

Некоторые вопросы автоматизации обработки информации на АЭС

В. С. ЕРМАКОВ, В. С. КАХАНОВИЧ, Р. А. КАЛЬКО, Е. К. ЗАЛЫВАКО

УДК 621.039.5

Для АЭС важное значение имеет быстрота обработки информации для получения таких обобщенных параметров, как к. п. д. блока, мощность реактора и др. Информация о тепловой мощности реактора может использоваться для расчета технико-экономических показателей, автоматической разгрузки реактора и т. д. Выработываемое реактором тепло за время $\tau = \tau_2 - \tau_1$ определяется выражением

$$Q = \int_{\tau_1}^{\tau_2} q_{II} d\tau - \int_{\tau_1}^{\tau_2} q_B d\tau \text{ дж}, \quad (1)$$

где q_{II} , q_B — тепловые мощности потоков перегретого пара, поступающего в турбину, и питательной воды на последнем подогревателе высокого давления, дж/сек.

Ввиду небольших объемов испарителя и сепаратора за незначительный промежуток времени накапливается баланс количеств воды и пара. Тогда

$$Q = \int_{\tau_1}^{\tau_2} g_B (i_{II} - i_B) d\tau \text{ дж}, \quad (2)$$

где g_B — расход воды, кг/ч; i_{II} , i_B — энтальпия пара и воды, дж/кг. Уравнение (2) пригодно для моделирования схемой тепломера при измерении расхода питательной воды электромагнитным расходомером или ультразвуковым расходомером с извлечением квадратного корня (датчики ГСП).

При использовании в качестве датчика расхода дифманометра выражение (2) принимает вид

$$Q = \int_{\tau_1}^{\tau_2} k_1 \alpha k_t d^2 \sqrt{h\rho} (i_{II} - i_B) d\tau = k_2 \int_{\tau_1}^{\tau_2} \sqrt{k_t^2 (i_{II} - i_B)^2 h\rho} d\tau \text{ дж}, \quad (3)$$

где h — перепад давления на сужающем устройстве, $н/м^2$; ρ — плотность воды, $кг/м^3$; k_1 , k_2 — постоянные коэффициенты; d — диаметр сужающего устройства (СУ); α , k_t — коэффициенты расхода и температурного расширения СУ.

Тепломеры для АЭС, реализующие уравнения (2), (3), а также применяемые для учета тепла потоков воды и пара аналогичны тепломерам для обычных котлов*.

Условия измерения выработки тепла парогенератором Ново-Воронежской АЭС показали, что дополнительная ошибка по теплу от неучета давления воды в диапазоне 28—38 бар не превышает 0,1%, а от неучета давления (температуры) пара — не более 0,15%. Результирующая ошибка с учетом случайного характера изменения параметров воды и пара составляет 0,2%.

* В. С. Каханович. Измерение расхода вещества и тепла при переменных параметрах. М., «Энергия», 1970.

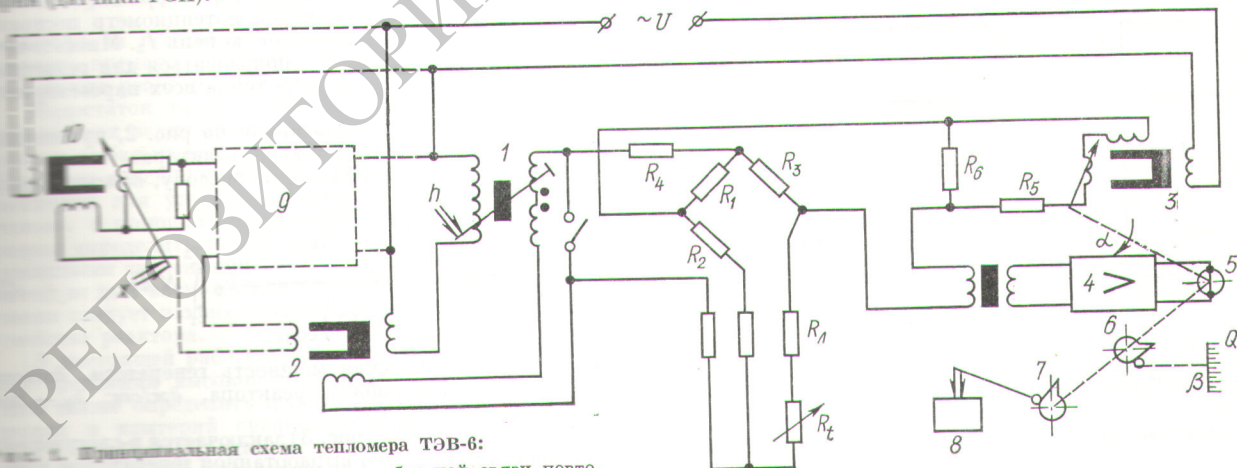


Рис. 1. Принципиальная схема тепломера ТЭВ-6:

1 — трансформатор; 2 — преобразователь обратной связи повторения электрических сигналов; 3 — компенсирующий преобразователь; 4 — электронный усилитель; 5 — реверсивный делитель; 6 — основное лекало; 7 — выходное лекало; 8 — частотный преобразователь для подключения интегратора типа ГСП; 9 — генератор электрических сигналов; $R_1 + R_4$ — резисторы измерительной схемы; 10 — датчик влажности пара; R_2 — опрессовка линии; $\beta \equiv q \equiv \sqrt{\alpha}$ — перемещение указателя (регистратора).

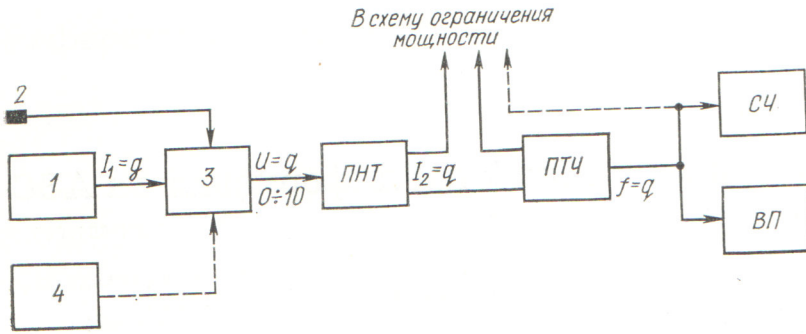


Рис. 2. Блок-схема тепломера ТЭВС:

1 — расходомер со стандартным выходным сигналом постоянного тока I_1 , равным 0—5 и 0—20 ма; 2 — термометр сопротивления; 3 — бесконтактная измерительная схема; 4 — датчик влажности острого пара.

Для реактора ВВЭР выражение (3) принимает вид (без учета потерь в первичном контуре)

$$Q = \sum_1^n k_n \int_{\tau_1}^{\tau_2} \sqrt{h(x-k_3) \frac{k_4 - t_B}{k_5 + t_B}} dt \quad \text{дж}, \quad (4)$$

где x — степень сухости пара; n — число парогенераторов; $k_3 \div k_5$ — постоянные коэффициенты; k_n — градуировочный коэффициент n -го тепломера.

Для нормального режима Ново-Воронежской АЭС ($p_{\text{п}} = 22 \div 32 \text{ бар}$, $x = 1,0 \div 0,98$; $t_B = 130 \div 190^\circ \text{C}$; $p_B = 36 \text{ бар}$) формула (4) примет следующий вид:

$$Q = \sum_1^n k_n \int_{\tau_1}^{\tau_2} \sqrt{h(x-0,399) \frac{110,70 - R_t}{480,86 + R_t}} dt \quad \text{дж}, \quad (4a)$$

где R_t — текущее значение сопротивления термометра 21-й градуировки. Погрешность формулы (4a) не превышает $\pm 0,06\%$ и практически не увеличивает результирующую ошибку, которая возникает вследствие принятых допущений.

В соответствии с (4a) разработан тепломер типа ТЭВ-6, опытный образец которого включен в работу на парогенераторе Ново-Воронежской АЭС (рис. 1).

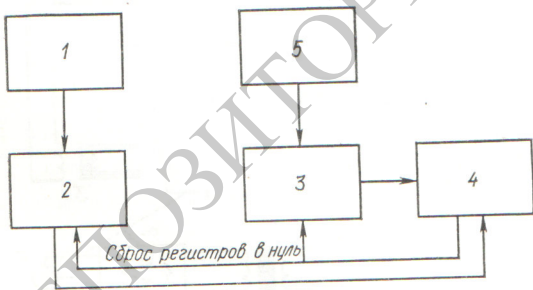


Рис. 3. Блок-схема измерения к. п. д. реактора:

1 — сумматор тепломеров $Q = \sum \int q_p dt$; 2 — регистратор делителя $\int_{\tau_1}^{\tau_2} q_p dt = \text{const}$; 3 — регистратор делителя $\int_{\tau_1}^{\tau_2} N dt$; 4 — регистратор к. п. д. $\eta = h \int_{\tau_1}^{\tau_2} N dt$; 5 — электрический счетчик генератора $\int N dt$.

Основная погрешность тепломера по данным стендовой проверки составляет не более $\pm 4,0\%$. Часть схемы, показанная пунктиром, предназначена для учета влажности пара при наличии измерителя влажности с датчиком 10. Как показали расчеты, неучет влажности приводит к дополнительной погрешности до 1,0% на 1,0% изменения влажности.

С целью защиты, ограничения мощности реактора и для расчета показателей работы блока разработан тепломер типа ТЭВС с повышенной надежностью и хорошими динамическими качествами (рис. 2). Тепломер по измерительному тракту с выходом на регулятор мощности не содержит электромеханических узлов. Расход питательной воды может измеряться электромагнитным (безынерционным) расходомером, дифманометром с нормирующим преобразователем или датчиком ГСП. При использовании серийного термометра сопротивления типа ТСП-5071Б с постоянной времени не более 9 сек динамические качества всей схемы удовлетворяют требованиям, предъявляемым к системе ограничения мощности реактора. Преобразователями напряжения в токовый сигнал ПНТ (I_2 равен 0—5 или 0—20 ма) и тока в частотный сигнал ПТЧ (4—8 кгц) для связи с интегратором СЧ и вторичным регистрирующим прибором ВП служат электронные блоки системы КТС ЛИУС. Регистрирующим прибором, не входящим в контур системы ограничения мощности, может быть частотный прибор типа ВЧС (вторичный частотный самопишущий) или любой потенциометр постоянного тока, включенный в токовую цепь I_2 . Многоотечный прибор также может использоваться для регистрации на одну ленту выработки тепла всех парогенераторов реактора.

Схема тепломера, показанная на рис. 2, применима также и для первого контура реактора.

К. п. д. блока измеряется по способу, описываемому уравнением

$$\eta = \frac{\int_{\tau_1}^{\tau_2} N dt}{\left(\int_{\tau_1}^{\tau_2} q_p dt \right)_{\text{const}}} = k_6 \int_{\tau_1}^{\tau_2} N dt, \quad (5)$$

где N — электрическая мощность генератора, дж/сек; q_p — тепловая мощность реактора, дж/сек; k_6 — постоянный коэффициент.

Сущность способа (рис. 3) заключается в следующем: измеряется количество выработанной генератором электроэнергии $\left(\int_{\tau_1}^{\tau_2} N dt \right)$ за время расхода постоянного количества тепла, вырабатываемого реактором, при переменном цикле $\tau = \tau_2 - \tau_1$. Переменный цикл

изчисления к. п. д. имеет преимущества перед постоянным применением в настоящее время. Интеграторами тепловой мощности реактора служат описанные выше тепломеры, а электрической мощности — счетчик вырабатываемой генератором энергии типа САЗУ-670Д. Работа измерителя к. п. д. понятна из выражения (5), описывающего способ измерения к. п. д., и рис. 3, иллюстрирующего реализацию этого способа.

Разработанные методы и аппаратура позволяют автоматизировать наиболее трудоемкие расчетные операции,

повысить точность измерений, сократить численность групп, повысить экономичность установок за счет ведения режима по уточненной информации, оперативно получаемой от вычислительных устройств. Предложенные алгоритмы могут также использоваться в информационных и управляющих машинах для расчета рассмотренных в настоящей работе обобщенных параметров.

Поступило в Редакцию 6/IX 1971 г.

К вопросу о сравнении высокопоточных исследовательских реакторов

В. А. ЦЫКАНОВ

УДК 621.039.572

В работе [1] приведены критерии, которые можно использовать для сравнения высокопоточных реакторов различного типа. Один из них можно назвать «идеальным к. п. д.» реактора. Он представляет собой долю полезного используемых нейтронов от всех рожденных в реакторе нейтронов:

$$\eta_0 = \frac{\sum_{i=1}^n V_{\alpha i} \Sigma_{\alpha i} \bar{\Phi}_i}{7,5 \cdot 10^{16} Q}, \quad (1)$$

где $V_{\alpha i}$ — $\Sigma_{\alpha i}$ — соответственно экспериментальный объем, допустимое макроскопическое сечение поглощения нейтронов образцами и усредненный нейтронный поток для i -го экспериментального устройства реактора; Q — мощность реактора, $Mвт$; n — число экспериментальных устройств.

Так как расходы на облучение образцов зависят также от глубины выгорания ядерного горючего и коэффициента использования реактора во времени, то предельная величину η_0 умножить на допустимое относительное выгорание горючего α и коэффициент использования реактора K_{II} ($K_{II} = \frac{t_p}{t_R}$, где t_p — время работы реактора на номинальной мощности в отрезок календарного времени t_R). Чем выше произведение $\eta_0 \alpha K_{II}$, тем лучше реактор.

Недостаток такого сравнения заключается в том, что все три величины в этом произведении взаимосвязаны и любая из них может изменяться за счет других. При этом неясно, каким образом следует изменять эти величины для улучшения свойств реактора. Следовательно, с помощью предложенного метода сравнения можно определить только, какой из реакторов с фиксированными значениями η_0 , α и K_{II} лучше. Однако этот метод не дает возможности установить, в каком направлении следует изменять эти величины, чтобы улучшить свойства реактора.

В настоящей работе предлагается более общий способ сравнения высокопоточных реакторов, позволяющий также определить целесообразное изменение входящих в критерий сравнения параметров реактора. Как и в работе [1], здесь нельзя рекомендовать единственный критерий для сравнения, так как всегда приходится рассматривать два вопроса: скорость получения информации об облученных образцах и экономичность этого процесса. Первый вопрос по-прежнему определяется производительностью исследовательского

реактора, которая может быть представлена в виде

$$\Pi = \sum_{i=1}^n \bar{\Phi}_i \Sigma_{\alpha i} V_{\alpha i} \text{ [нейт/сек]}, \quad (2)$$

второй вопрос, ранее характеризовавшийся произведением $\eta_0 K_{II} \alpha$, может быть определен, исходя из стоимости полезного используемого нейтрона в том или ином реакторе. Действительно, более экономичным является тот реактор, в котором полезно используемый нейтрон дешевле.

В соответствии с работой [2] стоимость 1 ч работы исследовательского реактора при коэффициенте использования K_{II} определяется выражением

$$C = \frac{\Delta}{K_{II}} + \frac{gQ}{\alpha} C_r, \quad (3)$$

где Δ — полные эксплуатационные расходы реактора (кроме затрат на ядерное горючее), отнесенные к 1 ч календарного времени; C_r — цена 1 кг ядерного горючего в изделиях; g — расход ядерного горючего на 1 $Mвт \cdot ч$ тепловой энергии, $кг/Mвт \cdot ч$; Q выражена в мегаваттах. За 1 ч работы реактора полезно используется следующее количество нейтронов:

$$N = 3600\Pi = 3600 \sum_{i=1}^n \bar{\Phi}_i \Sigma_{\alpha i} V_{\alpha i}. \quad (4)$$

Следовательно, цена одного полезно используемого нейтрона равна

$$S = \frac{\Delta}{3600 K_{II} \sum_{i=1}^n \bar{\Phi}_i \Sigma_{\alpha i} V_{\alpha i}} + \frac{gQ C_r}{3600 \alpha \sum_{i=1}^n \bar{\Phi}_i \Sigma_{\alpha i} V_{\alpha i}}. \quad (5)$$

С учетом (1) равенство (5) можно переписать в виде

$$S = \frac{0,37 \cdot 10^{-20}}{\eta_0} \left[\frac{\Delta}{K_{II} Q} + \frac{g C_r}{\alpha} \right]. \quad (6)$$

Полученное соотношение полнее характеризует экономичность высокопоточного реактора и позволяет определять вклад физических характеристик реактора (через η_0 и α), а также постоянной и топливной составляющих стоимости эксплуатации.

Равенство (5) с учетом (2) принимает следующий вид:

$$S = \frac{2,78 \cdot 10^{-4}}{\Pi} \left[\frac{\Delta}{K_{II}} + \frac{gQ C_r}{\alpha} \right]. \quad (7)$$