

УДК 621.165; 621.311.22

А. Л. ШУБЕНКО, д-р техн. наук, чл.-корр. НАНУ, проф.; зав. отд. ИПМаш НАНУ, Харьков;
О. А. БАБЕНКО, канд. техн. наук; с.н.с. ИПМаш НАНУ, Харьков;
В. Н. ГОЛОЩАПОВ, канд. техн. наук, с.н.с.; с.н.с. ИПМаш НАНУ, Харьков;
А. Ю. КОЗЛОКОВ, канд. техн. наук; гл. инж. ПАО «Харьковская ТЭЦ-5», пос. Подворки, Дергачевский р-н, Харьковская обл.

ВЛИЯНИЕ РЕАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТЕПЛОФИКАЦИОННОЙ ТУРБИНЫ Т-100/120-130 НА ОТПУСК ТЕПЛА И ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Рассмотрены режимы эксплуатации энергоблоков № 1 и № 2 ПАО «Харьковская ТЭЦ-5» с теплофикационными турбинами Т-100/120-130 и проанализировано их влияние на отпуск тепла и электроэнергии потребителю согласно температурному графику теплосети в разные периоды года. Показано, что отпуск тепловой энергии энергоблоком определяется температурным потенциалом сетевой воды и ее расходом, а количество тепла зависит от температурной разности между прямой и обратной магистралью.

Ключевые слова: теплоэлектроцентраль, теплофикационная турбоустановка, подогреватель сетевой воды, режим эксплуатации, температурный график.

Введение. Работа ТЭЦ по отпуску тепловой энергии производится согласно температурным графикам, которые предоставляются Заказчиком [1]. В крупных городах таковыми являются администрации тепловых сетей. Однако, изменившиеся условия потребления тепловой энергии (старение жилого фонда, индивидуальное изменение теплопотерь в жилых помещениях: установка стеклопакетов, утепление стен и др., отключение крупных предприятий-потребителей тепловой энергии) привели к существенным отклонениям как в объеме потребления тепловой энергии (расходе сетевой воды), так и в ее температурном потенциале (температуре прямой и обратной сетевой воды).

Постановка задачи. Для оценки отклонений в работе тепловой сети города Харькова в последние годы (2011–2014 гг.) выполнен анализ изменения температуры прямой и обратной сетевой воды, расхода сетевой воды и отпускаемой теплофикационными турбинами Т-100/120-130 электрической и тепловой энергии на протяжении зимних, летних периодов и в межсезонье.

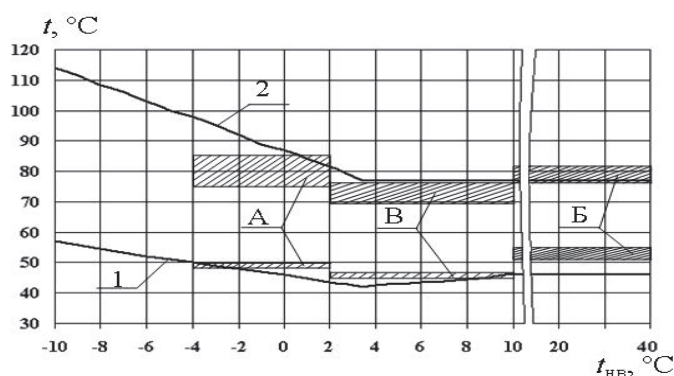


Рис. 1 – Реализация температурного графика теплосети города Харькова при подогреве сетевой воды в паротурбинной установке Т-100/120-130:
 1 – температура обратной сетевой воды;
 2 – температура прямой сетевой воды

На рис. 1 сплошными линиями показано изменение температуры прямой и обратной сетевой воды и области отклонений этих температур при изменении температуры наружного воздуха $t_{нв}$ от -4°C в зимний период (при более низких температурах наружного воздуха догрев сетевой воды

производился в пиковых водогрейных котлах, установленных на ТЭЦ) до $(35\text{--}40)^{\circ}\text{C}$

© А.Л. Шубенко, О.А. Бабенко, В.Н. Голощاپов, А.Ю. Козлоков, 2015

в летний период в дневное время.

Видно, что в период $t_{\text{нв}} \geq 10^\circ\text{C}$, когда отключено отопление жилого фонда города и ТЭЦ обеспечивает горячее водоснабжение, температура прямой (отпускаемой ТЭЦ) сетевой воды, в основном, превышает ее температуру, задаваемую графиком, а температура обратной сетевой воды (возвращаемой на ТЭЦ) превышает температуру, соответствующую температурному графику на $(5-10)^\circ\text{C}$. В этот период температурный потенциал сетевой воды превышает задаваемый графиком.

В период от 2 до 10°C , соответствующий началу и окончанию отопительного сезона (межсезонье), происходит недогрев прямой сетевой воды относительно графика, температура обратной сетевой воды близка к задаваемой графиком. Это свидетельствует о возможном нарушении температуры отопления в жилых помещениях, особенно при учете состояния тепловой изоляции магистралей тепловых сетей.

В диапазоне изменения температуры наружного воздуха $-4^\circ\text{C} < t_{\text{нв}} \leq 2^\circ\text{C}$ наблюдается явное снижение температуры прямой сетевой воды относительно температурного графика при достаточном приближении к нему обратной температуры. Такой характер реального изменения температуры прямой и обратной сетевой воды определяется необходимостью одновременного выполнения заданий по расходу сетевой воды, ее температурным потенциалом на входе и выходе из ТЭЦ, количеству отпускаемой электрической и тепловой энергии.

Цель работы. На основании изложенного целесообразно рассмотреть подход к отпуску тепловой энергии, напрямую не привязанный к температурному графику. В качестве базовых характеристик предлагается рассмотреть:

– задание температуры прямой сетевой воды, зависящей от температуры наружного воздуха $t_{\text{пр}} = f(t_{\text{нв}})$;

– температурный перепад между прямой и обратной сетевой водой $\Delta t = t_{\text{пр}} - t_{\text{обр}}$;

– взаимосвязь между расходом сетевой воды $G_{\text{св}}$, пропускаемой через теплофикационную установку турбины, и отпускаемым расходом тепловой энергии $Q_{\text{т}}$.

При этом температурный перепад целесообразно увязать с температурой прямой сетевой воды.

На рис. 2 рассмотрена взаимосвязь между расходом сетевой воды $G_{\text{св}}$ и величиной отпускаемого тепла $Q_{\text{т}}$ при разных значениях температурного перепада Δt . Наблюдается линейная связь $G_{\text{св}} = f(Q_{\text{т}})$ для

Рис. 2 – Изменение тепловой нагрузки турбины и расхода сетевой воды в разные периоды года:

Δt : 1 – 42; 2 – 38; 3 – 36; 4 – 32; 5 – 30; 6 – 29; 7 – 28; 8 – 26; 9 – 25; 10 – 24; 11 – 23; 12 – 20; 13 – 19; 14 – 17; 15 – 7 $^\circ\text{C}$

каждого значения Δt согласно зависимости

$$Q_{\text{т}} = C G_{\text{св}} (t_{\text{пр}} - t_{\text{обр}}) = C G_{\text{св}} \Delta t \quad (1)$$

при постоянной теплоемкости воды C .

Во всем исследованном диапазоне изменения $G_{\text{св}}$ данная зависимость может быть представлена как

$$G_{\text{св}} = 850 \frac{Q_{\text{т}}}{\Delta t} \quad (2)$$

или

$$Q_{\text{т}} = 0,0011765 G_{\text{св}} \Delta t, \quad (3)$$

где $G_{\text{св}}$, выражается в т/ч, $Q_{\text{т}}$ в МВт.

Изменение температурного перепада в исследованном диапазоне значений температуры прямой сетевой воды представлено на рис. 3.

Видно, что температурный перепад, несмотря на существенные отклонения от температурного графика, линейно зависит от температуры прямой сетевой воды $t_{\text{пр}}$, и функция $\Delta t = f(t_{\text{пр}})$ может быть представлена как

$$\Delta t = (1,059 \pm 0,071)(t_{\text{пр}} - 51). \quad (4)$$

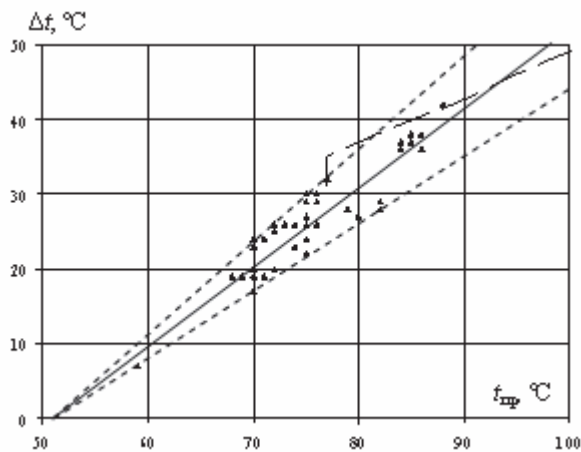


Рис. 3 – Взаимосвязь температурной разности сетевой воды и ее температуры в прямой магистрали

Экспериментально полученные точки в процессе эксплуатации двух турбин Т-100/120-130 энергоблоков № 1 и № 2 ПАО «ХАРЬКОВСКАЯ ТЭЦ-5» имеют системный разброс, не превышающий $\pm 6,7\%$ по отношению к среднему значению функции. При этом расход сетевой воды изменялся в диапазоне $1000 \leq G_{\text{св}} \leq 4300$ т/ч, температура наружного воздуха $-4^\circ\text{C} \leq t_{\text{нв}} \leq 35^\circ\text{C}$.

Результаты исследования. Для определения величин отпускаемой электрической и тепловой энергии одним блоком выполнено расчетное исследование турбоустановки Т-100/120-130 при расходах сетевой воды $G_{\text{св}}$, равных 1000; 2000; 3000; 4000; 4500 т/ч, в диапазоне изменения температуры наружного воздуха $t_{\text{нв}}$ от -11 до 10°C (отопительный сезон) и $t_{\text{нв}} > 10^\circ\text{C}$ (горячее водоснабжение).

Изменение нагрузки энергоблока производилось за счет изменения расхода свежего пара при постоянном давлении и температуре на входе в турбину. Расход свежего пара для рассматриваемых нагрузок принят следующим:

- $G_0 = 295$ т/ч – нижнее значение регулировочного диапазона турбины (рис. 4);
- $G_0 = 440$ т/ч – номинальный режим работы турбины (рис. 5).

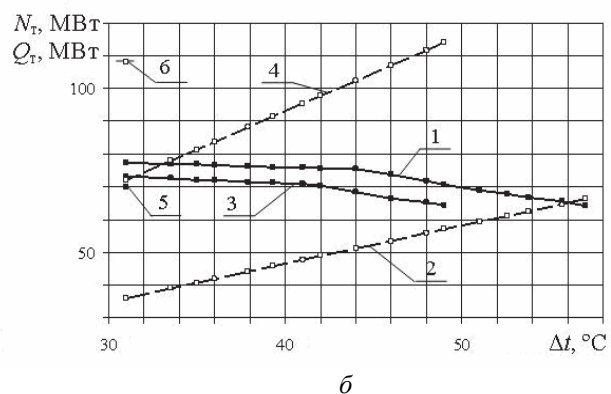
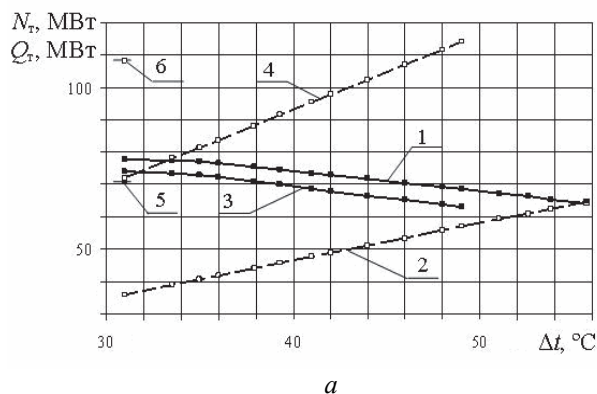


Рис. 4 – Характеристики турбины Т-100/120-130 при расходе свежего пара $G_0 = 295$ т/ч:
а – одноступенчатый подогрев сетевой воды; б – двухступенчатый подогрев сетевой воды;
1, 3, 5 – $N_{\text{т}}$; 2, 4, 6 – $Q_{\text{т}}$; 1, 2 – $G_{\text{св}} = 1000$ т/ч; 3, 4 – $G_{\text{св}} = 2000$ т/ч; 5, 6 – $G_{\text{св}} = 3000$ т/ч

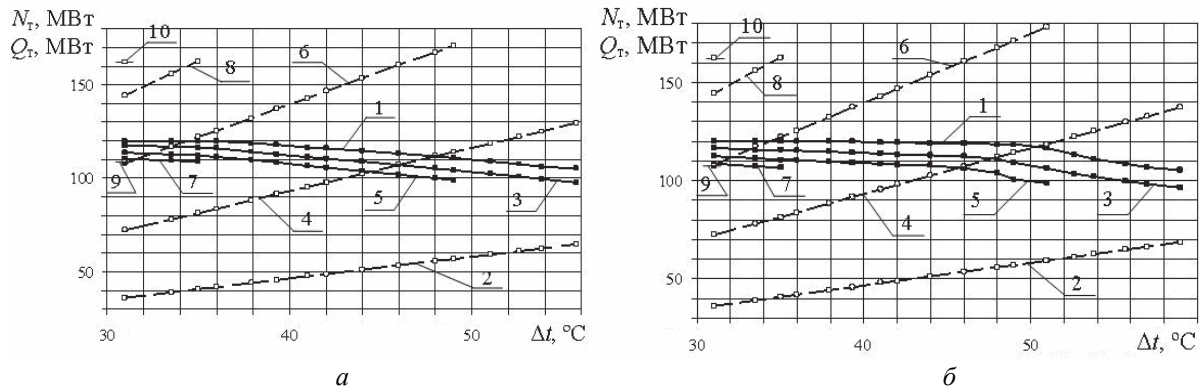


Рис. 5 – Характеристики турбины Т-100/120-130 при расходе свежего пара $G_0^{\text{ном}} = 440$ т/ч:
 а – одноступенчатый подогрев сетевой воды; б – двухступенчатый подогрев сетевой воды;
 1, 3, 5, 7, 9 – N_T ; 2, 4, 6, 8, 10 – Q_T ; 1, 2 – $G_{CB} = 1000$ т/ч; 3, 4 – $G_{CB} = 2000$ т/ч; 5, 6 – $G_{CB} = 3000$ т/ч;
 7, 8 – $G_{CB} = 4000$ т/ч; 9, 10 – $G_{CB} = 4500$ т/ч

При этом принято ограничение по максимальной электрической мощности турбоустановки, равное 120 МВт, и по температуре прямой сетевой воды.

Так как температурный перепад между прямой и обратной сетевой водой Δt функционально связан с температурой наружного воздуха $t_{\text{нв}}$ (чем ниже $t_{\text{нв}}$, тем больше величина Δt) изменение мощности турбины N_T и величины отпускаемого тепла Q_T на рис. 4, 5 представлены как их зависимость от Δt , что позволяет сравнительно быстро оценивать выработку электроэнергии при задаваемом диспетчером теплосети режиме потребления тепла.

Из рис. 4, 5 видно снижение выработки электроэнергии при увеличении Δt (снижении температуры наружного воздуха) и увеличении расхода сетевой воды.

Как было показано в [2], при $t_{\text{нв}} > 2^\circ\text{C}$ целесообразна работа турбоустановки с одним подогревателем сетевой воды ПС-1, пар в который поступает из нижнего отопительного отбора. Характер изменения электрической и тепловой нагрузок при изменении режима работы турбины Т-100/120-130 и теплофикационной установки приведен на рис. 4а, 5а. При температуре наружного воздуха $t_{\text{нв}} < 2^\circ\text{C}$ целесообразна работа турбины с двумя отопительными отборами пара. Изменение электрической и тепловой нагрузок представлено на рис. 4б, 5б.

Выводы. На основе анализа реальной работы турбоустановок Т-100/120-130 как в летний период, так и в отопительный сезон, предложен методологический подход к выбору необходимых характеристик тепловой нагрузки с учетом ее изменений в тепловой сети без привязки к температурному графику.

Список литературы: 1. Трухний, А. Д. Теплофикационные паровые турбины и турбоустановки [Текст] / А. Д. Трухний, Б. В. Ломакин. – М. : Издательский дом МЭИ, 2006. – 540 с. 2. Рациональное распределение тепловой нагрузки в теплофикационной установке турбины Т-100/120-130 [Текст] / А. Л. Шубенко, О. А. Бабенко, В. Н. Голощапов, А. Ю. Козлов // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2014. – № 12(1055). – С. 34–37. – Бібліогр.: 3 назв. – ISSN 2078-774X.

Bibliography (transliterated): 1. Truhnij, A. D., and B. V. Lomakin. *Teplofikacionnye parovye turbiny i turboustankovki*. Moscow : Izdatel'skij dom MJeI, 2006. Print. 2. Shubenko, A. L., O. A. Babenko, V. N. Goloshhapov and A. Ju. Kozlov. "Racional'noe raspredelenie teplovoj nagruzki v teplofikacionnoj ustanovke turbiny T-100/120-130." *Visnyk NTU «KhPI»*. Serija: *Energetychni ta teplotehnichni procesy j ustatkuvannja*. No 12(1055). Kharkov : NTU «KhPI», 2014. 34–37. ISSN 2078-774X.

Поступила (received) 14.02.2015