

4. Zur Ventilation der HD-Beschaufelung von ZÜ-Dampfturbinen / D. Bergmann, G. Stannowski, J. Havemann // Brennstoff-Wärme-Kraft. – 1994. – Bd. 46. – № 1–2. – S. 40–44.

5. Владимирова Е. П., Калленникова М. М., Лесных В. В. Анализ статистических данных для построения зависимостей «частота–последствия» и «частота–ущерб» // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики: Сб. ст. – СПб.: ПЭИПК, 1997. – Вып. 49. – С. 390–401.

6. Злепко В. Ф., Линкевич К. Р., Швецова Т. А. О надежности тепло-силового оборудования электростанций // Энергетик. – 1999. – № 11. – С. 21–22.

7. Неуймин В. М. Вентиляционные потери в обеспаренном цилиндре турбин и предложения по их снижению // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 1996. – № 1–2. – С. 68–72.

8. Рузинов Л. П., Слободчикова Р. И. Планирование эксперимента в химии и химической технологии. – М.: Химия, 1980. – 280 с.

Представлена кафедрой ТЭС

Поступила 30.01.2001

УДК 967.34 (075.8)

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАСЧЕТА ИЗМЕНЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ И ГРАФИКАХ ОТПУСКА ТЕПЛОТЫ

Докт. техн. наук, проф. КАЧАН А. Д., канд. техн. наук, доц. КОПКО В. М.

Белорусская государственная политехническая академия

Инж. СТРЕЛКОВА О. А.

Концерн «Белэнерго»

Основным недостатком существующих систем теплоснабжения с центральным качественным регулированием отпуска теплоты является наличие существенного «перетопа» зданий в период работы тепловых сетей в зоне излома температурного графика. По этой причине применение сниженных температурных графиков не только может сказаться на надежности систем теплоснабжения [1], но и в большинстве случаев является экономически не оправданным из-за увеличения отрицательного влияния «перетопа» зданий.

С учетом этого, а также в связи с внедрением систем местного (на ЦТП) и индивидуального регулирования теплопотребителей и возможности применения в перспективе регулируемых сетевых насосов целесообразной будет работа тепловых сетей с переменным расходом сетевой воды. При этом в зоне низких температур наружного воздуха выгодной может быть работа с более высоким расходом сетевой воды от теплоисточника, что позволит увеличить теплофикационную выработку электроэнергии на ТЭЦ. В то же время в период излома температурного графика необходимо работать с минимальным расходом сетевой воды, чтобы исключить или максимально снизить «перетоп» зданий.

Эффективность применения таких режимов ступенчатого качественно-количественного регулирования отпуска теплоты может определяться по сравнению с исходным вариантом работы системы теплоснабжения с расчетным температурным графиком (обычно 150/70 °С) и центральным качественным регулированием отпуска теплоты от энергоисточников. При этом в качестве критерия оптимальности можно использовать максимум экономии топлива с учетом эффекта от теплофикации

$$\Delta V_{\text{ЭК}} = \Delta V_{\text{Тф}} - \Delta V_{\text{Тр}} - \Delta V_{\text{Тп}} - \Delta V_{\text{пер}}, \text{ т у. т.}, \quad (1)$$

где $\Delta V_{\text{Тф}}$ – увеличение экономии топлива за счет теплофикации; $\Delta V_{\text{Тр}}$, $\Delta V_{\text{Тп}}$, $\Delta V_{\text{пер}}$ – изменение расхода топлива на транспорт теплоносителя из-за тепловых потерь в теплосетях и на «перетоп» зданий.

Расход воды в теплосети и температуру обратной сетевой воды надо определять с учетом влияния схем подключения систем горячего водоснабжения [7].

Изменение расхода топлива на перекачку теплоносителя необходимо определять с учетом реальных характеристик сетевых и подкачивающих насосов, нагрева воды в них и соответствующего изменения тепловой нагрузки и эффективности работы энергоисточников. При этом для котельных

$$\Delta V_{\text{Тр}} = \Delta \mathcal{E}_{\text{Тр}} (b_{\text{зам}} - \eta_{\text{дв}} b_{\text{кот}}), \text{ т у. т.} \quad (2)$$

Здесь $\Delta \mathcal{E}_{\text{Тр}}$ – изменение расхода электроэнергии на перекачку теплоносителя, МВт·ч; $b_{\text{зам}}$ – удельный расход топлива на отпуск электроэнергии от замещающей КЭС, т у. т./ (МВт·ч); $b_{\text{кот}}$ – удельный расход топлива на выработку тепловой энергии в котельной, т у. т./ (МВт·ч); $\eta_{\text{дв}}$ – КПД электродвигателей насосов, определяющий долю $(1 - \eta_{\text{дв}})$ рассеивания (диссипации) энергии, потребляемой электродвигателями насосов, в окружающую среду.

В случае отпуска теплоты от ТЭЦ

$$\Delta V_{\text{Тр}} = \Delta \mathcal{E}_{\text{пер}} (b_{\text{зам}} - \eta_{\text{дв}} (b_{\text{ТЭ}} - W_{\text{от}} (b_{\text{зам}} - b_{\text{ТЭЦ}}))), \text{ т у. т.}, \quad (3)$$

где $b_{\text{ТЭ}}$ – удельный расход топлива на выработку теплоты котлами ТЭЦ, т у. т./ (МВт·ч); $W_{\text{от}}$ – удельная выработка электроэнергии на тепловом потреблении для отопительных отборов турбин ТЭЦ, МВт·ч/ (МВт·ч); $b_{\text{ТЭЦ}}$ – удельный расход топлива на теплофикационную выработку электроэнергии на ТЭЦ, т у. т./ (МВт·ч).

Последний член в (3) учитывает снижение эффекта от теплофикации при вытеснении нагрузки отопительных отборов турбин ТЭЦ за счет нагрева воды в насосах. Он должен учитываться при работе ТЭЦ с частичными тепловыми нагрузками, что, как правило, характерно в настоящее время для ТЭЦ Беларуси.

Пересчет нормируемых тепловых потерь в теплосетях при переходе от исходного к i -му температурному графику отпуска теплоты может производиться по методике [2] с учетом того, что величина $Q_{\text{Тп}}$ имеет прямо пропорциональную зависимость от средней разности температур между сетевой водой и окружающей средой

$$\Delta t_{\text{ср}} = t_{\text{нп}}^{\text{ср}} + t_{\text{об}}^{\text{ср}} - 2t_{\text{о}}^{\text{ср}}, \quad (4)$$

где $t_{\text{пр}}^{\text{ср}}$, $t_{\text{об}}^{\text{ср}}$ – средние значения температуры прямой и обратной сетевой воды; $t_0^{\text{ср}}$ – средняя температура грунта на глубине залегания оси трубопроводов при их подземной прокладке и окружающего воздуха для надземной прокладки трубопроводов.

При величине изменения транспортных потерь теплоты $\Delta Q_{\text{ТП}}$ соответствующее изменение расхода топлива $\Delta B_{\text{ТП}}$ для систем теплоснабжения с котельными будет равно

$$\Delta B_{\text{ТП}} = \Delta Q_{\text{ТП}} b_{\text{кот}}, \quad \text{т у. т.}, \quad (5)$$

а для случая отпуска теплоты от ТЭЦ

$$\Delta B_{\text{ТП}} = \Delta Q_{\text{ТП}} (b_{\text{ТЭ}} - W_{\text{от}}(b_{\text{зам}} - b_{\text{Т}}^{\text{ТЭЦ}})), \quad \text{т у. т.} \quad (6)$$

Второй член в (6) должен учитываться при работе турбин ТЭЦ с частичными тепловыми нагрузками, т. е. с недогруженными отопительными отборами. В противном случае при расчете по (6) необходимо принимать $W_{\text{от}} = 0$.

В (5) и (6) необходимо подставлять $\Delta Q_{\text{ТП}}$ в МВт·ч.

При расчете возможного «перетопа» зданий будем исходить из того, что температурный график задается максимальными значениями прямой τ'_{01} и обратной τ'_{02} сетевой воды у потребителей, т. е. с учетом охлаждения воды, подаваемой от энергоисточника, в магистральных трубопроводах. При тех же условиях задается температура сетевой воды в точке излома температурного графика $\tau_{01}^{\text{изл}}$.

Температура воды перед элеваторами при центральном качественном регулировании по отопительной нагрузке определяется как [3, 4]

$$\tau_{01} = t_{\text{вн}}^{\text{р}} + \Delta t'_0 \bar{Q}_0^{0,8} + (\delta \tau'_0 - 0,5\theta') \bar{Q}_0, \quad (7)$$

где $t_{\text{вн}}$ – температура внутри отапливаемых помещений; $\Delta t'_0$ – расчетная средняя разность температур в отопительном приборе; \bar{Q}_0 – относительная (в долях от расчетной $Q_0^{\text{р}}$) нагрузка отопления; $\delta \tau'_0$ – расчетная разность температур в теплосети; θ' – расчетная разность температур в отопительной системе.

При этом:

$$\Delta t'_0 = (\tau'_3 + \tau'_{02})/2 - t_{\text{вн}}, \quad ^\circ\text{C}; \quad (8)$$

$$\delta \tau'_0 = \tau'_{01} - \tau'_{02}, \quad ^\circ\text{C}; \quad (9)$$

$$\theta' = \tau'_3 - \tau'_{02}, \quad ^\circ\text{C}. \quad (10)$$

Здесь τ'_3 – расчетная температура воды на входе в отопительные приборы, обычно $\tau'_3 = 95$ °С.

При параллельной и двухступенчатой смешанной схеме подключения систем горячего водоснабжения температура воды перед элеватора-

ми τ_{01} равняется температуре прямой сетевой воды в тепломагистрали τ_1 . Снижение τ_1 происходит при двухступенчатой последовательной схеме подключения систем горячего водоснабжения, так как сетевая вода первоначально используется для нагрева водопроводной воды в подогревателе верхней ступени. При этом

$$\tau_{01} = \tau_1 - \gamma(\tau'_{01} - \tau'_{02})\alpha_{\text{пс}}, \quad \text{°C}, \quad (11)$$

где $\alpha_{\text{пс}}$ — доля отпуска теплоты на горячее водоснабжение за счет охлаждения прямой сетевой воды; γ — доля нагрузки горячего водоснабжения от расчетной тепловой нагрузки отопления. Величина $\alpha_{\text{пс}}$ должна определяться через тепловой баланс верхней и нижней ступеней подогрева воды. После излома температурного графика в первом приближении можно принимать $\alpha_{\text{пс}} = 0,5$.

При заданном значении температуры сетевой воды в зоне излома температурного графика $\tau_{01}^{\text{изл}} = 60\div 70$ °C, определяя, если необходимо, $\tau_{01}^{\text{изл}}$ из (11) и решая (7) методом подбора \bar{Q}_0 , из условия $\tau_{01} = \tau_{01}^{\text{изл}}$ можно найти температуру наружного воздуха $t_{\text{н}}^{\text{изл}}$, при которой производится излом температурного графика. При этом учитывается, что

$$\bar{Q}_0 = (t_{\text{вн}} - t_{\text{н}})/(t_{\text{вн}} - t_{\text{н}}^{\text{р}}), \quad (12)$$

где $t_{\text{н}}^{\text{р}}$ — расчетная температура наружного воздуха для отопления.

По известному коэффициенту смешения в элеваторе

$$U = (\tau'_{01} - \tau'_{03})/(\tau'_{03} - \tau'_{02}) \quad (13)$$

определяется температура воды на входе в отопительные приборы после смешения в элеваторе. В точке излома температурного графика она рассчитывается по формуле

$$\tau_{03}^{\text{изф}} = \frac{\tau_{01}^{\text{из}} + U\tau_{02}^{\text{из}}}{1 + U}, \quad (14)$$

где $\tau_{02}^{\text{из}}$ — температура обратной сетевой воды в точке излома температурного графика.

В зоне излома графика температура сетевой воды поддерживается на более высоком уровне, чем это необходимо для систем отопления из-за необходимости покрытия нагрузки горячего водоснабжения. Температура воды $\tau_{01}^{\text{от}}$, требуемая по чисто отопительному графику, рассчитывается по (7). При этом температура воды после элеватора составит

$$\tau_{03}^{\text{от}} = \frac{\tau_{01}^{\text{от}} + U\tau_{02}^{\text{из}}}{1 + U}, \quad (15)$$

а превышение фактической температуры на входе в отопительный прибор над требуемой найдется как

$$\Delta\tau_{03} = \tau_{03}^{\text{изф}} - \tau_{03}^{\text{от}}. \quad (16)$$

При увеличении температуры воды на входе в отопительные системы происходит прирост расхода теплоты на отопление. Используя характеристики отопительных приборов, приведенных в [4], его можно найти как

$$\frac{dQ_o}{d\tau_{01}} = \frac{Q_o^p}{\frac{0,5 + U}{1 + U} \delta\tau'_0 + \frac{\Delta t_{\text{cp}}}{Q_o^{0,2}}}, \quad (17)$$

где Δt_{cp} – среднелогарифмическая разность температур между воздухом и водой в отопительных приборах для расчетного режима.

Как правило, отопительные приборы работают на расчетном режиме с температурой воды на входе (после элеваторов) $\tau'_{03} = 95$ °С, поэтому при $\tau'_{02} = 70$ °С и $t_{\text{вн}} = 18$ °С

$$\begin{aligned} \Delta t_{\text{cp}}^p &= (\Delta t_6 - \Delta t_m) / \ln(\Delta t_6 / \Delta t_m) = ((95 - 18) - \\ &- (70 - 18)) / \ln((95 - 18) / (70 - 18)) = 63,6 \text{ °С}. \end{aligned} \quad (18)$$

В действительности в зоне излома температурного графика осуществляются энергосберегающие мероприятия, такие как снижение температуры сетевой воды в ночное время, регулирование «пропусками» воды, установка регуляторов на системах отопления вместе с установкой регулируемых электроприводов на насосах. В результате этого можно достигнуть существенного снижения «перетопа» вплоть до его полного исключения. Учитывая это, вводится поправка на долю снижения «перетопа» в связи с внедрением энергосберегающих мероприятий $\gamma_{\text{пер}}$. Величина $\gamma_{\text{пер}}$ принимается от 0 до 1 в зависимости от реальных условий. Для полностью автоматизированных потребительских систем и систем с независимым присоединением систем отопления $\gamma_{\text{пер}} = 1$.

В итоге «перетоп» в каждой j -й точке зоны излома температурного графика определяется как

$$Q_{\text{пер}}^j = (1 - \gamma_{\text{пер}})(dQ_o/d\tau_{01}) \Delta\tau_{03}, \text{ МВт}\cdot\text{ч}, \quad (19)$$

а суммарная величина «перетопа»

$$Q_{\text{пер}}^{\text{сум}} = \sum_{j=1}^m Q_{\text{пер}}^j h^j, \text{ МВт}\cdot\text{ч}, \quad (20)$$

где $Q_{\text{пер}}^j$, h^j – «перетоп» при каждой температуре зоны излома графика и продолжительность стояния этих температур.

Сопоставляя величины $Q_{\text{пер}}^{\text{сум}}$ при i -м и исходном температурном графиках отпуска теплоты, найдется величина $\Delta Q_{\text{пер}}$, а соответствующее значение $\Delta B_{\text{пер}}$ в (1) определится из (5) и (6) при подстановке в них вместо $\Delta Q_{\text{тп}}$ значений $\Delta Q_{\text{пер}}$.

При ступенчатом переходе после излома температурного графика на расход сетевой воды $G_{\text{св}}^i$ меньший, чем при исходном графике $G_{\text{св}}^{\text{исх}}$, расчеты необходимо производить по фиктивному температурному графику с максимальным значением температуры прямой сетевой воды

$$\tau_{01}'^{\text{ф}} = \tau_{02}' + G_{\text{св}}^{\text{исх}} (\tau_{01}'^{\text{исх}} - \tau_{02}') / G_{\text{св}}^i, \quad (21)$$

где $\tau_{01}'^{\text{исх}}$ – максимальная температура сетевой воды у потребителей при исходном режиме регулирования отпуска теплоты.

Изменение экономии топлива за счет теплофикации на сопоставляемых режимах работы системы теплоснабжения можно оценить по формуле

$$\Delta B_{\text{тф}}^i = \Delta \Theta_{\text{тф}}^i (b_{\text{зам}} - b_{\text{т}}^{\text{ТЭЦ}}), \quad \text{т у.т.}, \quad (22)$$

где $\Delta \Theta_{\text{тф}}^i$ – изменение теплофикационной выработки электроэнергии.

При этом

$$\Delta \Theta_{\text{тф}}^i = Q_{\text{т}} \Delta W_{\text{от}}^i, \quad \text{МВт}\cdot\text{ч}. \quad (23)$$

Здесь $Q_{\text{т}}$ – заданная тепловая нагрузка ТЭЦ; $\Delta W_{\text{от}}$ – изменение удельной выработки электроэнергии (УВЭ) для отопительных отборов турбин.

Величина УВЭ для отопительных отборов $W_{\text{от}}$ зависит от многих факторов, таких как режим работы турбины (по тепловому или электрическому графику), температура обратной сетевой воды и температура воды за сетевыми подогревателями (СП) и др. Расход сетевой воды также сказывается на величине $W_{\text{от}}$, так как влияет на характер реального распределения подогрева воды по ступеням и величину температурного напора в СП. Поэтому точный расчет $W_{\text{от}}$ возможен только для конкретного режима работы ТЭЦ с использованием нормативных энергетических характеристик турбины. Нами разработана соответствующая компьютерная программа применительно к турбинам Т-250-240.

В приближенных расчетах можно считать, что основным определяющим фактором при расчете $\Delta W_{\text{от}}$ будет являться температура воды после СП $t_{\text{с}2}$ или температура насыщения в отопительных отборах

$$t_{\text{н}}^{\text{отб}} = t_{\text{с}2} + \delta t, \quad (24)$$

где температурный напор в СП δt может приниматься приблизительно равным 4–5 °С.

При определении $\Delta W_{\text{от}}$ удобно воспользоваться показанной в [5, 6] однозначной зависимостью располагаемого теплоперепада до отбора от разности температур насыщения при давлениях пара перед турбиной и в отборе

$$H_0^{\text{отб}} = m(t_{\text{н}}^{\circ} - t_{\text{н}}^{\text{отб}}), \quad (25)$$

где m – коэффициент пропорциональности.

Соответственно, для использованного теплоперепада до отбора при i -м температурном графике справедливо соотношение

$$H_i^{\text{отб}} = H_0^{\text{отб}} \eta_{0i} = m_1 (t_{\text{H}}^{\circ} - t_{\text{H}}^{\text{отб}}), \quad (26)$$

где η_{0i} – внутренний относительный КПД турбины до отопительного отбора; $m_1 = m\eta_{0i}$.

Используя известное выражение для УВЭ в виде

$$W_{\text{от}} = \frac{H_i^{\text{отб}}}{(h_o - H_i^{\text{отб}} - h_{\text{ок}})} \eta_{\text{м}} \eta_{\text{г}} \alpha_{\text{р}}, \quad (27)$$

получим, что прирост УВЭ по использованному теплоперепаду до отбора

$$\frac{dW_{\text{от}}}{dH_i^{\text{отб}}} = \frac{(h_o - h_{\text{ок}})}{(h_o - H_i^{\text{отб}} - h_{\text{ок}})^2} \eta_{\text{м}} \eta_{\text{г}} \alpha_{\text{р}}. \quad (28)$$

Здесь $h_o, h_{\text{ок}}$ – энтальпия пара перед турбиной и энтальпия возвращаемого конденсата (для отопительных отборов $h_{\text{ок}}$ равно энтальпии насыщения воды при давлении в СП); $\eta_{\text{м}}\eta_{\text{г}}$ – электромеханический КПД турбоагрегата, можно принимать $\eta_{\text{м}}\eta_{\text{г}} = 0,96$; $\alpha_{\text{р}}$ – коэффициент, учитывающий влияние регенеративной выработки электроэнергии на базе подогрева конденсата отопительных отборов, приблизительно $\alpha_{\text{р}} \approx 1,2$.

В результате изменение УВЭ $\Delta W_{\text{от}}$ можно найти как

$$\Delta W_{\text{от}} = \frac{dW_{\text{от}}}{dH_i^{\text{отб}}} \Delta H_i^{\text{отб}}. \quad (29)$$

При этом, учитывая (24) и (26),

$$\Delta H_i^{\text{отб}} = m_1 (t_{\text{с}2}^{\text{исх}} - t_{\text{с}2}^i), \quad (30)$$

где $t_{\text{с}2}^{\text{исх}}, t_{\text{с}2}^i$ – температура сетевой воды за СП при исходном и i -м температурном графике тепловой сети.

Для турбин с одноступенчатым подогревом сетевой воды расчет необходимо проводить по реальной температуре $t_{\text{с}2}$ за СП. Для турбин со ступенчатым подогревом воды упрощенно расчет можно производить по средней температуре сетевой воды за СП

$$t_{\text{с}2}^{\text{ср}} = (t_{\text{с}2} + t_{\text{с}1})/2, \quad (31)$$

где $t_{\text{с}1}$ – температура воды за нижним СП.

Если исходить из равномерного подогрева воды в СП, то

$$t_{\text{с}2}^{\text{ср}} = (t_2 + 3t_{\text{с}2})/4. \quad (32)$$

Здесь t_2 — температура обратной сетевой воды; t_{c2} — соответствующая данному температурному графику тепловой сети температура подогрева воды в СП, причем, очевидно, если пиковые водогрейные котлы выведены из работы, то t_{c2} будет равна температуре прямой сетевой воды на коллекторах энергоисточника $t_{1\text{ист}}$.

Однозначность зависимости (25) имеет место при давлении свежего пара $p_0 < 13$ МПа и отсутствии промперегрева. Поэтому для турбоустановок с промперегревом расчет $H_i^{\text{отб}}$ следует производить по (26), как для ЧСД турбины, т. е. подставляя вместо t_n^0 температуру насыщения при давлении в промперегреве (перед ЧСД турбины) $p_{\text{пп}}$.

При этом выражение для $W_{\text{от}}$ можно представить в виде

$$W_{\text{от}} = \frac{(H_i^{\text{отб}} + H_i^{\text{увд}})}{(h_{\text{пп}} - H_i^{\text{отб}} - h_{\text{ок}})} \eta_{\text{м}} \eta_{\text{г}} \alpha_{\text{р}}, \quad (33)$$

где $h_{\text{пп}}$ — энтальпия пара в линии промперегрева; $H_i^{\text{увд}}$ — использованный теплоперепад в ЦВД турбоустановки.

Так как $H_i^{\text{увд}}$ не зависит от давления в отопительном отборе, то дифференцируя (33) по $H_i^{\text{отб}}$, получим, что

$$\frac{dW_{\text{от}}}{dH_i^{\text{отб}}} = \frac{(h_{\text{пп}} - h_{\text{ок}} + H_i^{\text{увд}})}{(h_{\text{пп}} - H_i^{\text{отб}} - h_{\text{ок}})^2} \eta_{\text{м}} \eta_{\text{г}} \alpha_{\text{р}}. \quad (34)$$

В остальном расчет $\Delta W_{\text{от}}$ остается таким же, как для турбин без промперегрева.

Приведенная методика позволяет формализовать расчеты изменения теплофикационной выработки электроэнергии на ЭВМ и обеспечивает достаточную для рассматриваемой задачи точность конечного результата.

При расчете $\Delta W_{\text{от}}$ необходимо учитывать ограничения по изменению давления в отопительных отборах турбин, в частности то, что для современных теплофикационных турбин со ступенчатым подогревом сетевой воды давление в верхнем отопительном отборе должно быть не менее 0,588 МПа.

Необходимо также учитывать возможность естественного повышения давления в верхнем отборе, в первую очередь для теплофикационных блоков 250 и 180 МВт с промперегревом, которые при частичной тепловой нагрузке следует использовать с дополнительной (сверх теплового графика) выработкой электроэнергии, т. е. с увеличением расхода пара в конденсатор.

Кроме того, необходимо учитывать вынужденное повышение давления в отопительных отборах отдельных турбин, подключенных к коллектору собственных нужд ТЭЦ, давление в котором находится в пределах 0,15–0,18 МПа.

Имеются особенности расчета $\Delta W_{\text{от}}$ для турбин, работающих с ухудшенным вакуумом (с подогревом в конденсаторе сетевой воды). Как правило, эти турбины работают с минимальным давлением в отопительном отборе не менее 0,118 МПа, поэтому снижение температуры нагрева сетевой воды t_{c2} не может обеспечить существенный рост теплофикационной выработки электроэнергии.

Для таких турбин увеличение расхода сетевой воды может дать положительный эффект за счет снижения давления в конденсаторе. Соответствующее изменение мощности турбины может находиться по кривым поправок на давление отработавшего пара.

Температура прямой сетевой воды на коллекторах энергоисточников $\tau_1^{\text{ист}}$ (и соответствующая величина t_{c2}) должна определяться с учетом охлаждения ее в магистральных тепловых сетях на величину $\Delta\tau_{\text{охл}}$, т. е. находится как

$$\tau_1^{\text{ист}} = \tau_1 + \Delta\tau_{\text{охл}}. \quad (35)$$

Если принять значение $\Delta\tau_{\text{охл}}$ при исходном графике тепловой сети, равным $\Delta\tau_{\text{охл}}^{\text{исх}} = 2-4$ °С, то для другого i -го графика

$$\Delta\tau_{\text{охл}}^i = \Delta\tau_{\text{охл}}^{\text{исх}} \frac{\Delta t_{\text{ср}}^i}{\Delta t_{\text{ср}}^{\text{исх}}} \frac{G_{\text{св}}^{\text{исх}}}{G_{\text{св}}^i}. \quad (36)$$

Здесь $\Delta t_{\text{ср}}$ – средняя разность температур между сетевой водой и окружающей средой для соответствующих графиков, найденная из (4).

В приближенных расчетах величиной $\Delta\tau_{\text{охл}}$ можно пренебречь.

Предварительные расчеты показали, что при центральном качественном регулировании отпуска теплоты величина «перетопа» зданий $Q_{\text{пер}}$, в особенности в случае применения сниженных температурных графиков, может достигать 10 % и более от расчетного отпуска теплоты на отопление. Поэтому освоение режимов отпуска теплоты со ступенчатым количественно-качественным регулированием, позволяющих минимизировать $Q_{\text{пер}}$, является актуальной задачей.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Ш а р а п о в В. И. Особенности теплоснабжения городов при дефиците топлива на электростанциях // Электрические станции. – 1999. – № 10. – С. 63–66.
2. М е т о д и к а приведения к сопоставимым условиям потерь тепла в тепловых сетях. – БЭРН, 1999.
3. С о к о л о в Е. Я. Теплофикация и тепловые сети. – М: Энергия, 1975. – 376 с.
4. З а к а т о в а М. С. Учебное пособие по спецкурсу «Проектирование и эксплуатация систем теплоснабжения промышленных предприятий и районов». – М: МЭИ, 1978. – 82 с.
5. P a n z e r H. Nahrungungsverfahren zur Bestimmung der Kenngrößen von Dampfturbinenanlagen mit regenerativer Speisewasservorwärmung // BWK, 1960. – № 9. – С. 16–25.
6. С о к о л о в Е. Я., Б у н и н В. С., Л и т в и н а С. З. Методика расчета переменных режимов работы теплофикационных турбин с многоступенчатым подогревом сетевой воды // Электрические станции. – 1970. – № 10. – С. 35–39.
7. З и н г е р Н. М. Гидравлические и тепловые режимы теплофикационных систем. – М: Энергоатомиздат, 1986. – 320 с.

Представлена кафедрой ТЭС

Поступила 10.04.2001