

В. Н. БУКИН

НЕКОТОРЫЕ ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОГО ПРИРОСТА РАСХОДА ТОПЛИВА КОТЛОАГРЕГАТОВ С ПОМОЩЬЮ АВМ

При разработке систем автоматической оптимизации режима ТЭЦ одним из важнейших вопросов является изыскание простых и надежных методов корректировки энергетических характеристик котлоагрегатов с целью получения таких характеристик в процессе эксплуатации, которые соответствовали бы фактическому состоянию агрегатов. В процессе эксплуатации характеристики относительного прироста расхода топлива (ОПРТ) котлоагрегатов значительно изменяются во времени вследствие изменения агрегата в межремонтный период его работы (шлакование поверхностей нагрева и занос их летучей золой, выгорание зажигательных поясов, обгорание горелочных устройств, разуплотнение агрегата и увеличение присосов холодного воздуха и др.). По данным литературы отклонение действительных значений характеристик ОПРТ котлоагрегатов от расчетных может достигать до 20% [1]. Это приводит к необходимости измерения действительных значений ОПРТ в процессе эксплуатации, так как неучет реального режима может свести к нулю эффект оптимизации. Действительные значения характеристик ОПРТ определяются по методу прямого и обратного баланса [2, 3]:

По методу прямого баланса характеристики ОПРТ определяется как

$$b_s = \frac{\Delta B}{\Delta D} \quad (1)$$

где ΔB — приращение расхода топлива;

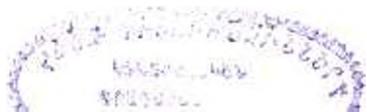
ΔD — приращение расхода пара.

Метод обратного баланса основан на определении к. п. д. как

$$\eta = 1 - \sum q_i \quad (2)$$

где q_i — потери ($i = 1, 2, \dots, 6$).

Относительный прирост является функцией к. п. д. и расхода тепла



$$b_k = 14.29 \left[\frac{1}{100 - \sum q_i} + \frac{Q \left(\sum \frac{dq_i}{dQ} \right)}{(100 - \sum q_i)^2} \right], \quad (3)$$

где Q — расход тепла.

Каждый из указанных методов имеет свои положительные и отрицательные качества и может быть использован в зависимости от конкретных условий. Однако низкая точность метода прямого баланса и сложность метода обратного баланса тормозят широкое внедрение средств автоматического измерения значений ОПРТ и темпе производства. В настоящей работе сделана попытка уменьшить объем оборудования и входящей информации для измерения действительных значений ОПРТ, а также решить вопрос повышения точности решения с помощью средств аналоговой техники.

Применяя метод возмущений к выражению (3), можно показать, что каждая существенная переменная может измеряться относительно некоторого номинального значения, которое может быть как фиксированным, так и переменным.

Пусть дано уравнение для b_k в общем виде

$$b_k = f \left(q_{20}, \dots, q_{n0}, Q, \frac{dq_2}{dQ}, \dots, \frac{dq_n}{dQ} \right). \quad (4)$$

Положим, что

$$\begin{aligned} q_2 &= q_{20} + \Delta q_2; \\ &\dots \dots \dots \\ q_n &= q_{n0} + \Delta q_n; \\ \frac{dq_2}{dQ} &= \frac{d(q_{20} + \Delta q_2)}{dQ}; \\ &\dots \dots \dots \\ \frac{dq_n}{dQ} &= \frac{d(q_{n0} + \Delta q_n)}{dQ}, \end{aligned} \quad (5)$$

где q_{20}, \dots, q_{n0} — потери тепла в статическом режиме (при испытаниях), $\Delta q_2, \dots, \Delta q_n$ — приращение потерь тепла, связанных с изменением состояния котлоагрегата во времени.

тогда

$$\begin{aligned} b_k &= f \left(q_{20}, \dots, q_{n0}, Q, \frac{dq_2}{dQ}, \dots, \frac{dq_n}{dQ} \right) = \\ &= f_0 \left(\Delta q_2, \dots, \Delta q_n, Q, \frac{d\Delta q_2}{dQ}, \dots, \frac{d\Delta q_n}{dQ}, q_{20}, \dots, q_{n0}, \frac{dq_{20}}{dQ}, \dots, \frac{dq_{n0}}{dQ} \right), \end{aligned}$$

где

$$f_0 = f \left(q_{20}, \dots, q_{n0}, Q, \frac{dq_{20}}{dQ}, \dots, \frac{dq_{n0}}{dQ} \right)$$

— исходное уравнение. Таким образом,

$$b_k = b_{k0} + \Delta b. \quad (6)$$

Уравнение (6) состоит из двух слагаемых. Первое слагаемое содержит номинальные значения переменных. Второе слагаемое содержит вариации переменных, которые являются разностями между фактическими и номинальными значениями возмущаемых величин; это слагаемое может также содержать и некоторые номинальные величины.

Последнее уравнение называется уравнением в возмущениях.

С учетом изложенного, вторую часть выражения (6) можно представить в виде

$$\Delta b = b_k - b_{k0} = 14,29 \left[\left(\frac{1}{\tau} - \frac{1}{\tau_0} \right) + \frac{Q \left(\frac{dq_2}{dQ} + \dots + \frac{dq_6}{dQ} \right)}{\tau^2} - \frac{Q \left(\frac{dq_{20}}{dQ} + \dots + \frac{dq_{60}}{dQ} \right)}{\tau_0^2} \right]. \quad (7)$$

где

$$\tau = \tau_k = \sum \Delta q_i \quad (i = 1, 2, \dots, 6);$$

τ_0 — к. п. д. котла-агрегата в статическом состоянии.

В выражении (7) согласно [3] q_2 в процессе эксплуатации меняется во времени, хотя зависимость q_2 от нагрузки котла очень близка к линейной. Зависимость потерь с механической неполнотой сгорания q_4 от расхода пара можно считать довольно устойчивым. Потери на отдачу тепла в окружающую среду q_5 и с физическим теплом шлака q_6 принимаются постоянными. Кроме того, можно считать установленным, что в современных котельных установках с хорошо отлаженной системой автоматики горение окиси углерода и уходящих газов отсутствует ($q_1 = 0$).

Таким образом, основным фактором, характеризующим изменение состояния котла во времени, является изменение потерь q_2 и q_4 , т. е. Δq_2 и Δq_4 , поэтому выражение (7) после ряда преобразований можно записать так:

$$\Delta b = 14,29 \left[\frac{\Delta q_2 - \Delta q_4}{\tau_0 (\tau_0 - \Delta q_2 - \Delta q_4)} + Q \frac{\left(\frac{d\Delta q_2}{dQ} + \frac{d\Delta q_4}{dQ} \right) - (2\tau_0 \Delta q - \Delta q^2) \frac{d\tau_0}{dQ}}{\tau_0^2 (\tau_0 - \Delta q_2 - \Delta q_4)^2} \right]. \quad (8)$$

Принимая согласно [3] Δq_2 и Δq_4 постоянным во всем диапазоне нагрузок, т. е. кривая перемещается параллельно вдоль оси ординат во времени, и пренебрегая Δq_4 по сравнению с Δq_2 ввиду малости Δq_4 по сравнению с Δq_2 , а также считая, что

будем иметь:

$$\Delta b = A(\Delta q_2 - Qk\Delta q_1), \quad (9)$$

где

$$A = \frac{14,29}{\gamma},$$

$$K = \frac{2}{v_0} \frac{dv_0}{dQ};$$

и соответственно:

$$b_k = b_{k0} + \Delta b_k = b_{k0} + A(\Delta q_2 - Qk\Delta q_1). \quad (10)$$

Выражение (10), как указывалось, состоит из двух частей, где b_{k0} — точное решение, полученное заранее с помощью цифровой машины, Δb_k — решение, которое получается на АВМ.

Величины $A = f_1(Q)$, $K = f_2(Q)$ не изменяются по времени, поэтому они могут быть вычислены заранее с достаточной точностью при разных значениях Q .

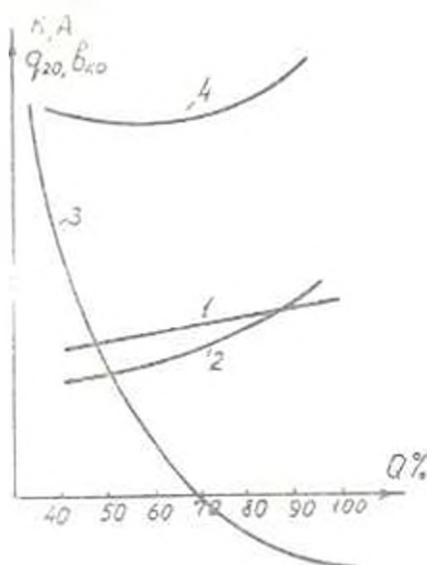


Рис. 1. Характер изменения зависимостей: 1 — $q_{21} = f_1(Q)$; 2 — $b_{k0} = f_2(Q)$; 3 — $K = f_2(Q)$; 4 — $A = f_1(Q)$.

Таким образом, при построении приростомера необходимо иметь заранее вычисленные значения:

$$A = \frac{14,29}{\gamma} = f_1(Q);$$

$$K = \frac{2}{v_0} \frac{dv_0}{dQ} = f_2(Q); \quad (11)$$

$$b_{20} = f_3(Q);$$

$$q_{20} = f_4(Q)$$

и вводить в АВМ значения Q и q_{20} , которые получаются в темпе производства.

Характер изменения зависимостей

$$A = f_1(Q); K = f_2(Q); b_{20} = f_3(Q); q_{20} = f_4(Q)$$

приведен на рис. 1.

Модель приростомера, полученная в результате реализации на серийной аналоговой машине типа МН-7 выражения (9), представлена на рис 2. Модель состоит: из датчиков q_2 и Q , которые измеряют эти значения в процессе эксплуатации; функциональных блоков $\Phi Б_1 - \Phi Б_4$, на которые занесены зависимости (11); трех сумматоров $\Sigma_1 - \Sigma_3$ и трех множительных блоков $МБ_1 - МБ_3$.

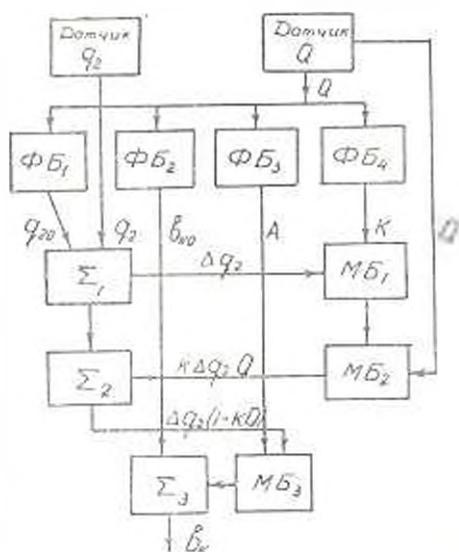


Рис. 2. Схема моделирования уравнения приростомера с помощью серийной АВМ типа МН-7.

Определение текущих значений b_x производится следующим образом. При задании текущего значения нагрузки котла Q с функциональных блоков $\Phi Б_1 - \Phi Б_4$ снимаются соответственно значения

$$q_{20}; b_x; A \text{ и } K.$$

Поступление текущего значения q_2 дает на выходе сумматора Σ_1 значение приращения Δq_2 , которое поступает на множительный блок $МБ_1$, одновременно на $МБ_1$ поступает значение K с функционального блока $\Phi Б_4$. На выходе $МБ_1$ таким образом имеем произведение $K \Delta q_2$, которое поступает на множительный блок $МБ_2$. Одновременно на $МБ_2$ поступают текущие значения Q . С выхода $МБ_2$ снимается произведе-

ние $K\Delta d, Q$. С выхода сумматора Σ_1 получается значение $\Delta q_2(1 - KQ)$, которое в множительном блоке $МБ_2$ реализуется в приращении Δb . В сумматоре Σ_2 вычисляется окончательно текущее значение относительного прироста b_p .

Эффективность метода можно продемонстрировать, приняв, что АВМ, решая уравнение (4), определяет b_k с ошибкой, составляющей 1% . Примем, что величина возмущения

$$\Delta b = 0,1 b_{k0}$$

Если бы на АВМ определялось непосредственно b_k , то в решении содержалась бы ошибка в 1% . Предположим, что известно точное значение b_{k0} , тогда

$$b_k = b_{k0} + \Delta b = b_{k0} + 0,1 b_{k0} = b_{k0}(1 + 0,1) = 1,1 b_{k0}$$

Решение, содержащее ошибку

$$\begin{aligned} b_k^* &= b_{k0} + \Delta b = 0,01 \Delta b = b_{k0} + 0,1 b_{k0} = 0,001 b_{k0} = \\ &= 1,1 b_{k0} = 0,001 b_{k0} = 1,1 b_{k0}(1 - 0,001). \end{aligned}$$

Так как

$$b_k = 1,1 b_{k0}$$

то

$$b_k^* = b_k(1 - 0,001)$$

и погрешность

$$\varepsilon_1 = \pm 0,001.$$

Без решения в приращениях

$$b_k^* = b_k(1 - 0,01) \quad \text{и погрешность} \quad \varepsilon_2 = \pm 0,01.$$

Соответственно

$$\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} = C = \frac{0,01}{0,001} = 10.$$

Резюмируя изложенное, отметим, что решение выражения (3) по методу возмущений позволяет повысить точность решения с помощью средств аналоговой техники. Члены выражения (3), не изменяющиеся во времени от изменения состояния котлоагрегата, исключаются и соответственно количество входящей информации для определения текущих значений b_k уменьшается. Определение значения b_k в приращениях сокращает объем оборудования при построении приростомера для котлоагрегата. Использование данной методики позволяет оценить влияние каждого из видов потерь на изменение ОПРТ котлоагрегата во времени.

