

Двигатель питается от автономного выпрямителя, собранного на тиристорах типа ВКДУ. Схема управления тиристорами позволяет осуществлять плавное регулирование числа оборотов двигателя в вентиляторном режиме ступени, а также дает возможность использовать двигатель в качестве тормоза в турбинном режиме.

Исследовалось влияние "навала" сопловых лопаток на величину потерь холостого вращения турбинной ступени. Ступень имела закрученные по закону $r c_u = \text{const}$ лопатки, отношение диаметра к высоте лопатки составляло $\theta = d/l \approx 4,5$. Диапазон изменения наклона сопловых лопаток был равен 25° , считая от радиального направления. Наклон лопаток осуществлялся в направлении окружной скорости.

Анализ показал, что потери на холостое вращение ступени уменьшаются с увеличением наклона сопловых лопаток (рис. 2). Характер кривых зависимости потерь в ступени от величины "навала" показывает, что существует оптимальный угол наклона сопловых лопаток, равный для данной ступени 20° .

Увеличение угла наклона сопловых лопаток при повышении числа оборотов вызывает снижение потерь на холостое вращение. Эффективность наклона возрастает при увеличении отношения u/c_0 .

Л и т е р а т у р а

1. Лагун В.П. и др. Особенности работы последних ступеней ЦНД на малых нагрузках и холостом ходу. — "Теплоэнергетика", 1971, №2.
2. Бузин Д.П. и др. Исследование температурных полей последних ступеней турбины при малом объеме расходе пара. — "Теплоэнергетика", 1970, №2.
3. Леонков А.М. и др. Работа турбинной ступени в режиме потребления мощности. — В сб.: Теплоэнергетика. Вып. 3. Минск, 1973.
4. Кириллов И.И. Теория турбомашин. М., 1972.

А.М. Леонков, А.Д. Качан, И.И. Ковшик

К ВЫБОРУ РАСЧЕТНОГО РЕЖИМА СТУПЕНЕЙ ЧАСТИ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ ТЕПЛОФИКАЦИОННЫХ ТУРБИН

Значительным резервом повышения эффективности теплофикационных турбин является правильный выбор расчетного режима части низкого давления (ЧНД).

Выбор расчетного режима ЧНД теплофикационных турбин производится из условия достижения минимальной величины суммарных потерь в турбине на характерных режимах работы от-сека в течение года.

Задача эта может решаться путем последовательного определения оптимального перепада давления на отсек ЧНД, исходя из которого выбирается начальное давление $p_o^{\text{ЧНД}}$ перед ступенями ЧНД при работе турбины с номинальной мощностью в конденсационном режиме с определением затем расчетных характеристик отдельных ступеней.

Оптимальное начальное давление перед ЧНД турбин типа Т с двухступенчатым отопительным отбором зависит от ряда факторов [1] и лежит в пределах $(p_o^{\text{ЧНД}})_{\text{opt}} = 0,07 - 0,09$ МПа.

Расчетный режим работы ступеней ЧНД определяется из условия

$$\Delta Q_{\text{ЧНД}} = \sum D_{ki} \tau_i N_{oi}^{\text{ЧНД}} \Delta \eta_{\text{ЧНД}} = \min, \quad (1)$$

где $\Delta Q_{\text{ЧНД}}$ — потери в ЧНД; $D_{ki} N_{oi}^{\text{ЧНД}}$, τ_i — соответственно расход пара в конденсатор, располагаемый теплоперепад на ЧНД в течение отдельных периодов работы турбины и продолжительность этих периодов; $\Delta \eta_{\text{ЧНД}}$ — отклонение к.п.д. ЧНД на отдельных режимах от расчетного.

Первые и последние ступени ЧНД имеют качественно отличный характер изменения перепада тепла при изменении расхода пара, что требует раздельного определения расчетного режима этих ступеней.

В предположении чисто дроссельного парораспределения в ЧНД, т.е. постоянного значения температуры $t_o^{\text{ЧНД}}$ при различных расходах пара в конденсатор, изменение перепада тепла на последнюю ступень турбины описывается уравнением

$$h'_{oz} = h_{o1} \frac{g}{\left(\frac{p'_o}{p_o}\right)^{\frac{2k-1}{k}} \left(\frac{p'_k}{p_k}\right)^{\frac{2}{k}}}, \quad (2)$$

где $g = \frac{D_k}{D_{k \text{ ном}}}$ — относительная величина расхода пара в

конденсатор; h'_{oz}, h_{oz} --теплоперепад на последнюю ступень при текущем и номинальном значении расхода пара через ЧНД.

Под номинальным расходом пара в конденсатор $D_{к ном}$ понимается расход пара при работе турбины в конденсационном режиме с номинальной мощностью.

При постоянном значении конечного давления

$$h'_{oz} = h_{oz} \frac{2}{gk}. \quad (3)$$

При тех же условиях перепад тепла на первые ступени ЧНД определится из уравнения

$$H'_{oz-1} = H_{о ном}^{ЧНД} \left[1 - \left(\frac{p_k}{g p_o} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] - h_{oz} \frac{2}{gk}, \quad (4)$$

где $H_{о ном}^{ЧНД}$ -- перепад тепла на отсек ЧНД при номинальном расходе пара в конденсатор.

Как показали проведенные исследования [2], к.п.д. турбинного отсека и отдельной ступени находится в параболической зависимости от располагаемого перепада тепла и приближенно может оцениваться уравнением

$$\eta_{oi}^{opt} = \eta_{oi}^{opt} \left[1 - \left(\sqrt{\frac{H_o^{opt}}{H_o}} - 1 \right)^2 a \right], \quad (5)$$

где $\eta_{oi}^{opt}, \eta_{oi}, H_o, H_o^{opt}$ -- соответственно к.п.д. и располагаемый перепад тепла для группы ступеней на рассматриваемом и оптимальном по к.п.д. режимам; a -- постоянный коэффициент.

Расчетное значение перепада тепла ступеней ЧНД при $(U/C_o)_{opt}$ определится из условия

$$\frac{d \Delta Q_{ЧНД}}{d H_o} = 0. \quad (6)$$

Из уравнений (1) и (5) расчетные значения перепада тепла для первых и последней ступени ЧНД найдутся как

$$H_{01}^{\text{расч.}} = \left(\frac{\sum g_i \tau_i \sqrt{H_{\text{ОНОМ}}^{\text{ЧНД}} \left[1 - \left(\frac{p_k}{p_0} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] - h_{\text{ОЗНОМ}} g^{\frac{2}{k}}}}{\sum g_i \tau_i} \right)^2, \quad (7)$$

$$h_{\text{ОЗ}}^{\text{расч.}} = \left(\frac{\sum g_i \tau_i \sqrt{h_{\text{ОЗНОМ}} g^{\frac{2}{k}}}}{\sum g_i \tau_i} \right)^2, \quad (8)$$

где $h_{\text{ОЗНОМ}}$, $H_{\text{ОНОМ}}^{\text{ЧНД}}$ — теплоперепад на последнюю ступень и на отсек ЧНД при номинальном пропуске пара в конденсатор $D_{k \text{НОМ}}$; g_i — относительный расход пара в конденсатор.

Чтобы воспользоваться уравнениями (7) и (8), необходимо знать давление перед последней ступенью $p_{\text{ОЗ}}^{\text{ЧНД}}$ при номинальном пропуске пара в конденсатор, т.е. долю $h_{\text{ОЗНОМ}}$ от $H_{\text{ОНОМ}}^{\text{ЧНД}}$. Поэтому задача выбора расчетного режима ступеней ЧНД должна решаться методом вариантных расчетов путем определения $h_{\text{ОЗНОМ}}$, $H^{\text{расч.}}$ и $\Delta Q_{\text{ЧНД}}$ при различных долях $h_{\text{ОЗНОМ}}$ от $H_{\text{ОНОМ}}^{\text{ЧНД}}$.

Трудность выбора расчетных характеристик ступеней теплофикационных турбин обусловливается многообразием режимов работы этого отсека в течение года. Поэтому выделяются следующие наиболее характерные режимы [1]:

1) зимний период, когда турбина работает с полной тепловой нагрузкой и минимальным расходом пара в конденсатор, причем ступени ЧНД, как правило, работают в вентиляторном (с потреблением мощности) режиме; 2) переходный осенне-весенний период, когда снижается тепловая нагрузка турбин и соответственно увеличивается конденсационная выработка электрической энергии; 3) летний период, в течение которого конденсационная нагрузка турбин с учетом наличия нагрузки горячего водоснабжения составляет 0,8—0,9 от номинальной.

Длительность этих периодов и конденсационная нагрузка турбин в переходный период зависят от климатического района, принятого значения коэффициента теплофикации $\alpha_{\text{ТЭЦ}}$ и доли нагрузки горячего водоснабжения $\gamma_{\text{Г.В.}}$.

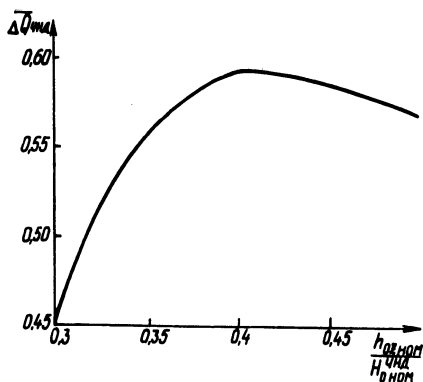


Рис. 1. Относительное уменьшение потерь расширения в ЧНД за счет оптимизации характеристик последней ступени при различном ее сопротивлении.

Определение влияния всех этих факторов на оптимальные характеристики ступеней ЧНД требует большого объема исследований.

Результаты выбора расчетных характеристик ступеней ЧНД, когда длительность летнего и переходного периодов равна 3000 ч, а относительная величина конденсационной нагрузки в переходный период $\bar{D}_k = 0,3$, что соответствует средневзвешенному значению ее климатического района Центра при $\alpha_{ТЭЦ} = 0,6$ и $\gamma_{г.в} = 0,2$, приведены на рис. 1.

При этих условиях, как видно из рис. 1, оптимальный относительный перепад тепла на последнюю ступень ЧНД турбин типа Т составляет $h_{0z \text{ ном}} / h_{0 \text{ ном}}^{\text{ЧНД}} \approx 0,4$. Причем при номинальном расходе пара в конденсатор последняя ступень должна работать с уменьшенным значением U/C_0 (порядка 0,7 от оптимального). Величина U/C_0 ступени при номинальном расходе пара найдется из соотношения

$$\left(U/C_0 \right)_{\text{ном}} = \left(U/C_0 \right)_{\text{opt}} \sqrt{\frac{h_{\text{расч.}}}{h_{0z \text{ ном}}}} \quad (9)$$

За счет правильного выбора расчетных характеристик ступеней ЧНД обеспечивается существенное снижение в них необратимых потерь энергии. На рис. 1 показано относительное уменьшение потерь $\Delta \bar{Q}_{\text{ЧНД}}$ за счет оптимизации характеристик последней ступени.

Величина $\Delta \bar{Q}_{\text{ЧНД}}$ получена применительно к ЧНД турбины Т-100-130, для чего предварительно был выполнен конструктивный расчет последней ступени на уменьшенное в соответствии с уравнением (9) значение $(U/C_0)_{\text{ном}} \approx 0,44$.

Следовательно, последние ступени ЧНД теплофикационных турбин должны выполняться с повышенной циркуляцией. Такие ступени будут иметь более высокий к.п.д. при частичных расходах пара (в переходный период), а при применении умеренного тангенциального наклона ("навала") сопловых лопаток [3] к.п.д. будет практически неизменным и при малых расходах пара.

Л и т е р а т у р а

1. Леонков А.М., Качан А.Д. Выбор расчетных характеристик части низкого давления теплофикационных турбин. — "Изв. вузов. Энергетика", 1969, №5. 2. Волков Н.П. и др. Исследование работы турбинных отсеков на переменных режимах. — "Изв. вузов. Энергетика", 1969, №7. 3. Бусурин В.Н. и др. Экспериментальное исследование двухступенчатых турбинных отсеков. — "Энергомашиностроение", 1972, № 10.

В.А. Золотарева

К ВОПРОСУ ОБ ОТЛОЖЕНИИ СОЛЕЙ В ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ПАРОВЫХ ТУРБИН

Для обеспечения надежной и экономичной работы паротурбинных установок необходимо уделять серьезное внимание предотвращению солевых отложений и эрозии проточной части паровых турбин.

Особого внимания заслуживает появление отложений и эрозии в проточной части мощных блоков сверхкритических параметров.

Пар сверхкритического давления содержит в растворе кремниевую кислоту, соединения натрия и меди, а в тонкодисперсной форме — малорастворимые окислы железа, соединения