

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

УДК 621:311.22:697.34.001.5

А.М.Леонков, А.Д.Качан,
Н.И.Шкода, Э.П.Минич

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИВЛЕЧЕНИЯ КРУПНЫХ ЗАГОРОДНЫХ ТЭЦ К РЕГУЛИРОВАНИЮ МОЩНОСТИ В ЭНЕРГОСИСТЕМАХ

В связи с повышением требований к чистоте воздушного бассейна и трудностью выбора площадки в черте города крупные ТЭЦ проектируются за пределами городов на расстоянии 10–15 км от районов жилой застройки. Пиковая тепловая мощность размещается в районах теплоснабжения. Примером реализации такой системы теплоснабжения является Минская ТЭЦ-4, работающая совместно с существующими районными котельными.

В условиях Белорусской энергосистемы с высокой долей теплофикационной мощности ТЭЦ покрытие ночного провала электрической нагрузки невозможно без разгрузки теплофикационных турбин. Теплофикационные турбины ТЭЦ при их работе в пиковой или полупиковой части графика должны разгружаться в ночное время с передачей части тепловой нагрузки на пиковые водогрейные котлы (ПВК) или редуциционно-охладительные установки (РОУ). Исследование условий, при которых теплоэлектроцентрали могли бы удовлетворять требованиям покрытия разуплотненного графика электропотребления с минимальными дополнительными затратами топлива, связанными с ухудшением режима работы ТЭЦ в точное время (остановы и пуски блоков, уменьшение теплофикационной выработки электроэнергии и т.п.), – задача актуальная.

Одним из существенных факторов повышения маневренности и улучшения показателей работы загородных ТЭЦ в этих условиях может быть использование инерционных свойств транзитных тепломагистралей. Временно увеличивая или уменьшая выработку тепла на ТЭЦ, за счет использования аккумулирующей способности загородных тепломагистралей можно получить дополнительную теплофикационную выработку электроэнергии и дополнительную мощность в максимум электрических нагрузок энергосистемы. В таких режимах наблюдаются процессы зарядки (превышение температуры теплоносителя в сети над расчетной, соответствующей графику регулирования) и разрядки сети (ее "возвращение" к нормальному температурному уровню или даже ниже его).

Зарядку сети с целью "накопления" в ней тепла (с дальнейшим его использованием в период разрядки) можно осуществить следующим образом.

1. Повышение температуры подающей сетевой воды $t_{п.с}$ выше расчетной (нормальной) $t_{п.с}^p$ путем повышения давления пара отбора P_T .

2. Перепуском части воды из подающей линии в обратную через специальные перемычки, минуя ближайшие от ТЭЦ абонентские установки, повышаем температуру воды в обратной сети $t_{о.с} > t_{о.с}^{p*}$. Полная зарядка тепломагистрали наступит при возвращении воды по обратной магистрали с температурой $t_{о.с} > t_{о.с}^p$ от перемычки до ТЭЦ, Разумеется, такую зарядку сети можно осуществить при наличии свободной тепловой мощности турбин ТЭЦ с соблюдением ограничения по скорости подъема или снижения температур воды $30^\circ\text{C}/\text{ч}$ [1].

Хотя процесс зарядки тепломагистрали связан с повышением давления в отборе и с соответствующим понижением теплофикационной выработки, такой прием использования аккумулирующей способности загородных тепломагистралей в периоды, предшествующие останову теплофикационных блоков в провалы электронагрузок, позволяет увеличить суточную выработку на тепловом потреблении за счет дополнительного увеличения нагрузки отопительных отборов турбин и соответствующего вытеснения нагрузки ПВК и РОУ. Таким образом, частично компенсируется комбинированная выработка электроэнергии, потерянная в часы недоотпуска тепла. За счет предварительной зарядки тепломагистрали и последующей разгрузки теплофикационных отборов турбин в максимум электрических нагрузок энергосистемы можно получить дополнительную "пиковую" мощность путем увеличения конденсационной мощности турбин (рис. 1).

Пренебрегая в первом приближении потерями при транспорте, а также аккумуляцией тепла металлом трубопровода и его изоляцией, абсолютное количество тепла, запасаемое в подающей и обратной магистралях

$$dQ' = Mcdt;$$

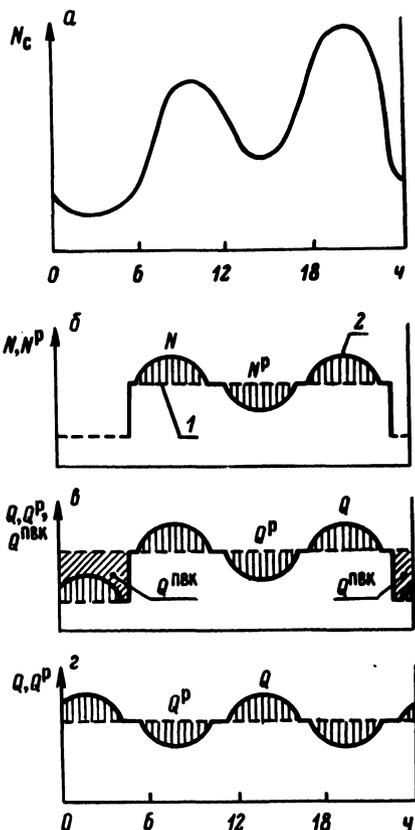
$$Q'_{п.с} = \int_{t_{п.с}^p}^{t_{п.с}} M_1 c_1 dt = \int_{t_{п.с}^p}^{t_{п.с}} z_0 W_1 dt; \quad (1)$$

$$Q'_{о.с} = \int_{t_{о.с}^p}^{t_{о.с}} M_2 c_2 dt = \int_{t_{о.с}^p}^{t_{о.с}} z_0 W_2 dt, \quad (2)$$

*Соотношение расходов воды через абонентские установки и помимо них принимается из условия получения потребителем расчетного количества тепла и обеспечения комфортности отапливаемых помещений.

где M — масса воды в магистрали, кг; c — теплоемкость воды, кДж/(кг $^{\circ}$ С); $W = Gc$ — водяной эквивалент теплоносителя, кВт/ $^{\circ}$ С; G — расход теплоносителя, кг/с; $z_0 = \frac{L}{v} = \frac{M}{G}$ — время полного цикла прохождения воды от ТЭЦ до перемишки или обратно, с; L — длина тепломагистрали от ТЭЦ до города, м; v — скорость воды на данном участке теплосети, м/с. Индексы "1" и "2" соответственно для подающей и обратной магистралей.

Рис. 1. Примерные графики изменения нагрузки ТЭЦ от нагрузки энергосистемы: а — суточный график нагрузки энергосистемы; б — изменение электрической мощности ТЭЦ; в — изменение отопительной нагрузки ТЭЦ и доля нагрузки, покрываемой ПВК при останове части турбин, когда увеличение отпуска тепла на отопление приводит к увеличению электрической мощности турбоагрегатов); г — изменение отопительной нагрузки ТЭЦ при ее работе без останова турбоагрегатов, когда увеличение отпуска тепла на отопление приводит к уменьшению конденсационной мощности турбин и электрической мощности турбоагрегатов; 1, 2 — соответственно в нормальном и пиковом режиме.



Величина тепловых потерь при увеличении температуры сетевой воды пропорциональна ее изменению. Аккумуляция тепла металлом трубопровода и его изоляцией определяется по простым соотношениям, приведенным, например в [2].

Выработка электроэнергии на тепловом потреблении определяется по уравнению

$$W_{\text{э}} = \frac{(i_0 - i_{T,a}) Q_T}{(i_T - i'_T)} \eta_{0i} \eta_M \eta_{\text{э.г.}} \quad (3)$$

где $i_0, i_{T.a}$ — соответственно энтальпия пара перед турбиной и после адиабатного (изэнтропийного) расширения в ней, кДж/кг; i_T и i'_T — соответственно энтальпия пара в теплофикационном отборе и энтальпия конденсата в сетевом подогревателе, кДж/кг; $Q_T = G_{c.v}(i_{п.с} - i_{o.c})$ — количество тепла, отпущенного в теплосеть за рассматриваемый промежуток времени (за период зарядки сети), ГДж; $\eta_{oi}, \eta_M, \eta_{э.г}, \eta_{п}$ — соответственно КПД внутренней относительной турбоустановки, механический турбины, электрический генератора и сетевого подогревателя. В расчетах принимаем $\eta_{oi}=0,8$; $\eta_M \eta_{э.г} = 0,98$; $\eta_{п} = 0,99$.

Изменение теплофикационной выработки электроэнергии при увеличении отпуска тепла от турбин определится как

$$\Delta W_3 = W_3 - W_3^P. \quad (4)$$

Тогда на основании выражений (3) и (4) для определения увеличения комбинированной выработки электроэнергии за счет дополнительного увеличения нагрузки теплофикационных отборов турбин в период зарядки тепломагистрали (без учета изменения температурного напора сетевых подогревателей) получим выражение

$$\Delta W_3 = \frac{(i_0 - i_{T.a})(i_T^P - i'_T{}^P)Q_T - (i_0 - i'_{T.a})(i_T - i'_T)Q_T^P}{(i_T - i'_T)(i_T^P - i'_T{}^P)} \eta_{oi} \eta_M \eta_{э.г}. \quad (5)$$

Обозначения с индексом "р" соответствуют нормальному (расчетному) режиму отпуска тепла, а без индекса — режиму зарядки тепломагистрали.

На основании принятых рассуждений можно записать

$$Q_T - Q_T^P = Q'_{п.с} + Q'_{o.c} + \Delta Q_{пот}, \quad (6)$$

где $\Delta Q_{пот}$ — дополнительные теплотери сети при увеличении температуры сетевой воды [2, 3].

Из уравнения (6) определяется Q_T для подстановки в выражение (5).

Расчеты, проведенные нами применительно к транзитной тепломагистрали Минской ТЭЦ-4, показывают, что за счет использования ее аккумулирующей способности можно получить увеличение среднесуточной комбинированной выработки электроэнергии за отопительный период на 190 тыс. кВт·ч. Дополнительная пиковая мощность в максимум (уменьшение "привязанной" электрической мощности турбин в минимум) нагрузок энергосистемы при этом может составить порядка 18 МВт с учетом увеличения расхода электроэнергии на перекачку теплоносителя.

Л и т е р а т у р а

1. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей. — М., 1977. 2. Левкович В.В., Бензарь Г.В., Андреев В.Е. Расчетно-

экспериментальный метод определения потерь тепла в водяных тепловых сетях. — Изв. вузов. Сер. Энергетика, 1974, № 8. З. Б е л и н с к и й С.Я., Х а р а з я н Р.С. Исследование процессов аккумуляции тепла в системах теплофикации. — Электрические станции, 1972, № 8.

УДК 621.1.016

В.Ф.Степанчук, В.Ф.Кравец,
Е.Г.Мигуцкий, В.В.Ромейко

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА ОДИНОЧНОГО ЦИЛИНДРА В ОБЛАСТИ СОВМЕСТНОГО ВЛИЯНИЯ ВЫНУЖДЕННОГО И СВОБОДНОГО ДВИЖЕНИЯ

Наряду с крайними случаями теплообмена при свободном движении, когда определяющим является критерий Грасгофа, и теплообмена при вынужденном движении, когда определяющим является критерий Рейнольдса, значительный интерес для практики представляет теплообмен в некоторой промежуточной области, когда влияние и свободного и вынужденного движения соразмерно. При этом

$$Gr \approx Re^2. \quad (1)$$

Такой режим может возникнуть, например, при теплообмене в вязких жидкостях, в случае теплообмена между телом и газовым потоком при больших значениях ΔT , в промежуточных теплообменниках АЭС с жидкометаллическими теплоносителями при малых расходах теплоносителей.

Исследование теплообмена при одновременном влиянии свободной и вынужденной конвекции для тел различной формы (цилиндр, шар, треугольник и т.д.) были выполнены Кришером и Лоосом [1]. Кришер предложил ввести универсальный определяющий размер l' — длину обтекания тела. Например, для шара $l' = \frac{\pi d}{2}$, для пластины $l' = l$ и т.д.

Однако следует отметить, что в настоящее время нет обобщенных критериальных зависимостей для расчета коэффициента теплообмена при соизмеримом влиянии свободной и вынужденной конвекции, которые бы учитывали взаимодействие потоков жидкости, вызываемых свободной и вынужденной конвекцией. Попытка оценки взаимодействия свободного и вынужденного потоков была предпринята применительно к натриевым промежуточным теплообменникам АЭС. Как известно, у нагретой поверхности поток жидкости в условиях гравитационного поля всегда движется снизу вверх. Понятно, что вынужденное движение жидкости в зависимости от направления движения (снизу, сверху, поперек и т.д.) может оказывать значительное влияние на коэффициент теплообмена.