

# О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ЦИКЛЕ ТЭЦ НА ПРИМЕРЕ ГОМЕЛЬСКОЙ ТЭЦ-2

**А.В.Овсянник**, к.т.н., заведующий кафедрой  
“Промышленная теплоэнергетика и экология”,

**И.И.Мацко**, аспирант кафедры “Промышлен-  
ная теплоэнергетика и экология” УО “Гомельский  
государственный технический университет  
имени П.О.Сухого”

**С.О.Бобович**, директор филиала “Гомельская  
ТЭЦ-2” РУП “Гомельэнерго”

Комбинированный процесс выработки электрической и тепловой энергии, осуществляемый на теплоэлектроцентралях (ТЭЦ), характеризуется высокой степенью использования топлива. Теплофикационный цикл предполагает применение пара для нагрева воды тепловой сети в сетевых подогревателях с использованием турбин нескольких типов: с противодавлением, ухудшенным вакуумом и регулируемые отборами пара.

Наибольшее распространение получили ТЭЦ, оборудованные турбинами с регулируемые отборами пара, позволяющие вырабатывать электрическую энергию, независимо от тепловой нагрузки отопительных отборов. Используемая в настоящее время на крупных ТЭЦ с отопительной нагрузкой схема подогрева сетевой воды обычно включает в себя два сетевых подогревателя, к которым подводится пар из отопительных отборов турбины. После них устанавливается водогрейный котёл, предназначенный для покрытия пиковой нагрузки системы теплоснабжения. В летний период сетевая вода подогревается только в сетевом подогревателе нижней ступени. Такая схема используется на Гомельской ТЭЦ-2.

Сегодня теплонасосные установки (ТНУ) находят широкое применение в различных системах теплоснабжения. Их внедрению должна предшествовать стадия квалифицированного предпроектного обоснования эффективности принимаемого решения, базирующегося не только на термодинамических расчётах, но и учитывающего экономические аспекты. К сожалению, это условие соблюдается не всегда. Например, в [1] предлагается использовать ТНУ для понижения температуры охлаждающей воды, поступающей на конденсатор, что позволит повысить вакуум в нём и, следовательно, получить на том же количестве пара, пропускаемом в конденсатор, дополнительную электрическую мощность, которая будет использова-

на на привод ТНУ, при этом количество электроэнергии, выдаваемой внешним потребителям, не уменьшится. Таким образом, можно будет получить некоторое дополнительное количество теплоты для потребителя. Однако, в [2] в ходе детального термодинамического анализа показана несостоятельность этой идеи.

Основной величиной, характеризующей энергетическую эффективность ТНУ, является коэффициент преобразования  $\mu$ , определяемый по формуле [3]:

$$\mu = Q_{ТН} / N_{ТН} = \eta \cdot T_{к} / (T_{к} - T_{и}), \quad (1)$$

где  $Q_{ТН}$  — теплопроизводительность ТНУ, Вт;  $N_{ТН}$  — потребляемая мощность ТНУ, Вт;  $T_{к}$  — температура конденсации паров рабочего тела в конденсаторе ТНУ, К;  $T_{и}$  — температура испарения рабочего тела в испарителе ТНУ, К;  $\eta$  — коэффициент, учитывающий степень совершенства термодинамического цикла ТНУ (для парокompрессионных установок можно принять  $\eta = 0,8$  [4]).

Температура  $T_{к}$  должна быть не менее чем на  $5^{\circ}\text{C}$  выше температуры нагреваемого теплоносителя  $T_{пот}$ , а  $T_{и}$  — на  $5^{\circ}\text{C}$  ниже температуры низкопотенциального источника теплоты  $T_{ист}$  [4].

Как показывает анализ диаграммы работы турбины [5], при сохранении на постоянном уровне расхода топлива и сокращении отопительных отборов пара наблюдается увеличение выработки электрической мощности  $\Delta N$ . Так, при двухступенчатом подогреве сетевой воды (рис. 1) [5], удельное увеличение электрической мощности  $n$  от сокращения отопительных отборов пара  $\Delta Q$  при постоянном расходе топлива составляет  $n = \Delta N / \Delta Q = 0,194$  Вт/Вт.

С учётом формулы (1), минимальное значение коэффициента преобразования  $\mu$ , обеспечивающее эффективную работу ТНУ в технологическом цикле ТЭЦ, определится как:

$$\mu_{мин} = \Delta Q / \Delta N = 1 / n. \quad (2)$$

Для Гомельской ТЭЦ-2 при двухступенчатом подогреве сетевой воды это значение равно:

$$\mu_{мин} = 1 / n = 1 / 0,194 = 5,15. \quad (3)$$

При работе ТНУ в цикле ТЭЦ с коэффициентом трансформации  $\mu = \mu_{\text{мин}}$  вся дополнительная электрическая мощность  $\Delta N$  от сокращения отопительных отборов пара  $\Delta Q$  потребляется компрессором ТНУ. Таким образом, только работа ТНУ с  $\mu > \mu_{\text{мин}}$  позволит эффективно вовлекать в технологический цикл ТЭЦ низкопотенциальную теплоту системы оборотного водоснабжения.

Максимальная температура теплоносителя после теплового насоса  $T_{\text{пот}}^{\text{MAX}}$  с учётом энергетической эффективности его использования и рекомендуемых температурных напоров в теплообменных аппаратах [4], в соответствии с (1), составит:

$$T_{\text{пот}}^{\text{MAX}} = \mu_{\text{мин}} / (\mu_{\text{мин}} - \eta) \cdot (T_{\text{ист}} - 5) - 5. \quad (4)$$

При нижнем уровне температур в системе оборотного водоснабжения  $T_{\text{ист}} = 288 - 293 \text{ K}$ , характерном для Гомельской ТЭЦ-2 и других крупных ТЭЦ, значение  $T_{\text{пот}}^{\text{MAX}}$ , рассчитанное по (4), составляет  $330 \text{ K}$  ( $57^\circ\text{C}$ ).

Значение  $T_{\text{пот}}^{\text{MAX}}$  в каждом конкретном случае определяет область применения ТНУ в цикле ТЭЦ. Наибольшая энергетическая эффективность достигается при использовании ТНУ для нагрева подпиточной воды теплосети (рис. 2). В настоящее время на Гомельской ТЭЦ-2 подпиточная вода теплосети нагревается до  $35^\circ\text{C}$  в подогревателях прямой сетевой водой. Использование ТНУ для нагрева подпиточной воды теплосети позволит эффективно замещать теплоноситель высоких параметров (с соответствующим сокращением расхода пара на отопительные отборы) сбросной теплотой системы оборотного водоснабжения.

В такой схеме включения ТНУ коэффициент преобразования составит:

$$\mu_1 = \eta \cdot (T_{\text{пот}} + 5) / ((T_{\text{пот}} + 5) - (T_{\text{ист}} - 5)) = 0,8 \cdot (308 + 5) / ((308 + 5) - (288 - 5)) = 8,45. \quad (5)$$

Тогда, в соответствии с (2), удельное потребление электроэнергии  $n_1$  на производство тепла с помощью ТНУ будет равно:

$$n_1 = 1 / \mu = 1 / 8,35 = 0,112 \text{ Вт/Вт}. \quad (6)$$

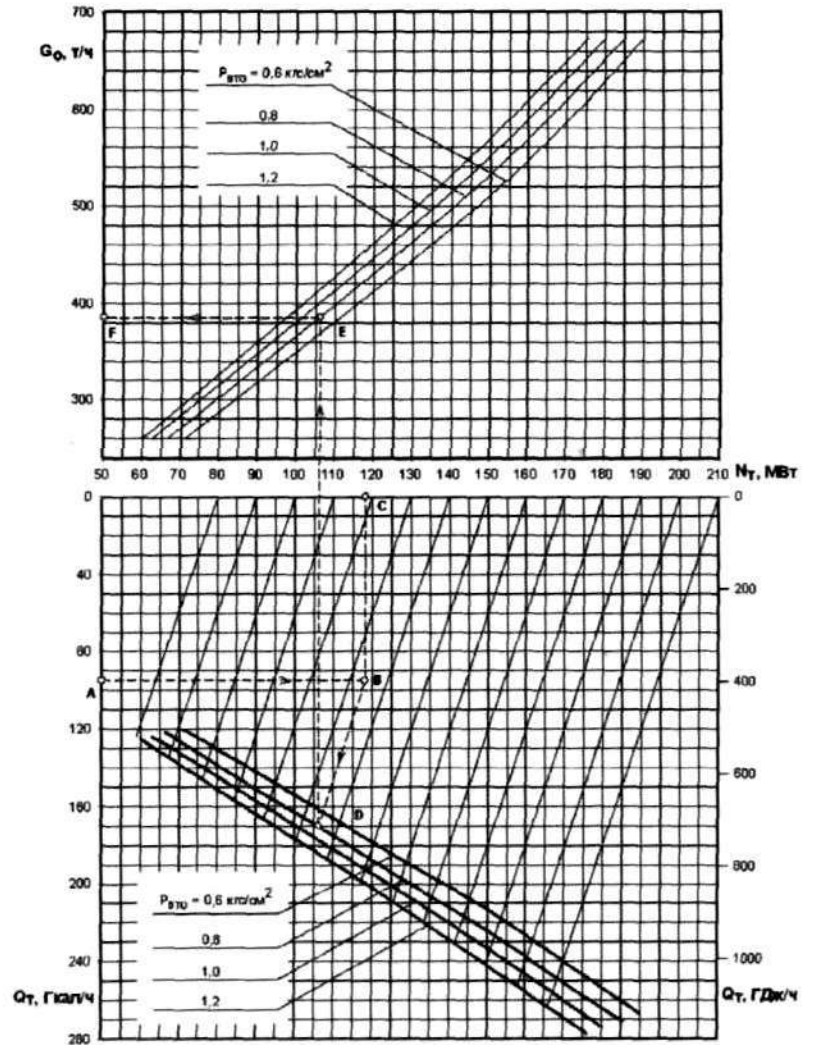


Рис. 1. Диаграмма режимов турбины Т-180/210-130-1 Гомельской ТЭЦ-2 при двухступенчатом подогреве сетевой воды:  $G_0$  — расход пара;  $Q_T$  — выработка тепловой энергии;  $N_T$  — выработка электрической мощности;  $p_{\text{otto}}$  — давление пара в верхнем отопительном отборе

Таким образом, использование ТНУ позволяет не только вовлечь в производство тепловой энергии сбросную теплоту системы оборотного водоснабжения, но и получать дополнительную электрическую мощность  $\Delta n_1 = n - n_1$  от сокращения отопительных отборов пара.

Для Гомельской ТЭЦ-2 величина  $\Delta n_1$  составляет  $0,082 \text{ Вт/Вт}$ . При этом 58% дополнительной электроэнергии будет расходоваться на привод компрессора ТНУ, а оставшиеся 42% составляют сверхбалансовую электрическую мощность. При тепловой мощности первой ступени подогрева подпиточной воды  $4,5 \text{ МВт}$  [6] она составит  $370 \text{ кВт}$ .

Особую роль ТНУ играют на ТЭЦ, мощность системы оборотного водоснабжения (для охлаждения пара в конденсаторах паровых турбин и другого оборудования) которых не достаточна для нормального функционирования станции. Именно та-

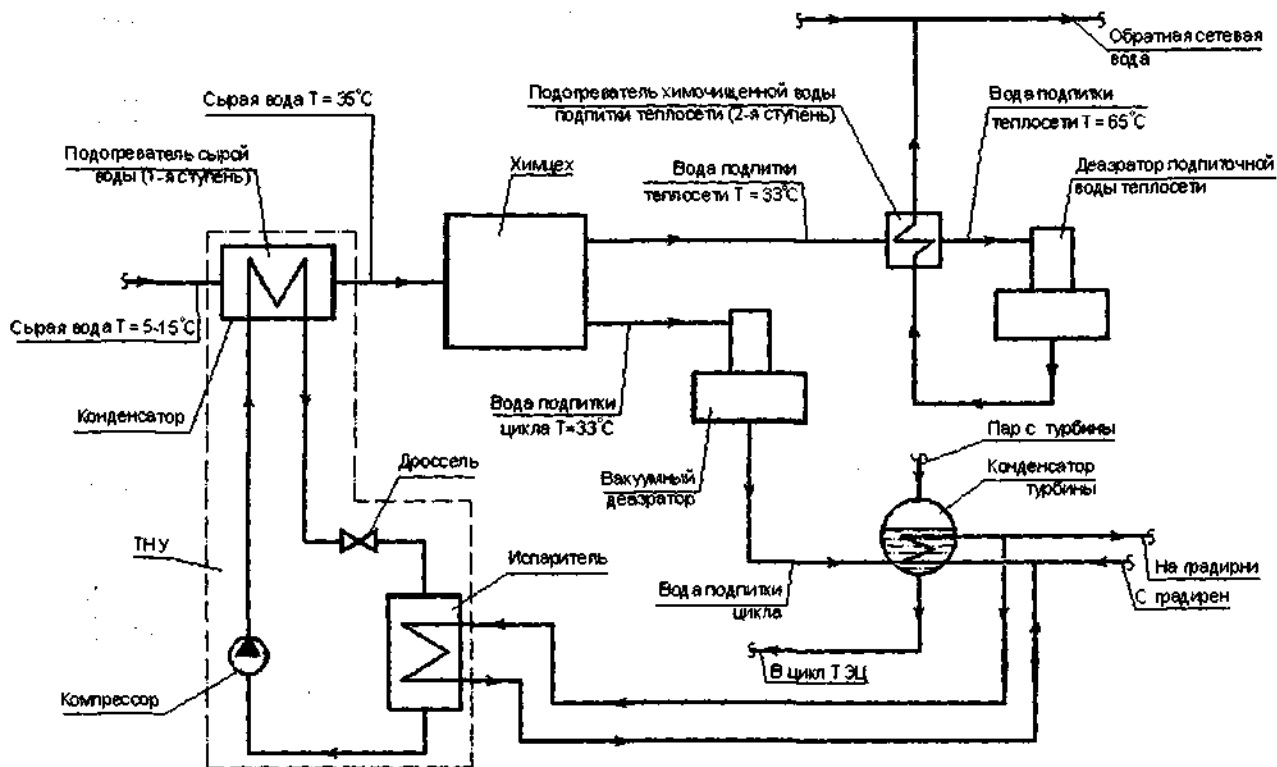


Рис. 2. Схема использования ТНУ в технологическом цикле ТЭС для подогрева подпиточной воды теплосети (замещение подогревателей сырой воды)

кая ситуация сложилась на Гомельской ТЭС-2, где ТНУ могут рассматриваться как альтернатива строительству новых мокрых испарительных градирен. Помимо утилизации сбросной низкопотенциальной теплоты, это позволит повысить выработку электроэнергии за счёт увеличения срабатывания пара в турбине, снизить мощность циркуляционных насосов и сократить водопотребление на производственные нужды, которое на Гомельской ТЭС-2 составляет 2,2–2,5 млн. т воды в год на сумму порядка 180 тыс. USD [7]. Использование ТНУ целесообразно и с экологической точки зрения, так как снижается уровень теплового загрязнения окружающей среды вследствие уменьшения количества теплоты, теряемой в конденсаторе.

Вовлечение в цикл ТЭС теплоты, полученной с помощью ТНУ, возможно путём подогрева обратной сетевой воды (рис. 3). Большую часть отопительного периода температура сетевой воды в обратной тепломагистрали не превышает максимальной температуры теплоносителя после ТНУ  $T_{\text{пот}}^{\text{max}}$ , обеспечивающей её энергетическую эффективность в технологическом цикле ТЭС.

Кроме того, использование ТНУ на ТЭС может оказаться целесообразным в период ночных провалов электрической нагрузки. К примеру, на Гомельской ТЭС-2 в это время энергоблоки разгружаются до технического минимума котлоагрегатов

ТГМЕ-206, и включаются в работу пиковые водогрейные котлы КВГМ-180. Продолжительность работы последних ночью составляет 5–6 часов. Отпуск теплоты за это время — 600–1200 Гкал. Годовой отпуск теплоты от пиковых водогрейных котлов — 51000 Гкал. Выравнивание графика электрической нагрузки может осуществляться путём использования мощности, вырабатываемой в часы ночного провала, непосредственно на ТЭС для дополнительного производства теплоты с помощью ТНУ и, тем самым, для исключения работы или снижения производительности пиковых водогрейных котлов.

В качестве низкопотенциального источника теплоты для теплового насоса целесообразно применять охлаждающую воду, выходящую из конденсатора. Тепловую энергию, получаемую с помощью ТНУ, следует направлять на предварительный подогрев обратной сетевой воды. При этом, сохраняя количество и параметры пара, поступающего в отопительные отборы турбины, можно либо увеличить расход сетевой воды, либо (при постоянном расходе) несколько поднять её температуру. Такую схему, изображённую на рис. 3, может оказаться полезным дополнить аккумулятором горячей воды для полного исключения работы пиковых водогрейных котлов в часы ночного провала электрической нагрузки [8].

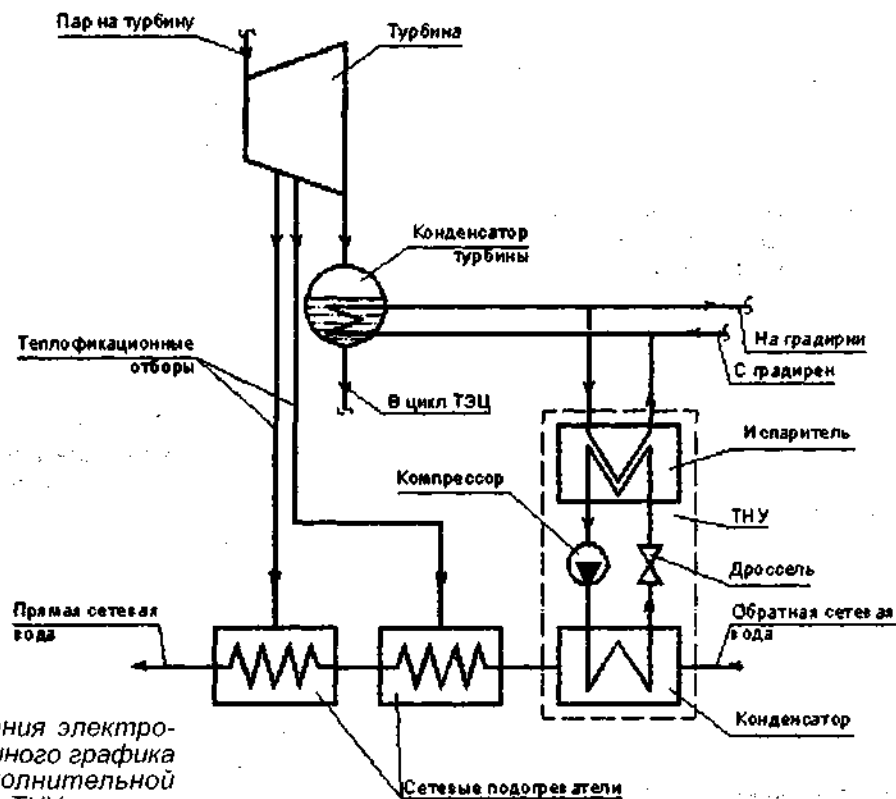


Рис. 3. Схема использования электроэнергии в часы провала суточного графика нагрузки для получения дополнительной тепловой энергии с помощью ТНУ

Целесообразность использования подобной схемы (рис. 3), впрочем, как и любой иной, требует технико-экономического обоснования. При этом предлагаемый вариант должен сопоставляться с вариантом получения дополнительной теплоты в пиковом водогрейном котле.

### ВЫВОДЫ

1. Утилизация низкопотенциальной теплоты системы оборотного водоснабжения ТЭЦ с помощью ТНУ эффективна при коэффициентах трансформации  $\mu$ , больших  $\mu_{мин}$ , значение которого определяется отдельно для каждого конкретного случая.
2. Внедрение ТНУ в цикл ТЭЦ, мощность системы оборотного водоснабжения которой не достаточна для обеспечения технологических процессов производства тепловой и электрической энергии, позволяет отказаться от установки дополнительной градирни.
3. Для снижения водопотребления и, соответственно, себестоимости вырабатываемой энергии на электростанции целесообразно реконструировать системы оборотного водоснабжения с установкой ТНУ.
4. Использование ТНУ на ТЭЦ позволит значительно уменьшить вредное воздействие на окружающую среду.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Сорокин О.А. Применение теплонасосных установок для утилизации сбросной низкопотенциальной теплоты на ТЭС // Промышленная энергетика.— 2005.— №6.— С. 36–41.
2. Шпильрайн Э.Э. Возможность использования теплового насоса на ТЭЦ // Теплоэнергетика.— 2003.— №7.— С. 54–56.
3. Рей Д., Макмайкл Д. Тепловые насосы.— М.: Энергоиздат, 1982.— 224 с.
4. Стенин В.А. Использование теплонасосной установки в системах теплоснабжения // Теплоэнергетика.— 1997.— №5.— С. 28–29.
5. Энергетические характеристики оборудования Гомельской ТЭЦ-2 и алгоритм определения нормативного удельного расхода топлива на отпущенную электрическую и тепловую энергию. Том 2. Графический материал.— Гомель, 2004.
6. Энергетические характеристики оборудования Гомельской ТЭЦ-2 и алгоритм определения нормативного удельного расхода топлива на отпущенную электрическую и тепловую энергию. Том 1. Нормативы на оборудование.— Гомель, 2004.
7. Кондратьев М. Сухие градирни в системах охлаждения технической воды на ТЭЦ // Энергетика и ТЭК.— 2007.— №1.— С. 16–17.
8. Исследование необходимости и возможности установки бака-аккумулятора тепловой энергии на Гомельской ТЭЦ-2 РУП "Гомельэнерго": Отчёт о НИР / Рук. А.В.Овсянник.— Гомель: ГГТУ им. П.О.Сухого.— 2007.— 21 с.