

Д. М. БАБАЯН

МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ПРИРОСТОВ КОТЛОАГРЕГАТОВ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Задача систематического вычисления и корректировки энергетических характеристик тепловых электростанций стала узким местом проблемы оптимизации режимов энергосистем. Рассмотрим возможные пути решения поставленной задачи построения эксплуатационных характеристик относительных приростов котлоагрегатов. Первый путь, на основе статистическо-вероятностной обработки большого количества материала испытаний, найти эмпирические зависимости режимных характеристик от всех независимых переменных. Однако отсутствие необходимого количества материалов испытаний по каждому типу оборудования значительно осложняет решение этой задачи. Второй путь — это построение характеристики относительного прироста по прямому балансу котла.

Такое решение связано с необходимостью широкого варьирования нагрузкой котлоагрегата, что практически весьма трудно осуществимо. Наиболее реальным представляется возможность построения динамических характеристик относительных приростов котлов методом корректировки существующих статистических характеристик с учетом реальных условий эксплуатации, изменения которых во времени носят закономерный характер. Предлагаемая методика основана на использовании уравнения обратного баланса котла [1]

$$B = \frac{1}{\gamma} (Q + \Sigma Q_{\text{пот.}}), \quad (1)$$

где B — расход топлива $т. у. т. час$;

Q — нагрузка котла $мгккал/час$;

$\Sigma Q_{\text{пот.}}$ — суммарные потери тепла $мгккал/час$.

Подставив в уравнение (1) выражение суммарных потерь:

$$\Sigma Q_{\text{пот.}} = Q \frac{\sum_{k=2}^6 q_k}{100 - \sum_{k=2}^6 q_k} \quad (2)$$

и произведя некоторые преобразования, получим значение относительного прироста котла:

$$b_k = 14,29 \left[\frac{1}{100 - \sum_{k=2}^6 q_k} + \frac{Q \left(\frac{d \sum_{k=2}^6 q_k}{dQ} \right)}{\left(100 - \sum_{k=2}^6 q_k \right)^2} \right] \quad (3)$$

где q_2 — потеря тепла с уходящими газами, в процентах;

q_3 — потеря тепла от химической неполноты сгорания топлива, в процентах;

q_4 — потеря тепла от механической неполноты сгорания топлива, в процентах;

q_5 — потеря тепла от наружного охлаждения котлоагрегата, в процентах;

q_6 — потеря с физическим теплом шлаков, в процентах.

Рассматривая технологический процесс получения тепла в котлоагрегатах во времени, приходим к выводу, что потеря тепла с уходящими газами есть функция времени эксплуатации агрегата, связанная с конкретно изменившимися условиями работы оборудования. Потеря тепла от механической неполноты сгорания непосредственно во времени не изменяется, однако ее изменение связано с изменением потери q_2 . Анализ факторов, влияющих на динамику потерь q_2 , q_3 и q_6 приводит к выводу о том, что изменения этих потерь во времени носят больше случайный, чем закономерный характер. Так как построение динамических характеристик основано только на учете закономерных факторов, то условно принимаемая статичность потерь q_2 , q_3 и q_6 вполне допустима.

Потеря тепла с уходящими газами может быть подсчитана по эмпирической формуле М. Б. Равича [2]

$$q_2^{ан} = \frac{t_{yx} - t_{x, в.}}{t_{max}} \left[\epsilon' + \frac{1}{\gamma} (a_{yx} - 1) BK \right] 100, \quad (4)$$

где величины γ , t_{max} и B зависят от сорта топлива, а коэффициенты ϵ' и K от сорта топлива и температуры уходящих газов.

Значение t_{yx} — для данной нагрузки непосредственно регистрируется на котле, что касается величины a_{yx} , то ее можно определить, исходя из процентного содержания кислорода в продуктах сгорания:

$$a_{yx} = \frac{21}{21 - O_2}, \quad (5)$$

где O_2 — процентное содержание кислорода в уходящих газах, которое фиксируется кислородомерами котла.

Для современных мощных котлоагрегатов с небольшими потерями тепла в окружающую среду температура забираемого холодного

воздуха приближается к наружной независимо от времени года, так как подогрев холодного воздуха в здании котельной за счет возврата части тепла q_2 невелик.

Построение действительной характеристики потерь с уходящими газами производится следующим образом. Пусть в статике имеем характеристику потерь $q_2^{ст} = q_2^{ст}(Q)$, снятую сразу после капитального ремонта. В результате работы котла происходит закономерный процесс роста температуры уходящих газов и коэффициента избытка воздуха за котлом. Это приводит к росту во времени ординат кривой $q_2^{ст} = q_2^{ст}(Q)$. Так как потеря q_2 — есть возрастающая функция нагрузки, то и изменение ее будет также возрастать с ростом нагрузки. Для наглядности произведем графическое построение динамической характеристики потери тепла с уходящими газами. На рис. 1. $q_2^{ст}$ — за-

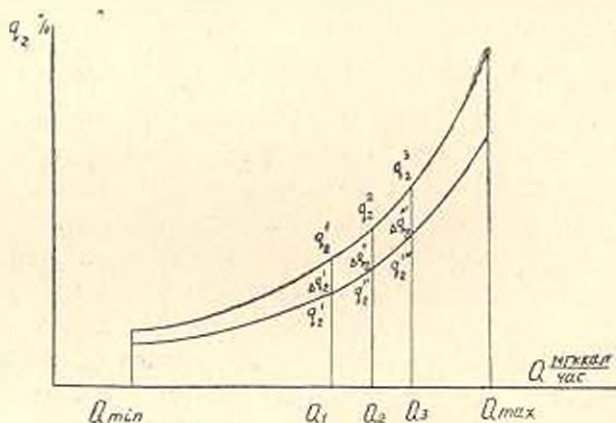


Рис. 1.

данная статическая характеристика потерь с уходящими газами. Здесь $q_2^{д}$ — динамическая характеристика тех же потерь, Q — рабочая нагрузка котла, Δq_2^1 — изменение потери q_2 .

Можно принять, что приращение ординаты кривой $q_2^{ст} = q_2^{ст}(Q)$ во времени пропорционально изменению самой функции. Тогда при изменении нагрузки от Q_1 до Q_2 имеем:

$$\Delta q_2^1 = \Delta q_2^1 \cdot \frac{q_2^1}{q_2^1}, \text{ где}$$

$$\Delta q_2^1 = q_2^1 - q_2^1 \text{ и } \Delta q_2^2 = q_2^2 - q_2^1.$$

$$\text{Поэтому } q_2^2 = q_2^1 \cdot \frac{q_2^2}{q_2^1}.$$

Обозначим $q_2^2/q_2^1 = k_1$, тогда $q_2^2 = k_1 q_2^1$.

По аналогии в общем виде получим:

$$q_2^{ст} = k_1 q_2^{ст}(Q). \quad (6)$$

Тогда по основанию (6) и принятых выше обозначений получим

$$\Delta q_2 = (k_1 - 1) q_2^{cr}(Q). \quad (7)$$

В результате роста потери q_2 за период эксплуатации возрастает и расход топлива. Дополнительный, по сравнению со статическим режимом, расход топлива приводит к увеличению потери q_1 , в результате роста скоростей потоков смеси воздуха и топлива так же, как это имеет место при росте нагрузки. В настоящее время отсутствуют аналитические зависимости потери q_1 от аэродинамики скоростей потоков. Поэтому изменение потери q_1 определяется косвенным путем.

Перерасход топлива ΔB , связанный с увеличением потерь с уходящими газами, выразится так:

$$\Delta B = 1,429 \cdot 10^{-6} (k_1 - 1) \cdot Q_0^n B q_2^{cr}(Q). \quad (8)$$

Если в статическом режиме к расходу топлива при данной нагрузке прибавить величину ΔB , найденную по формуле (8), то это привело бы к росту нагрузки на некоторую величину ΔQ .

Расходные характеристики котлоагрегатов $B = B(Q)$ близки к прямым, тогда из исходного режима имеем:

$$\Delta Q = \frac{\Delta B}{k_2} = \frac{1,429}{k_2} \cdot 10^{-6} (k_1 - 1) Q_0^n B \cdot q_2^{cr}(Q) = k_2 B q_2^{cr}(Q), \quad (9)$$

где k_2 — угол наклона расходной характеристики к оси нагрузок.

Для увеличения точности при значительном отклонении расходной характеристики от прямой последняя может быть заменена несколькими участками прямой, для которых величина K_2 — постоянна.

С точки зрения влияния аэродинамики скоростей потоков топлива и воздуха в котлоагрегате на величину q_1 имеем два аналогичных режима. Действительное значение потери тепла с механическим недожогом q_2^{cr} в точке Q равно потере тепла с q_1^{cr} в точке $Q + \Delta Q$ исходного режима. Причем это справедливо для любого значения нагрузки в интервале от Q_{min} до Q_{max} .

Аналитическое выражение потери тепла с механическим недожогом, в результате аппроксимирования кривой $q_1^{cr} = q_1^{cr}(Q)$ может быть с достаточной точностью выражено полиномом второй степени

$$q_1^{cr} = a_0 + a_1 Q + a_2 Q^2, \quad (10)$$

где a_0, a_1, a_2 — параметры уравнения.

Выражения тех же потерь во времени примет вид:

$$q_1^{an} = a_0 + a_1 (Q + \Delta Q) + a_2 (Q + \Delta Q)^2. \quad (11)$$

В силу (10) и (11) изменения потерь во времени

$$\Delta q_1 = a_1 \Delta Q + 2a_2 Q \Delta Q + a_2 \Delta Q^2. \quad (12)$$

С учетом (9), (12) можем переписать в виде

$$\Delta q_1 = \varphi_2(Q). \quad (13)$$

Выразим зависимость изменения относительного прироста расхода топлива от изменения во времени потерь q^2 и q_3 . Напишем выражение относительного прироста для исходного статического режима

$$b_{\text{ст}} = 14,29 \left[\frac{1}{\gamma_{\text{ст}}} + \frac{Q \left(\frac{dq_2^{\text{ст}}}{dQ} + \frac{dq_3}{dQ} + \frac{dq_4^{\text{ст}}}{dQ} + \frac{dq_5}{dQ} + \frac{dq_6}{dQ} \right)}{\gamma_{\text{ст}}} \right] \quad (14)$$

С учетом динамики будем иметь

$$b_{\text{дин}} = 14,29 \left[\frac{1}{\gamma_{\text{дин}}} + \frac{Q \left(\frac{dq_2^{\text{дин}}}{dQ} + \frac{dq_3}{dQ} + \frac{dq_4^{\text{дин}}}{dQ} + \frac{dq_5}{dQ} + \frac{dq_6}{dQ} \right)}{\gamma_{\text{дин}}} \right] \quad (15)$$

Обозначим

$$\left(\frac{dq_2^{\text{дин}}}{dQ} - \frac{dq_2^{\text{ст}}}{dQ} \right) + \left(\frac{dq_4^{\text{дин}}}{dQ} - \frac{dq_4^{\text{ст}}}{dQ} \right) = (k_1 - 1) q_2^{\text{ст}}(Q) + \varphi_2(Q) = \varphi_4(Q); \quad (16)$$

$$\gamma_{\text{дин}} = \gamma_{\text{ст}} - \Delta q_2 - \Delta q_4 = \gamma_{\text{ст}} - \Delta q. \quad (17)$$

В силу (14) – (17) после преобразований получим

$$\begin{aligned} \Delta b &= b_{\text{дин}} - b_{\text{ст}} = \\ &= 14,29 \left[\frac{\Delta q}{\gamma_{\text{ст}} (\gamma_{\text{ст}} - \Delta q)} + Q \frac{\gamma_{\text{ст}} \varphi_4(Q) - (2\gamma_{\text{ст}} \Delta q - \Delta q^2) \frac{d\gamma_{\text{ст}}}{dQ}}{\gamma_{\text{ст}} (\gamma_{\text{ст}} - \Delta q)^2} \right] \end{aligned} \quad (18)$$

Уравнение (18) позволяет построить характеристики относительных приростов параметров котлов в любой момент времени, что увеличивая точность, повышает конечный эффект оптимизации режимов энергосистем.

Рассмотрим пример, иллюстрирующий предлагаемый способ расчета.

Исходные данные: топливо-газ;

$$\alpha_{\text{вх}} = 1,94; t_{\text{гр}} = 150^\circ \text{C при } Q = 55,4 \text{ мккал/час.}$$

Остальные данные приведены в табл. 1.

Таблица 1

Паропроизводительность т/час	70	77	88	91
Теплопроизводительность мккал/час	46,2	50,8	55,4	60,06
Теплотворная способность топлива ккал	8400	8400	8400	8400
Расход топлива т, у, т/час	7,1	7,7	8,3	8,9
$\eta_{\text{п.л.}}^{\circ} \Delta$	92,3	92,4	92,5	92,6
Потери тепла $q_2^{\circ} \Delta$	4,7	4,75	4,9	5,25
Потери тепла $q_4^{\circ} \Delta$	1,2	1,25	1,37	1,52
Температура уходящих газов	118	119	122	124
Коэффициент избытка воздуха	1,38	1,38	1,39	1,39
Относительный прирост мккал/т, у, т.	0,147	0,149	0,150	0,155

По формуле (4) находим:

$$q_2^{\circ} = \frac{150 - 30}{2050} \left[0,825 + \frac{0,94}{0,9} 0,78 \cdot 0,81 \right] 100 = 8,69\%.$$

По формуле (6)

$$k_1 = \frac{q_2^{cm}}{q_1^{cm}} = \frac{8,69}{4,9} = 1,77.$$

По методу наименьших квадратов и табличных данных к. п. д. и потерь тепла. получим:

$$\eta_{cm} = 92,2 - 5,733 \cdot 10^{-2} Q + 2,0903 \cdot 10^{-3} Q^2 - 1,7096 \cdot 10^{-5} Q^3;$$

$$q_2^{cm} = 4,7 + 9,446 \cdot 10^{-2} Q - 4,153 \cdot 10^{-3} Q^2 + 4,55 \cdot 10^{-5} Q^3;$$

$$q_1^{cm} = 1,2 + 1,446 \cdot 10^{-2} Q - 8,614 \cdot 10^{-4} Q^2 + 1,181 \cdot 10^{-5} Q^3.$$

Дальнейший расчет сведен в табл. 2.

Таблица 2

Значения величин	Размеры	Нагрузка котлоагрегата в мгкал/час			
		46,2	50,8	55,4	60,06
Δq_2	$\frac{q}{a}$	3,62	3,66	3,77	4,04
ΔB	т. у. т/час	0,31	0,34	0,37	0,43
ΔQ	мгкал/час	2,015	2,21	2,405	2,80
Δq_1	$\frac{q}{a}$	0,018	0,056	0,071	0,119
Δq	$\frac{q}{a}$	3,638	3,7157	3,841	4,159
$\eta_c(Q)$	—	0,00563	0,0249	0,0492	0,0764
Δb	мгкал/т. у. т.	0,00665	0,00860	0,0115	0,0158
$zb = \frac{b_{cm}}{b_{ст}} \cdot 100$	$\frac{q}{a}$	4,5	5,8	7,7	10,2

Приведенный пример показывает, что учет параметров состояния оборудования приводит к существенным изменениям расчетных характеристик.

АрмНИИЭ

Поступило 13.XI.1965

Ջ. Մ. ԲԱՐԱՅԱՆ

ՋԵՐԲԱՅԻՆ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՅԱՆՆԵՐԻ ԿԱԹՈՍԱՅԱԿԱՆ ԱԳՐԻԳԱՏՆԵՐԻ
ՋԱՐԱՆԵՐԱԿԱՆ ԱՏՆԵՐԻ ԴԻՆԱՄԻԿ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԻ ԿԱՌՈՒՑՄԱՆ ՄԵԹՈԴ

Ա. մ. փ. ո. փ. ո. մ.

Հողվածում առաջարկվում է ռեժիմների օպտիմիզացիայի համար ցերմա-էլեկտրակայանների հաշվային դինամիկ բնութագրերի կառուցման մեթոդ, որոնք ժամանակի քննադրում պղպի փոփոխություն են կրում:

Կաթսայական աղբղատների դինամիկ բնութագրերի օպտիմալ աճների կառուցման հնարավոր ճանապարհների վերլուծությունը ցույց տվեց առաջարկվող մեթոդի ուղիղնությունը, որը հիմնված է կաթսայի հակադարձ հավասարակշռության հավասարման օգտագործման վրա:

Կաթսայական ագրեգատի հարաբերական ածի դինամիկ բնութագիրը ստացվում է ստատիկ բնութագրի ճշգրտման հիման վրա, ըստ պարամետրերի վիճակի կրած փոփոխությունը ժամանակի ընթացքում. ըստ որում այդ ճշտումը հնարավոր է կատարել ունենալով միայն այն տեղեկությունները, որոնք առկա են աշխատող ագրեգատների համար: Լրացուցիչ տեղեկություններ այդ նպատակի համար չեն պահանջվում:

Կաթսայական ագրեգատների հարաբերական ածերի դինամիկ բնութագրերի կառուցումը մեծացնում է ելման ինֆորմացիայի ճշտությունը և դրանով իսկ բարձրացնում էներգոսխմանների ռեժիմների օպտիմիզացիայի վերջնական էֆեկտը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Горнштейн В. М. Наиболее выгоднейшее распределение нагрузок между параллельно работающими электростанциями. М., 1949.
2. Равич М. Б. Упрощенная методика теплотехнических расчетов. М., 1964.