

## ЭКОНОМИЯ ТОПЛИВА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОТЕРИ ТЕПЛА В КОНДЕНСАТОРЕ ТУРБОУСТАНОВКИ ДЛЯ ПОДОГРЕВА ПОДПИТОЧНОЙ ВОДЫ ТЕПЛОСЕТИ

В. А. БРАГИН, В. И. БЕСПАЛОВ, Л. А. БЕЛЯЕВ,  
Н. Н. ГАЛАШОВ

(Представлена научным семинаром кафедры ТЭУ)

Для повышения экономичности ТЭЦ стремятся использовать потери тепла в конденсаторах теплофикационных турбоустановок, вызванные наличием вентиляционных пропусков пара в конденсаторы. Для этого в конденсаторах ряда турбин (Т-50-130, Т-100-130) предусмотрены специальные встроенные пучки, у других машин используются сами конденсаторы после незначительной реконструкции. Чаще всего указанная потеря исключается за счет охлаждения конденсатора или встроенного пучка обратной сетевой водой или при значительных водоразборах из сети подпиточной водой теплосети. По условиям максимально допустимой температуры выхлопного патрубка турбины наиболее целесообразно производить охлаждение подпиточной водой теплосети. При этом удается использовать потери тепла в конденсаторах ряда машин. Возможность охлаждения обратной сетевой водой уже, и они уменьшаются по мере снижения температуры наружного воздуха, так как растет температура обратной сетевой воды. Вопросу определения экономии топлива при исключении потерь тепла в конденсаторах за счет нагрева сетевой воды посвящен ряд работ [1, 2]. Ниже рассматривается изменение экономичности теплофикационной турбоустановки при использовании потери тепла в конденсаторе для подогрева подпиточной воды теплосети.

При исключении потери тепла в конденсаторе машина полностью начинает работать по тепловому графику. Изменение экономичности станции определяется при условии постоянного отпуска потребителям электро- и теплоэнергии. Изменение мощности турбоустановки компенсируется за счет мощности замещающей ГРЭС. Схема основных потоков тепла в турбоустановке при охлаждении конденсатора циркуляционной водой показана на рис. 1, а; при охлаждении подпиточной водой теплосети — на рис. 1, б.

В случае охлаждения конденсатора циркуляцией расход тепла на турбоустановку будет равен

$$Q_{\text{ту}} = Q_{\text{т}} + 860 N_{\text{э}} + Q_{\text{к}} + Q_{\text{п}} \quad (1)$$

Здесь  $Q_{\text{т}}$  — отпуск тепла из регулируемого отбора потребителям;  
 $N_{\text{э}}$  — мощность на клеммах генератора;  
 $Q_{\text{к}}$  — потеря тепла в конденсаторе (при полностью закрытой поворотной диафрагме);

$Q^m$  — механические потери турбины, генератора и потери тепла элементами турбинной установки.

При замене циркуляционной подпиточной воды теплосети и постоянной нагрузке  $Q_T$  происходит ухудшение вакуума в конденсаторе, сокращение расхода пара в отбор и на турбину. Расход тепла на турбоустановку в этом случае составит:

$$Q_{\text{ту1}} = Q_{\text{т1}} + Q_{\text{и}} + 860 N_{\text{з1}} + Q_{\text{п1}} = Q_T + 860 N_{\text{з1}} + Q_{\text{п1}}. \quad (2)$$

Здесь  $Q_k$  — тепло, использованное для подогрева подпиточной воды теплосети в конденсаторе.

Индекс «1» в (2) показывает, что величина относится к режиму турбоустановки при охлаждении конденсатора подпиточной водой.

В (1) и (2) можно с достаточной степенью точности считать, что  $Q_{\text{п}} \approx Q_{\text{п1}}$ . Тогда сокращение расхода тепла на турбоустановку будет равно:

$$\Delta Q_{\text{ту}} = Q_{\text{ту}} - Q_{\text{ту1}} = Q_k + 860 (N_{\text{з}} - N_{\text{з1}}). \quad (3)$$

Уменьшение мощности турбины происходит вследствие уменьшения теплоперепада части низкого давления ( $p_k < p_{k1}$ ), сокращения расхода пара в регулируемый отбор и на регенерацию.

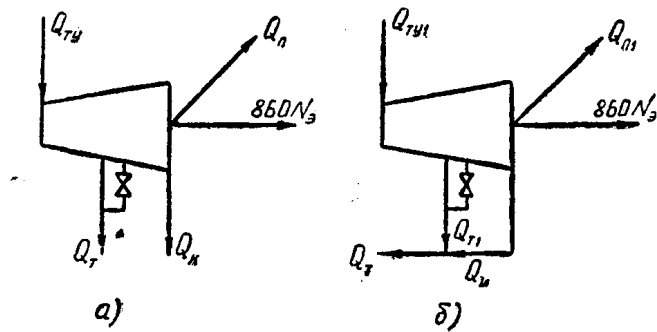


Рис. 1

Часовая экономия в тепле по турбоустановке с учетом замещающей мощности составит:

$$\Delta Q_{\text{эт}} = \Delta Q_{\text{ту}} - q_3 (N_{\text{з}} - N_{\text{з1}}) = Q_k - (q_3 - 860) (N_{\text{з}} - N_{\text{з1}}). \quad (4)$$

Считая механические потери турбины и потери генератора при незначительном  $\Delta N_{\text{з}} = N_{\text{з}} - N_{\text{з1}}$  примерно постоянными, уравнение (4) представим так:

$$\Delta Q_{\text{эт}} = Q_k - (q_3 - 860) (\Delta N_1 + \Delta N_2 + \Delta N_3). \quad (5)$$

Здесь  $q_3$  — удельный расход тепла на выработку электроэнергии на замещающей ГРЭС;

$\Delta N_1$ ,  $\Delta N_2$  и  $\Delta N_3$  — изменения мощности турбины соответственно из-за уменьшения теплоперепада части низкого давления, из-за сокращения расхода пара в регулируемый отбор и на регенерацию.

Тепло, использованное для подогрева подпиточной воды в конденсаторе, можно представить так:

$$Q_{\text{и}} = Q_k + 860 (\Delta N_1 \pm \Delta N_4) - \Delta Q_k, \quad (6)$$

где  $\Delta N_4$  — изменение мощности потока пара, проходящего в конденсатор, в части высокого давления турбины. Знак  $\Delta N_4$  определяется направлением изменения внутреннего относительного к. п. д. части высокого давления. Если к. п. д. увеличивается с уменьшением расхода пара через турбину, то необходимо вычитать  $\Delta N_4$ , если уменьшается, то надо прибавлять  $\Delta N_4$ . При небольшом изменении расхода пара через часть высокого давления можно с достаточной степенью точности считать к. п. д. для этой части турбины неизменным, и тогда  $\Delta N_4 = 0$ . В дальнейших рассуждениях принимается  $\Delta N_4 \approx 0$ .

$$\Delta Q_k = D_k(\bar{t}_{k1} - \bar{t}_k).$$

Здесь  $D_k$  — вентиляционный пропуск пара в конденсатор;  
 $\bar{t}_k$  и  $\bar{t}_{k1}$  — энтальпии конденсата на выходе из конденсатора при его охлаждении циркуляцией и подпиточной водой теплосети.

Изменение мощности турбины  $\Delta N_3$  происходит из-за изменения параметров пара в камерах нерегулируемых отборов и расхода пара в эти отборы, а также вследствие изменения давления в конденсаторе. Основное влияние при постоянном пропуске пара в конденсатор оказывает здесь изменение расхода пара в отбор, поэтому можно выразить  $\Delta N_3$  через  $\Delta N_2$  как

$$\Delta N_3 = \alpha_p \cdot \Delta N_2.$$

Обозначая через  $\varepsilon$  — удельную выработку электроэнергии на базе тепла, отпущенного тепловым потребителям из регулируемого отбора, можно записать

$$\Delta N_2 + \Delta N_3 = \Delta N_2(1 + \alpha_p) = \varepsilon(1 + \alpha_p)Q_n. \quad (7)$$

Тогда с учетом (6) и (7) уравнение (5) после преобразований примет вид:

$$\Delta Q_{эт} = Q_k[1 - \varepsilon(1 + \alpha_p)(q_3 - 860)] - \Delta N_1 \cdot [1 + 860\varepsilon(1 + \alpha_p)](q_3 - 860) + \Delta Q_k \varepsilon(1 + \alpha_p)(q_3 - 860). \quad (8)$$

Значение  $\Delta N_1$  для установки наиболее точно можно определить по опытной кривой  $\Delta N_1 = f(p_k)$  или в соответствии с рекомендациями, изложенными в [2, 3].

При работе с пиковой установкой и повышенным давлением в камере регулируемого отбора расход пара в конденсатор при закрытой поворотной диафрагме увеличивается, поэтому возрастает  $Q_k$ . Часовую экономию в расходе тепла на турбоустановку можно и в этом случае определить по (8). Необходимо только учесть изменение  $Q_k$ ,  $\varepsilon$ ,  $\alpha_p$ ,  $\Delta N_1$  и  $\Delta Q_k$ , а также источник питания паром пиковой подогревательной установки. Часовую экономию в этом режиме обозначим через  $\Delta Q'_{эт}$ .

Экономия топлива за период работы без пикового подогревателя (первый период) будет равна [1]

$$\Delta B_{ту} = \frac{\int_0^{\tau_1} \Delta Q_{эт} \cdot d\tau}{7000 \cdot \eta_{ку}}, \quad (9)$$

где  $\tau_1$  — суммарная длительность первого периода;

$\eta_{ку}$  — средний к. п. д. котельной установки за этот период.

Аналогично рассчитывается экономия топлива за второй период,

когда включен пиковый подогреватель и давление в камере регулируемого отбора повышено:

$$\Delta B'_{\text{ту}} = \frac{\int_0^{\tau_2} \Delta Q'_{\text{эт}} \cdot d\tau}{7000 \cdot \eta_{\text{кв}}}, \quad (10)$$

где  $\tau_2$  — суммарная длительность второго периода;

$\eta_{\text{кв}}$  — средний к. п. д. котельной установки за этот период.

Во втором периоде при незначительном колебании расхода подпиточной воды теплосети и ее исходной температуры возможности использования тепла конденсаторов нескольких машин станции уменьшаются.

Экономия топлива по (9) и (10) не учитывает изменения в расходе электроэнергии на собственные нужды. Изменение в расходе топлива, вызванное изменением в затрате энергии на собственные нужды, для каждого периода работы может быть подсчитано согласно [1] по формулам

$$\Delta B_{\text{сн}} = \frac{\int_0^{\tau_1} \Delta N_{\text{сн}} \cdot q_3 \cdot d\tau}{7000 \cdot \eta_{\text{кв}}}, \quad (11)$$

$$\Delta B'_{\text{сн}} = \frac{\int_0^{\tau_2} \Delta N'_{\text{сн}} \cdot q_3 \cdot d\tau}{7000 \cdot \eta_{\text{кв}}}. \quad (12)$$

Здесь  $\Delta N_{\text{сн}}$  и  $\Delta N'_{\text{сн}}$  — изменение мощности собственных нужд соответственно в первый и второй периоды. Эти изменения определяются конкретными условиями станции.

Если подогрев подпиточной воды теплосети производится последовательно в конденсаторах нескольких машин ТЭЦ, то для каждой из них по (9) и (10) подсчитываются соответствующие экономии топлива. Изменения расхода топлива по (11) и (12) удобнее подсчитывать сразу для всей ТЭЦ.

Суммарная экономия топлива по ТЭЦ будет равна

$$\Delta B_{\text{тэц}} = \sum_1^{n_1} \Delta B_{\text{ту}i} + \sum_1^{n_2} \Delta B'_{\text{ту}i} \pm \Delta B_{\text{сн}} \pm \Delta B'_{\text{сн}}. \quad (13)$$

Здесь  $n_1$  и  $n_2$  — число турбоустановок, в конденсаторах которых последовательно нагревается подпиточная вода теплосети в первый и второй периоды. В общем случае может быть  $n_1 = n_2$  или  $n_1 > n_2$ .

Расход электроэнергии на собственные нужды в зависимости от ряда факторов и конкретной схемы ТЭЦ может увеличиваться или уменьшаться при использовании потерь тепла в конденсаторах.

Из (8) относительная экономия тепла на турбоустановку будет равна

$$\Delta q_{\text{эт}} = 1 - \varepsilon(1 + \alpha_p)(q_3 - 860) - \frac{\Delta N_1}{Q_{\text{к}}} [1 + 860 \varepsilon(1 + \alpha_p)](q_3 - 860) + \frac{\Delta Q_{\text{к}}}{Q_{\text{к}}} \varepsilon(1 + \alpha_p)(q_3 - 860). \quad (14)$$

Из (14) следует, что при прочих одинаковых условиях относительная экономия будет тем больше, чем меньше  $\Delta N_1$ —изменение мощности части низкого давления при увеличении давления в конденсаторе, чем больше  $\Delta Q_k$ —возврат тепла с конденсатом в схему турбоустановки, чем меньше  $\varepsilon$ —удельная выработка электроэнергии на базе регулируемого отбора или выше давление в камере регулируемого отбора, чем меньше изменение расхода пара в регулируемый отбор и повышение давления в конденсаторе сказывается на выработке мощности за счет регенеративных отборов (меньше  $\alpha_p$ ), чем меньше  $q_3$ —удельный расход тепла на выработку электроэнергии на замещающей ГРЭС.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Е. И. Бененсон и Г. Д. Баринберг. Экономия топлива при исключении потерь тепла в конденсаторе теплофикационных турбоустановок. «Теплоэнергетика», 1970, № 4.
  2. Г. А. Шапиро, М. А. Трубилов, Ю. В. Захаров, В. Ф. Гуторов и Д. В. Михайлов. Определение экономичности работы турбин Т-50-130 с трехступенчатым подогревом сетевой воды. «Теплоэнергетика», 1971, № 11.
  3. Г. А. Шапиро, М. А. Трубилов, Ю. В. Захаров, В. Ф. Гуторов и И. И. Бойко. Экспериментальное исследование потерь мощности на трение и вентиляцию в турбине УТМЗ типа Т-50-130. «Теплоэнергетика», 1972, № 1.
-