} \xi_i(j) (1 - \gamma_i)^{n-j}. \quad (6)$$

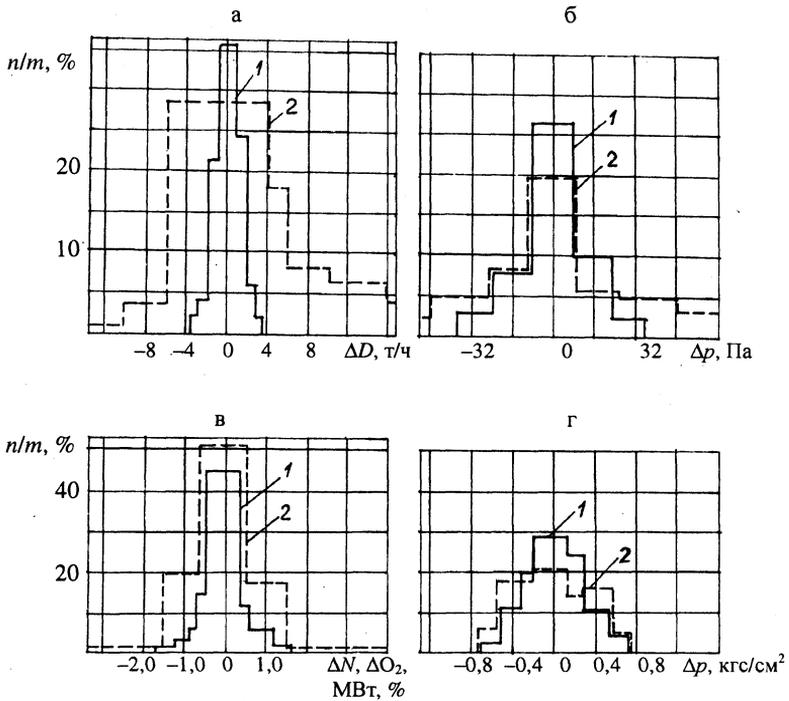


Рис. 1. Частоты появления различных значений помех при измерениях: а – расходов: 1 – острого пара; 2 – конденсата за ПНД-4; б – 1 – давления за дутьевым вентилятором; 2 – разрежения перед РВП; в – 1 – мощности генератора; 2 – содержания кислорода за пароперегревателем; г – давлений: 1 – за регулирующей ступенью турбины; 2 – острого пара

Величина $\Delta y_i(n)$ есть сумма нормально распределенных величин $\Delta \xi_{ij}$, умноженных на вектор $\Gamma^T = \gamma_i(1 - \gamma_i); \gamma_i(1 - \gamma_i)^2, \dots, \gamma_i(1 - \gamma_i)^{n-j}$. Согласно теореме о линейной комбинации нормально распределенных величин [8] при умножении вектора, содержащего нормально распределенные величины $Z = \Delta \xi_{i1}, \Delta \xi_{i2}, \dots, \Delta \xi_{ik}$ с $M(\Delta \xi_{ij})$ и $D(\Delta \xi_{ij})$, на вектор Γ получим вектор нормально распределенных величин с $M_\Gamma = \Gamma M(\Delta \xi_{ij})$ и $D_\Gamma = \Gamma D(\Delta \xi_{ij}) \Gamma^T$. С учетом этого можно оценить параметры распределения величины $\Delta y_i(n)$ при стационарном процессе на входе фильтра.

Используя (6), определим связь между коэффициентом γ_i , реакцией на выходе фильтра $\Delta y_i(n)$ и возмущением на входе фильтра $\Delta \xi_{i\alpha}$ при стационарном процессе на входе фильтра, т. е. в случае, когда возмущения вызваны только помехами.

Зададимся величиной δ_i , равной погрешности определения факта пересечения допустимого граничного значения, например x_i^{\max} (при принятии в качестве граничного значения x_i^{\min} ход рассуждений не изменяется). Определим, при каком значении коэффициента γ_i появление на входе фильтра в n -м цикле опроса помехи $\Delta \xi_{i\alpha}$ не приведет к превышению δ_i . Другими словами, определим, при каком значении γ_i появление помехи $\Delta \xi_{i\alpha}$ не приведет к нарушению условия $y_i(n) \leq x_i^{\max}$, если $y_i(n-1) = x_i^{\max} - \delta_i$. Задав $\delta_i = y_i(n) - y_i(n-1)$, с использованием выражения (3) получим:

$$\delta_i = \gamma_i \Delta \xi_{i\alpha} - (1 - \gamma_i) \gamma_i [\Delta \xi_i(n-1) - y_i(n-2)] \quad (7)$$

и

$$\delta_i / \gamma_i = \Delta \xi_{i\alpha} - (1 - \gamma_i) [\Delta \xi_i(n-1) - y_i(n-2)].$$

Выше было показано, что величины, стоящие в квадратных скобках, при стационарном процессе распределены нормально и $M\Delta \xi_i = M\Delta y_i = 0$. Следовательно, при многократном повторении расчетов по (3) разность $\Delta \xi_i(n-1) - y_i(n-2)$ стремится к нулю. Отсюда следует, что значение параметра γ_i , обеспечивающее изменение сигнала на входе фильтра на величину δ_i при изменении входного сигнала на величину $\Delta \xi_{i\alpha}$, должно удовлетворять условию

$$\gamma_i = \delta_i / \Delta \xi_{i\alpha}. \quad (8)$$

Для определения оптимального значения γ_i воспользуемся критерием минимального среднего риска по Байесу [9]

$$C_{cp} = C_{1(i)} P_{I(i)} P_{12(i)} + C_{2(i)} P_{II(i)} P_{21(i)}, \quad (9)$$

где $P_{I(i)}$ – вероятность отклонения X_{oi} от нормы, т. е. $X_{oi} > X_i^{\max}$; $P_{II(i)}$ – вероятность отсутствия отклонения X_{oi} , т. е. $X_{oi} \leq X_i^{\max}$; $C_{1(i)}$, $C_{2(i)}$ – стоимость соответственно пропуска отклонения X_{oi} и ложной тревоги; $P_{21(i)}$, $P_{12(i)}$ – соответственно условная вероятность ложной тревоги (когда $\Delta \xi_i$ воспринимается как недопустимое ΔX_{oi}) и условная вероятность пропуска недопустимого отклонения ΔX_{oi} .

Выведем выражение для расчета C_{cp} , задавшись пороговым значением $\Delta \xi_{i\alpha}$. Смысл пороговой величины $\Delta \xi_{i\alpha}$ заключается в том, что при $\Delta X_{oi} > \Delta \xi_{i\alpha}$ принимается решение о недопустимом изменении X_i , при $\Delta X_{oi} \leq \Delta \xi_{i\alpha}$ – об отсутствии отклонения.

Запишем выражение для расчета условной вероятности ложной тревоги:

$$P_{21(i)} = P[\Delta \xi_i(n) > \Delta \xi_{i\alpha}] P[\Delta X_{oi}(n) < \Delta \xi_{i\alpha}]; \quad (10)$$

$$P_{21(i)} = \int_{\Delta \xi_{i\alpha}}^{\infty} f(\Delta \xi_i) d(\Delta \xi_i) \int_{-\infty}^{\Delta \xi_{i\alpha}} F(\Delta X_{oi}) d(\Delta X_{oi}), \quad (11)$$

где $f(\Delta \xi_i)$ – плотность распределения вероятностей появления $\Delta \xi_i$; $F(\Delta X_{oi})$ – то же ΔX_{oi} .

Условная вероятность пропуска цели P_{21} (вероятность события, когда изменение полезного сигнала $\Delta X_{oi} > \Delta \xi_{i\alpha}$, но изменение поступившего сигнала $\Delta X_i = \Delta X_{oi} + \Delta \xi_i$ не превышает пороговое значение из-за наложения помехи, т. е. $\Delta X_i < \Delta \xi_{i\alpha}$) может быть представлена как произведение вероятностей

$$P_{12(i)} = P[\Delta X_{oi}(n) > \Delta \xi_{i\alpha}] P[\Delta X_{oi}(n) + \Delta \xi_i(n) < \Delta \xi_{i\alpha}]. \quad (12)$$

Используя функции распределения вероятностей появления сигналов ΔX_{oi} и ΔX_i , получим

$$P_{12(i)} = \int_{\Delta\xi_{i\alpha}}^{\infty} F(\Delta X_{oi}) d(\Delta X_{oi}) \int_{\infty}^{\Delta\xi_{i\alpha}} F_1(\Delta X_i) d(\Delta X_i), \quad (13)$$

где $F_1(\Delta X_i)$ – плотность распределения вероятностей появления значений сигнала $\Delta X_i = \Delta X_{oi} + \Delta\xi_i$.

Распределение $F_1(\Delta X_i) = F_1(\Delta X_{oi} + \Delta\xi_i)$ есть композиция нормального и равномерного распределений.

Согласно [10], композиция нормального и равномерного распределений описывается распределением, близким к нормальному, с дисперсией, равной сумме дисперсий исходных компонент. С учетом этого распределение $F_1(\Delta X_i)$ аппроксимируется известной зависимостью, используемой для нормального распределения.

Выражение (11) для расчета $P_{21(i)}$ есть произведение определенного интеграла от функции $f(\Delta X_i)$, описывающей нормальное распределение вероятностей, и определенного интеграла от функции $F(\Delta X_{oi})$, описывающей равномерное распределение вероятностей. Известно, что интеграл от функции вида $(1/\sqrt{2\pi})\exp(-z^2/2)$, описывающей нормальное распределение, не выражается в элементарных функциях.

В случае нормального распределения при интегрировании используется специальная функция, введенная Лапласом, значения которой приводятся в таблицах. Интегрирование равномерного распределения не требует специальных приемов.

Выражение (13) для расчета $P_{12(i)}$ также есть произведение определенных интегралов соответственно функции равномерного распределения $F(\Delta X_{oi})$ и функции нормального распределения $F_1(\Delta X_i)$. Для расчета $P_{12(i)}$ при различных значениях $\Delta\xi_{i\alpha}$ используются те же приемы, что при расчете $P_{21(i)}$.

Вероятности $P_{1(i)}$, $P_{11(i)}$ определяют на основании анализа результатов регистрации значений параметров. В случаях, когда результаты регистрации не позволяют сделать обоснованные выводы, значения $P_{1(i)}$ и $P_{11(i)}$ могут быть получены с помощью экспертных оценок вахтенного персонала.

При определении стоимости пропуска отклонения C_1 и ложной тревоги C_{11} целесообразно использовать следующие соображения. Из опыта эксплуатации у персонала ТЭС обычно имеются оценки среднего запаса времени от начала отклонения параметра до необратимого нарушения режима (срабатывание защиты, повреждение оборудования). Обычно эти данные используются при аварийных тренировках персонала. Чем меньше запас времени, тем большей должна быть относительная стоимость пропуска отклонения по сравнению со стоимостью ложной тревоги.

Следует отметить, что в известных работах по фильтрации сигналов [2–4] стоимости отклонений не дифференцируются в зависимости от вида отклонения и возможных последствий: все отклонения оцениваются весовыми коэффициентами, равными единице. Введение стоимостей C_1 и C_2

позволяет дифференцировать стоимости последствий ошибок различного рода.

Расчет $C_{cp(i)}$ при различных значениях $\Delta\xi_{i\alpha}$ позволяет определить значение $\Delta\xi_{i\alpha}^{opt}$, при котором величина $C_{cp(i)}$ принимает наименьшее значение.

Параметр γ_i фильтра определяется по выражению (8).

Изложенные методические положения использованы при выборе параметров фильтров измерений в реальных системах контроля. Измерения, поступающие от термопар и термометров сопротивления, не требуют фильтрации, так как в этих случаях сами датчики информации обеспечивают сглаживание помех. Значительные помехи возникают при измерениях давлений и разрежений в газовоздушном тракте котла, содержания кислорода в дымовых газах, расходов и давлений в пароводяном тракте котла.

Для примера приведем значения γ ФЭС некоторых наиболее подверженных помехам измерений на котлоагрегате ТГМП-314ц производительностью 420 т/ч.

Измерения давлений (разрежений) в газовоздушном тракте котла целесообразно сглаживать с $\gamma = 0,4 \dots 0,5$, содержание кислорода в конвективной шахте котла – с $\gamma = 0,2 \dots 0,3$, расходы и давления пароводяной среды в трактах котла – с $\gamma = 0,4 \dots 0,7$.

При обнаружении недопустимого изменения параметра анализ технологической ситуации заключается в проверке предположений о причинах нарушения. При их анализе оценивается также общая ситуация с целью уточнения возможных способов воздействия на оборудование, которые указываются в эксплуатационной документации. Навыки анализа технологических ситуаций и принятия решений закрепляются в ходе противоаварийных тренировок. Однако при достаточно масштабном нарушении, сопровождающемся быстрыми изменениями многих параметров, эти навыки бесполезны: в состоянии стресса человек не способен выбрать рациональный способ действия.

Сложность заключается в том, что алгоритм решения подобных задач заранее не известен. Связи между событиями и факторами могут быть установлены только в процессе обработки поступающей информации. Заранее формулируются только правила восстановления этих связей.

При решении задач такого рода могут использоваться экспертные системы (ЭС). В настоящее время методы и теория построения ЭС – наиболее быстро развивающиеся направления создания искусственного интеллекта. Уже разработаны и нашли практическое применение ЭС различных видов. Несмотря на их существенное различие, во всех ЭС можно выделить общие свойства. При построении ЭС используется априорная информация об объекте, организованная определенным способом, при поступлении текущей информации об анализируемом объекте – априорная информация при выборе алгоритма поиска решения.

Применение ЭС целесообразно, когда об исследуемом объекте имеются отрывочные, часто противоречивые сведения, структура объекта, способы взаимодействия его отдельных частей неизвестны. Применение ЭС позволяет из множества возможных вариантов выбрать наиболее приемлемый, удовлетворяющий критериям, применяемым, исходя из соображений здравого смысла. Универсальность применения ЭС достигается за счет упро-

щенного описания свойства анализируемого объекта и достаточно простых процедур получения вывода.

В результате разработки ЭС различных видов появилась возможность их использования при анализе состояния объектов и принятии решений в таких областях деятельности, в которых считалось невозможным или нецелесообразным применение каких-либо математических методов.

В настоящее время разработаны и широко применяются на практике ЭС:

- использующие производственные правила;
- использующие семантические сети;
- основанные на фреймах [11, 12].

Другие виды ЭС используются при решении узкого круга задач или же недостаточно проработаны в методическом плане.

Основными элементами производственных ЭС являются производственные правила и механизм получения вывода. Производственные правила представляются в виде двух частей: левая «Если...» и правая «То...». В левую часть подставляются условия, например неравенства, равенства, другие математические соотношения. В правой части записывается вывод, который верен при условии, записанном в левой части. В соответствии с заданным механизмом вывода из имеющихся производственных правил выбирается соответствующее заданным условиям.

ЭС, в основе построения которых лежат семантические сети, представляются в виде графов. Вершины графа соответствуют каким-либо сущностям (понятиям), дуги графа отображают отношения между вершинами (например, «Является причиной», «Принадлежит» и др.). Семантическая сеть составляется заранее. При поступлении конкретной информации об анализируемом объекте (признаков, других характеристик объекта) выполняется анализ, при котором восстанавливаются актуальные связи в ситуации, характеризующей поступившей информацией. Такие связи используются в качестве инструмента, с помощью которого можно установить связь между исходными данными, полученными в результате изучения исследуемого объекта, и выводами, соответствующими этим наблюдениям.

Имеется много примеров успешного использования ЭС, основными элементами которых являются фреймы. Фрейм – единица информации, зафиксированная в виде определенной структуры, содержащая качественные и количественные характеристики частей анализируемого объекта и структурные отношения между ними. В структуру фрейма, как правило, входит встроенная процедура получения решения. Из рассмотренных видов ЭС последний может обеспечить наиболее полные способы описания свойств анализируемых объектов. ЭС, основанные на использовании семантических сетей, позволяют учитывать качественные характеристики объекта. Производственные ЭС занимают промежуточное положение между ЭС, использующими фреймы и семантические сети. Остальные виды ЭС, например основанные на исчислении предикатов, обладают ограниченными возможностями.

Методы построения ЭС позволяют в каждом их виде использовать только определенные формальные приемы. При попытке расширить способы и средства описания свойств объектов возникает противоречие между

стремлением более точно описать свойства объектов и требованием обеспечить универсальность применения ЭС.

Современные установки ТЭС имеют сложные технологические схемы, характеризуются многократными преобразованиями энергии и сложным взаимодействием входящих в них агрегатов и механизмов. В результате многочисленных исследований, проведенных при их создании и обеспечении эффективной эксплуатации, разработаны математические модели, позволяющие с высокой точностью оценивать необходимые характеристики.

Известные виды ЭС ограничивают возможности применения этих моделей в качестве компонентов, используемых при анализе. Следовательно, для удовлетворения противоречивых требований, обеспечения возможности решения достаточно широкого круга задач и высокой точности оценок необходимо искать новые подходы. При этом должно быть сохранено главное свойство, присущее ЭС, заключающееся в том, что алгоритмы решения задач, возникающих при анализе конкретных ситуаций, заранее не известны.

Включение ЭС в контур оперативного управления оборудованием накладывает дополнительные требования и ограничения. Необходимость высокого быстродействия и полноты анализа ситуаций отмечалась ранее.

Высокая стоимость возможного ущерба, связанного с ошибками анализа ситуаций, требует автоматического контроля достоверности вводимой информации. Выводы и рекомендации, формируемые ЭС, должны основываться на автоматически вводимой информации, так как ее ввод вручную со щита управления является дополнительной нагрузкой, отвлекающей оперативный персонал от выполнения должностных обязанностей.

При построении ЭС автоматического контроля и анализа технологических ситуаций учитывалось, что при работе оборудования под нагрузкой нормальным считается режим работы, при котором определенная совокупность параметров находится в допустимых диапазонах и скорости изменения части параметров не превышают предельно допустимые (1).

При переходных режимах – пусках или остановках оборудования – управление осуществляется по другим критериям. При этих режимах на каждом этапе проверяется выполнение условий, свидетельствующих о его завершении и необходимости перехода к следующему. Для контроля этих режимов используются программные средства, основанные на использовании традиционных алгоритмических методов.

Далее рассматриваются способы автоматического контроля и анализа технологических ситуаций при работе энергоустановок ТЭС в режимах регулирования нагрузок. При отклонении одного или нескольких параметров от допустимого диапазона оператор должен определить причины отклонений и способ воздействия на оборудование.

На основе [13, 14] разработан подход, позволяющий формально описать действие персонала при анализе причин нарушения режима. Анализ каждого конкретного вида нарушения (например, ухудшение вакуума в конденсаторе паровой турбины или повышение уровня конденсата в конденсаторе) представляется в виде «Дерева оценки ситуации» (ДОС). ДОС есть граф древовидной формы, вершины которого соответствуют всем возможным причинам данного нарушения, дуги графа отображают причинно-

следственные связи между событиями, названными в вершинах графа. Корень дерева соответствует обнаруженному нарушению режима, стволы и крупные ветви – обобщенным причинам 1-го, 2-го и последующих уровней. Мелкие ветви и листья отображают первопричины, которые не требуют уточнения. Определение причин этого уровня является достаточным, чтобы найти способ воздействия на оборудование.

В вершинах графа указываются признаки, которые позволяют оценить, имело ли место событие, приводящее к нарушению, указанному в корне ДОС. Признаки даются в расчете на традиционные способы управления, учитывающие ограниченные возможности человека по обработке информации и невысокую скорость этого процесса.

Отдельные элементы ЭС, а также формальные приемы описания деятельности оператора, используемые при разработке ДОС, приняты в качестве основных при разработке автоматизированной системы принятия решений (АСПР) при управлении работой оборудования ТЭС.

Реализована АСПР в виде комплекса программ расчетов для ПЭВМ. Для включения АСПР в контур управления оборудованием требуется автоматический сбор исходной информации от датчиков, установленных на контролируемом объекте. Должны быть предусмотрены устройства первичной обработки сигналов, поступающих от датчиков информации, и передачи информации в цифровой форме на технические средства, с помощью которых реализуются АРМ вахтенного персонала ТЭС.

Структура комплекса программ АСПР представлена на рис. 2.

Следящая программа-диспетчер (СПД) выполняется при каждом обновлении данных, поступающих от технических средств автоматического сбора и первичной обработки сигналов, от датчиков информации. Для каждого вновь поступившего вектора $X_i^T = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ проверяется, соответствует ли он нормальному режиму, т. е. выполняются ли условия (1).

При отклонении от нормального диапазона одной из компонент x_s вектора X_i (аналоговой величины или дискретного сигнала) вызывается программа анализа нарушения именно этого вида – АНРs. Число программ АНР соответствует количеству параметров, контролируемых СПД. Кроме основной функции, СПД выполняет несколько вспомогательных. Эта программа регистрирует значения параметров, предшествующие нарушению режима, которые используются при анализе для оценки их изменений и вычисления скоростей изменения параметров. СПД устанавливает последовательность и периодичность запуска программ АНР таким образом, чтобы согласовать режим представления информации человеку с его способностью воспринимать эту информацию.

Программы АНР основаны на принципах, приведенных в [13, 14], для построения ДОС.

Так, при анализе ухудшения вакуума в конденсаторе турбины, кроме проверки обычных логических соотношений, рассчитывается коэффициент теплопередачи в конденсаторе и оценивается степень загрязнения поверхностей нагрева. На основе теплового баланса конденсатора с учетом фактического коэффициента теплопередачи определяются необходимый расход охлаждающей воды, режим работы циркуляционных насосов, оптимальный состав и режим работы эжекторов.

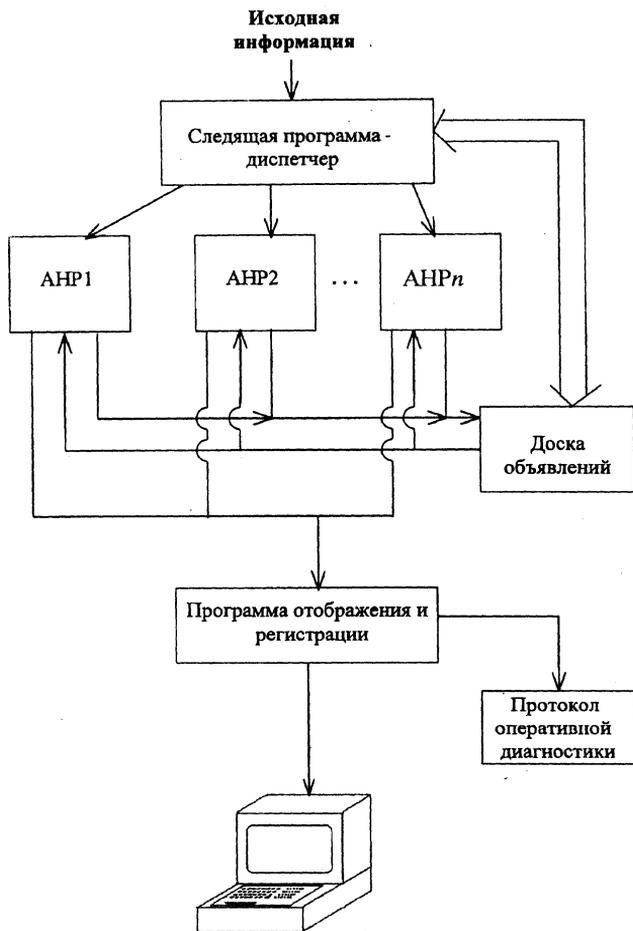


Рис. 2. Структура комплекса программ АСПР

По результатам анализа причин s -го нарушения работы оборудования соответствующей программой АНР формируется первая часть диагностического сообщения, содержащая результаты. При формировании второй части сообщения (рекомендуемых действий) необходимо оценить общую ситуацию. Для решения этой задачи каждая программа АНР заносит часть информации на общую «Доску объявлений». При формировании выводов о рекомендуемых действиях учитывается информация, полученная в результате анализа конкретного нарушения, а также хранящаяся на «Доске объявлений».

Программа отображения и регистрации (ОР) формирует сообщение для представления на мониторе щита управления и протокол оперативной диагностики нарушений работы для последующего просмотра или печати по вызову.

Диагностическое сообщение состоит из:

- сообщения о нарушении;
- указания причин нарушения;
- рекомендуемых действий.

Сообщение о нарушении включает текст, описывающий его характер, фактическое значение параметра, не удовлетворяющего условию (1), и его нормативное (или) допустимое значение. Сообщение о причинах нарушения имеет такую же структуру. В конкретных ситуациях отдельные элементы сообщений могут отсутствовать. Рекомендуемые управляющие воздействия соответствуют эксплуатационной документации и согласовываются с оперативным персоналом ТЭС на стадии разработки АСПР. Изменение отклонившегося параметра во времени представляется также в графической форме. Если отклонившийся параметр принимает допустимое значение, то сообщение о нарушении автоматически удаляется с экрана монитора.

Для того чтобы предоставить персоналу время для устранения нарушения и исключить повторяющиеся расчеты, СПД блокирует повторный запуск ранее выполненной программы АНРs в течение времени τ . Величина τ по согласованию с эксплуатационным персоналом принимается в пределах 5...20 мин. Блокировка запуска программы АНР отменяется, если последнее поступившее значение параметра x_s отклоняется от нормы на величину, большую, чем была зафиксирована при предыдущем запуске АНРs.

Объем оперативной информации о нарушении, представляемой на мониторе щита управления, определяется дежурным оператором. По результатам анализа ситуации автоматически появляется только краткое предупреждение «Внимание, нарушение!». Оператор самостоятельно выбирает, какими средствами представления информации он воспользуется при анализе ситуации.

Изложенные положения использованы при разработке и внедрении в эксплуатацию АСПР энергоблоков с турбинами Т-250/300-240 и котлоагрегатами ТГМП-314ц [15, 16]. Усовершенствованную и расширенную версию АСПР при оперативном управлении котлом производительностью 420 т/ч и параметрами пара за котлом 13,7 МПа (140 ата) 550 °С планируется внедрить в эксплуатацию на одной из ТЭЦ Российской Федерации.

ВЫВОДЫ

1. Разработана методика выбора параметров цифрового фильтра для выделения полезного сигнала из суммы полезного сигнала и помехи, поступающих на вход фильтра. В отличие от известных универсальных методик выбора параметров фильтра она ориентирована на использование при решении конкретных технологических задач – контроле изменений параметров технологического процесса. Применение методики позволяет более точно учесть условия работы фильтра и факторы, влияющие на ее эффективность, существенно сократить трудоемкость предварительных экспериментальных работ по получению исходных данных, необходимых для оптимизации параметров фильтра.

2. Предложены и проверены в условиях промышленной эксплуатации структурная схема и алгоритм комплекса программ системы автоматического принятия решений при оперативном управлении работой оборудования тепловых электрических станций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Прангишвили И. В. Концептуальные основы контроля современных АСУ ТП и АСУП: Приборы и системы управления. – 1989. – № 4. – С. 57.
2. Колмогоров А. Н. Интерполяция и экстраполяция стационарных случайных последовательностей // Изв. АН СССР. Сер. математическая. – 1941. – Т. 5. – № 3.
3. Wiener N. Extrapolation, Interpolation and Smoothing of Stationary Time series // L. Wiley. – 1949. – № 7. – P. 11–23.
4. Kalman R. E., Bucy R. S. New Results in linear filtering and Prediction Theory // J. Basic Eng. – 1961. – Vol. 83, № 1. – P. 95–108.
5. Ицкович Э. Л. Контроль производства с помощью вычислительных машин. – М.: Энергия, 1975. – С. 86.
6. Химмельблау Д. Анализ процессов статистическими методами / Пер. с англ. – М.: Мир, 1973. – С. 166.
7. Shapiro S. S., Wilk M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples) // Biometrika. – 1965, 52,3 and 4. – P. 591–611.
8. Андерсон Т. Введение в многомерный статистический анализ. – М.: Физматгиз, 1963. – 500 с.
9. Горелик А. Л., Скрипкин В. А. Некоторые вопросы построения систем распознавания. – М.: Сов. радио, 1974. – С. 35.
10. Смирнов Н. В., Дунин-Барковский И. В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений. – М.: Наука, 1969. – С. 190.
11. Форсайт Р. Экспертные системы / Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1987. – 224 с.
12. Представление и использование знаний / Под ред. Х. Уэно, М. Исидзука; Пер. с яп. – М.: Мир, 1989. – 220 с.
13. Новый метод подготовки оперативного персонала электростанций / А. Г. Чачко, Н. Б. Милютина, Н. К. Долгоносов, Н. В. Ткачук // Электрические станции. – 1975. – № 5. – С. 7–9.
14. Чачко А. Г., Милютина Н. Б. Методика разработки деревьев оценки ситуаций // Энергетика и электрификация. – 1977. – № 1. – С. 27–32.
15. Автоматический контроль и анализ отклонений от нормы температур пароводяной среды в котле при помощи ЭВМ / В. А. Яницкий, С. Н. Бачило, Г. И. Стасева // Электрические станции. – 1984. – № 7. – С. 39–41.
16. Яницкий В. А. Экспертная система поддержки вахтенного персонала при управлении работой энергоблоков в регулировочном диапазоне // Электрические станции. – 1992. – № 3. – С. 2–6.

Поступила 29.04.2002