

## ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

УДК 621.311.25

А.Д. Качан, канд. техн. наук, доцент,  
А.М. Леонков, канд. техн. наук, профессор,  
В.М. Сыропушинский,  
Б.В. Яковлев, канд. техн. наук

### МЕТОДИКА ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНЫХ РАСЧЕТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТУРБИН ТИПА ТК ДЛЯ АТЭЦ

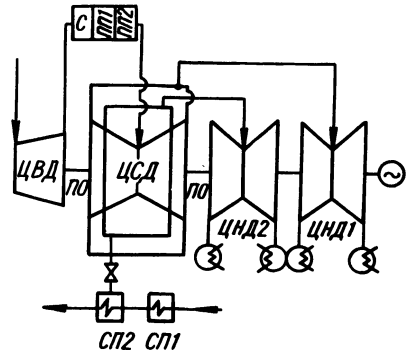
С учетом целесообразности поддержания номинальной нагрузки реактора в течение всего года для АТЭЦ наиболее предпочтительными являются турбины теплофикационно-конденсационные типа ТК с большой привязанной конденсационной мощностью [1,2]. Турбины ТК предполагается выполнять без регулирующих органов перед цилиндрами низкого давления (ЦНД). Это позволит исключить дросселирование конденсационных пропусков пара, что особенно важно для АТЭЦ ввиду низких начальных параметров пара и значительной доли мощности ЦНД.

Эффективность турбин с нерегулируемыми отборами пара для подогрева сетевой воды при работе на разных режимах будет определяться расчетными сопротивлениями ЦНД и промежуточного отсека (ПО). Расчетное сопротивление этих отсеков определяет график подогрева сетевой воды, величину отпуска тепла от турбины, экономичность теплофикационной выработки электроэнергии, достигаемую величину коэффициента теплофикации, и в целом расчетные затраты на АТЭЦ. Поэтому выбор расчетных характеристик турбин ТК (выбор сопротивления ЦНД турбины, которое при данном давлении в конденсаторе характеризуется зависимостью начального давления от расхода пара в конденсатор, и выбор расчетного теплоперепада на отсек, при котором обеспечивается минимум потерь в ступенях этого отсека на нерасчетных режимах) должен основываться на подборе сопротивлений ЦНД и ПО из условия минимума расчетных затрат

$$Z = Z_{\text{зам}}^T b_Q^{\text{ПВК}} Q_{\text{пик}}^{\text{год}} + (p_n + p_{\text{э}}) (K_{\text{уд}}^{\text{ПВК}} Q_{\text{пик}}^{\text{ч}} + K_{\text{уд}}^{\text{Т.С}} Q_{\text{турб}}^{\text{ч}} + Z_{\text{зам}}^{\text{ЭЭ}} \Delta \text{Э} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где капитальные вложения в АТЭЦ приняты постоянными;  $Z^1_{зам}$  - замыкающие затраты на органическое топливо, руб./ту.т;  $b_{ПВК}$  - расход топлива на один отпущенный ГДж от пиковой котельной, ГДж;  $K_{ПВК}^{уд}$  - удельные капиталовложения в пиковую котельную, руб./ГДж;  $Q_{ч}^{уд}$  - часовой отпуск тепла от пиковой котельной, ГДж;  $K_{Т.С}^{уд}$  - удельные капиталовложения в тепловые сети, руб./ГДж;  $Q_{турб}^{уд}$  - максимальный часовой отпуск тепла от турбины, ГДж;  $Z_{зам}^{ЭЭ}$  - замыкающие затраты в электроэнергию, руб./МВт.ч;  $\Delta \mathcal{E} = \mathcal{E}_{год}^{max} - \mathcal{E}_{год}$  - разность между годовой выработкой электроэнергии при работе АТЭЦ в конденсационном режиме и действительной величиной ее, МВт.ч.

Рис. 1. Схема турбоустановки типа ТК: ЦВД – цилиндр высокого давления; ЦСД – цилиндр среднего давления; СП1 и СП2 – соответственно нижний и верхний сетевой подогреватель; С – сепаратор; ПП1 и ПП2 – промежуточные пароперегреватели первой и второй степени соответственно.



За основу принята схема турбоустановки ТК, предложенная УТМЗ (рис. 1). Расчет ведется в следующей последовательности. Задаваясь различными сочетаниями сопротивлений ЦНД1, ЦНД2, ПО для заданного температурного графика теплосети и заданного максимального отпуска тепла от АТЭЦ, определяем давление в отопительных приборах турбины, действительный график подогрева сетевой воды в сетевых подогревателях, конденсационную и теплофикационную выработку электроэнергии, годовой отпуск тепла от ПВК и их мощность (значение  $\alpha$  ТЭЦ).

Сопротивление отсеков характеризуется значениями:

$$k_1 = \frac{G_{ЦНД1}^{исх}}{P_{от1}^{исх}} ; \quad (2)$$

$$k_2 = \frac{G_{ЦНД2}^{исх}}{P_{от2}^{исх}} ; \quad (3)$$

$$k_{\text{по}} = \frac{(p_{\text{от } 2}^{\text{исх}})^2 - (p_{\text{от } 1}^{\text{исх}})^2}{(G_{\text{по}}^{\text{исх}})^2} \quad (4)$$

в некотором исходном режиме работы турбины.

Расчет режима работы сетевых подогревателей ведется для различных температур наружного воздуха с дискретным изменением их значений в следующей последовательности.

Задается величина  $p_{\text{от } 1}^{\text{исх}}$ , после чего определяются расход пара в ЦНД 1  $G_{\text{ЦНД } 1}$ ,  $k_1$ ,  $p_{\text{от } 1}$ , температура сетевой воды за первым подогревателем, расход пара на первый подогреватель  $G_{\text{от } 1}$ , а также расход пара через ПО. По давлению в отборе и расходу через ПО определяется давление в верхнем отборе

$$p_{\text{от } 2} = \sqrt{G_{\text{по}}^2 k_{\text{по}} + p_{\text{от } 1}^2} \quad (5)$$

расход через ЦНД 2 и температура сетевой воды за верхним подогревателем.

По уравнению теплового баланса находится расход пара на верхний подогреватель и проверяется баланс пара

$$G_{\text{от } 2} = G_o - \sum G_{\text{рег}} - G_{\text{ЦНД } 2} - G_{\text{по}} \quad (6)$$

Расчет повторяется до тех пор, пока не будет соблюдено равенство (6).

По результатам расчетов определяется годовой отпуск тепла из отборов и от ПВК, суммарная выработка электроэнергии и суммарные расчетные затраты для каждого варианта.

Очевидно, что для каждой величины отпуска тепла от ТЭЦ будут свои оптимальные сочетания сопротивлений ЦНД и ПО. Однако достаточно установить несколько типоразмеров для заданного диапазона изменения  $Q^{\text{max}}$ .

Если турбина ТК имеет несколько ЦНД, то с целью обеспечения большего отпуска тепла от турбины целесообразно предусмотреть установку на перепускных трубах ЦНД запорных органов (затворов).

Данная методика предусматривает наличие таких органов при расчете подогрева сетевой воды.

При этом для любых значений  $p_{\text{от } 1}$  расход пара в ЦНД 1 (работа с закрытыми запорными органами) должен приниматься минимально вентиляционным  $G_{\text{цнд}}^{\text{min}}$ .

Равным образом данную методику можно применять для оптимизации характеристик турбин типа Т с регулирующими органами перед ЦНД. В этом случае расход пара в ЦНД будет приниматься изменяющимся в пределах от  $G_{\text{ЦНД}}^{\min}$  до  $G_{\text{ЦНД}} = k_1 \cdot p_{\text{от } 1}$ .

При расчете годовой выработки электроэнергии на АТЭС необходимо учитывать изменение к.п.д. ЦНД и ПО при переменном расходе пара. В первом приближении можно принять однозначную зависимость к.п.д. от относительного изменения величины [3]

$$\left( \sqrt{\frac{H_o^{\text{расч}}}{H_{oi}}} - 1 \right).$$

Расчету к.п.д. и мощности данного отсека должен предшествовать выбор его расчетного режима или величины  $H_o^{\text{расч}}$ , на которую проектируется проточная часть.

Расчетный теплоперепад на отсек определяется исходя из условия достижения минимальной дополнительной (против расчетного режима) величины потери, т.е. из условия

$$\Delta Q = \sum G_i \tau_i H_{oi} \Delta \eta = \min, \quad (7)$$

где  $G_i, H_{oi}, \tau_i$  - соответственно расход пара через отсек, располагаемый теплоперепад на отсек в течение отдельных периодов работы турбины и продолжительность этих периодов.

Как показано в [3], условие (7) приводится к виду

$$H_o^{\text{расч}} = \left( \frac{\sum G_i \tau_i \sqrt{H_{oi}}}{\sum G_i \tau_i} \right)^2. \quad (8)$$

При заданном сопротивлении отсека определяются  $H_{oi}$  и к.п.д. отсека.

Величина  $\dot{\mathcal{E}}_{\text{год}}^{\max}$  в уравнении (1), а значит, и расчетные характеристики турбины должны определяться с учетом заданного в течение суток режима работы турбины по расходу свежего пара.

Таким образом, предлагаемая методика позволяет комплексно оптимизировать характеристики турбин ТК и соотношение электрической и тепловой мощности ( $\alpha_{ТЭЦ}$ ).

#### Л и т е р а т у р а

1. Мелентьев Л.А. Принципы атомной теплофикации. - Теплоэнергетика, 1976, № 11.
2. Смирнов И.А., Федяев А.В., Хрилев Л.С. Выбор профиля основного оборудования атомных ТЭЦ с турбинами типа ТК. - В сб.: Методы математического моделирования и оптимизации параметров, вида технологической схемы и профиля оборудования атомных конденсационных и теплофикационных электростанций. Иркутск, 1976.
3. Волков Н.П. и др. Исследование работы турбинных отсеков на переменных режимах. - Изв. вузов СССР. Энергетика, 1969, № 7.

УДК 621.311.22:628.1

А.Д.Качан, канд.техн.наук,  
А.М.Леонков, канд.техн.наук,  
П.Н.Шишеев

### ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА РАБОТЫ ЦИРКУЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ТЭЦ С ЦЕНТРАЛЬНОЙ НАСОСНОЙ

Экономичность работы турбинных установок ТЭЦ существенно зависит от режима работы циркуляционной системы. При наличии центральной насосной в задачу оптимизации входит распределение охлаждающей воды между конденсаторами отдельных турбин с учетом их состояния, определение оптимального общего количества охлаждающей воды и выбор числа работающих циркуляционных насосов. Оптимизация режима циркуляционной системы должна осуществляться при полученных из условия оптимального распределения нагрузок или фактически заданных расходах пара в конденсаторы отдельных турбин ТЭЦ. При этом условием оптимального распределения охлаждающей воды между конденсаторами является достижение максимальной мощности, развиваемой в ЧНД турбин, с учетом затрат ее на привод циркуляционных насосов

$$\sum_{i=1}^n \Delta N_{\text{ЧНД}} - \sum_{j=1}^m \Delta N_{\text{ц.н}} \rightarrow \max, \quad (1)$$