

УДК 621.438

Воловик Ю.И.

*Институт технической теплофизики НАН Украины*

## ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КОГЕНЕРАЦИОННЫХ УСТАНОВОК

Розглядаються головні техніко-економічні показники комбінованого виробництва електричної та теплової енергії, розроблені на основі методу розподілення витрат на паливо, з урахуванням цінності теплової енергії, яку передає робоче тіло у формі теплоти та роботи.

Рассматриваются основные технико-экономические показатели комбинированного производства электрической и тепловой энергии, разработанные на основе метода разделения издержек на топливо с учетом ценности тепловой энергии, передаваемой рабочим телом в форме теплоты и работы.

We consider the main technical-and-economical parameters of the combined production of electric and heat energy, based on the method of separating the cost of fuel with regard for the value of heat energy, which is transferred by the working medium in the form of heat and work.

$B$  – секундный расход условного топлива на турбоагрегат;  
 $b$  – удельный расход условного топлива;  
 $D$  – массовый расход рабочего тела;  
 $e$  – удельная эксергия;  
 $h$  – удельная энтальпия;  
 $K^1$  – коэффициент выработки энергетической продукции;  
 $n$  – количество ступеней давления пара, подлежащего отпуску от ТЭЦ;  
 $Q$  – отпускаемая тепловая мощность;  
 $Q_{\text{H}}^{\text{P}} = 29,26$  МДж/кг – низшая теплота сгорания условного топлива;  
 $U$  – топливная составляющая себестоимости;  
 $\Delta e_{\text{вн}}$  – внутренние затраты работы;  
 $\varphi = \Theta/Q$  – коэффициент теплофикационной выработки;  
 $\eta$  – коэффициент полезного действия;

$\tau$  – эксергетическая температурная функция;  
 $\psi$  – удельная эффективная энергия рабочего тела;  
 $\psi^1$  – показатель ценности тепловой энергии;  
 $\Psi$  – часовой расход, выраженный в единицах эффективной энергии;  
 $\Theta$  – отпускаемая электрическая мощность.  
**Индексы нижние:**  
 1 – перед турбиной;  
 2 – за турбиной;  
 $a$  – в равновесии с окружающей средой;  
 г.в. – горячая вода;  
 $n$  – начальное значение;  
 ОТБ. $i$  –  $i$ -тый отбор пара из турбины;  
 су – система утилизации;  
 $t$  – тепловая энергия;  
 $\varepsilon$  – электроэнергия;  
 эМ – электромеханические процессы.

В данной работе рассмотрен возможный подход к совершенствованию оценки работы когенерационных установок, основанный на применении метода разделения издержек на топливо [1], в котором свойства тепловой энергии (ценность, способность к передаче теплоты и совершению работы) одновременно рассматриваются с термодинамических и экономических позиций. Целесообразность развития данного метода обусловлена тем, что применяемые в настоящее время показатели для оценки энергетической эффективности когенерационных установок не

связаны с экономической стороной производства и их нельзя использовать при определении себестоимости вырабатываемой продукции [2–4].

Проблема определения топливных составляющих себестоимости электрической и тепловой энергии в комбинированных энергетических производствах находится на стыке дисциплин термодинамики и экономики и фактически сводится к установлению ценности тепловой энергии. Метод разделения издержек на топливо в соответствии с ценностью тепловой энергии,

передаваемой в каждое из производств, не противоречит положениям экономики и термодинамики и дает возможность установить технико-экономические показатели когенерационной установки, одновременно характеризующие техническую и экономическую стороны производства.

Целью данной работы является дальнейшее обоснование и развитие изложенной в [1] методологии оценки работы когенерационных установок.

### **Анализ применяемых показателей тепловой экономичности**

Применяемые в настоящее время показатели для оценки эффективности использования топлива при комбинированной выработке электрической энергии и тепла разработаны на основе термодинамических методов разнесения общего расхода топлива между производствами электрической и тепловой энергии.

Надо отметить, что задача разнесения расхода топлива при выработке рабочим телом электрической и тепловой энергии не разрешима в рамках предмета термодинамики, так как ни практически, ни теоретически разделить комбинированное производство на два автономных при сохранении производительности и расхода топлива невозможно.

Разнести расход топлива можно лишь условно, исходя из дополнительных, не связанных с термодинамикой, предпосылок. Использование таких предпосылок имеет место и в применяемых в настоящее время энергетическом (физическом) и эксергетическом методах анализа теплоэнергетических производств. Так, первый метод основывается на предпосылке, что все джоули в теплосодержании рабочего тела на всех этапах его использования равноценны, второй в тепловой энергии признает ценной только ее часть — эксергию. Эти предпосылки выходят за рамки предмета термодинамики, но фактически используются в данных методах, чтобы в дальнейшем связать между собой энергетические и экономические показатели. Из них следует, что ценность тепловой энергии, передаваемой рабочим телом в производственные процессы, пропорциональна относительному изменению эн-

тальпии (физический метод) или эксергии (эксергетический метод), т. е. в методах используются разные шкалы для экономической оценки тепловой энергии.

Термин “ценность” в термодинамике не применяется. Обычно употребляют термин “эффективность”, который трактуется по-разному. Каждый из вышеуказанных методов учитывает только один из двух эффектов, имеющих место при передаче тепловой энергии, игнорируя другой. Так, физический метод связывает уменьшение эффективности использования энергии топлива с потерями теплоты в окружающую среду, эксергетический — с непроизводительной потерей тепловой энергией работоспособности. Это разные по своей природе эффекты в связи с чем, показатели эффективности использования топлива в комбинированных производствах, рассчитанные по данным методам, несопоставимы между собой. В первом случае эффективность выражается в единицах энтальпии, во втором — в единицах эксергии.

При работе когенерационных установок эти эффекты имеют место одновременно, и учет только одного из них не позволяет установить общий полезный эффект от использования тепловой энергии рабочего тела. Поэтому следует заключить, что применяемые в физическом и эксергетическом методах предпосылки относительно ценности тепловой энергии, на основании которых разделение расхода топлива осуществляют соответственно энтальпии или эксергии рабочего тела, не корректны.

Односторонняя термодинамическая трактовка понятия эффективность, учитывающая только один из эффектов, имеющих место при использовании тепловой энергии, находит свое отражение в показателях, связанных с установлением тепловой эффективности когенерационных установок. Так, коэффициент использования топлива определяет только количественную сторону использования энергии топлива в выработанной энергетической продукции. Он оперирует измеряемыми в джоулях количествами энергии разных видов безотносительно к их ценности и не отражает экономическую сторону потерь энергии.

Это относится и к удельным расходам топлива на выработку электрической и тепловой энергии,

определяющим энергоемкость вырабатываемой продукции. Данные показатели определяются на основе термодинамических методов разделения расхода топлива и используются для сравнительной оценки эффективности использования топлива в конкурирующих образцах оборудования. Однако некорректность исходных предпосылок, устанавливающих связь между тепловой энергией и ее ценностью, не позволяет рассматривать рассчитанные термодинамическими методами значения удельных расходов топлива в качестве показателей тепловой экономичности.

В настоящее время при определении отпускных цен на энергетическую продукцию, вырабатываемую на ТЭЦ, в основном используют метод альтернативных издержек, т. е. производится расчет дохода от продажи электроэнергии по ее цене в альтернативном производстве [2], а остаток суммарных затрат относят на производство тепловой энергии (или наоборот). При таком подходе задача определения энергоемкости и себестоимости каждого из видов продукции не рассматривается. Таким образом, специфика комбинированного способа производства электрической и тепловой энергии, обуславливающая его преимущества, полностью игнорируется, что не способствует совершенствованию и успешному развитию данного способа.

Принимая во внимание эти недостатки, в работе [1] предложено установить взаимосвязь энергетической и экономической сторон комбинированного способа выработки электрической и тепловой энергии, рассматривая тепловую энергию с экономических позиций. При этом используется такой экономический атрибут тепловой энергии, как ценность, который все энергетические эффекты интегрально учитывает через общий полезный эффект. Так как этот показатель характеризует тепловую энергию с экономической стороны, рассмотрим его более детально.

### **Показатель ценности тепловой энергии**

Рабочее тело, имеющее запас тепловой энергии, характеризуется рядом свойств, каждому из которых соответствует своя единица измерения. Так, количество тепловой энергии рабочего тела

измеряется в единицах энтальпии, работоспособность его энергии – в единицах эксергии.

Для экономической оценки тепловой энергии (установлении ее ценности) надо энергию рабочего тела измерять в равноценных единицах. Такие единицы названо единицами эффективной энергии [1].

При передаче рабочим телом энергии в форме работы количество переданной энергии измеряется в единицах эксергии. Так как единицы эксергии взаимозаменяемы, они имеют одинаковую ценность и могут быть использованы также для определения ценности переданной тепловой энергии.

В тепловых процессах количество энергии рабочего тела определяется его энтальпией. Анализ показывает, что части тепловой энергии, которую рабочее тело передает на выработку электроэнергии и тепла, различаются по своим свойствам. Поэтому единицы энтальпии не являются взаимозаменяемыми и не отвечают требованиям, предъявляемым к единицам эффективной энергии.

В тепловых процессах ценность тепловой энергии и, следовательно, количество эффективной энергии, зависит от двух параметров состояния рабочего тела – энтальпии и эксергии. Исходя из этого положения, для тепловых процессов количество удельной эффективной энергии у рабочего тела (функцию  $\psi$ ), предложено определять с учетом ценности энтальпии и эксергии как взвешенное среднее геометрическое от удельных значений этих параметров [1]:

$$\psi = (h - h_a)^{\frac{\tau}{1+\tau}} e^{\frac{1}{1+\tau}} = (h - h_a) \tau^{\frac{1}{1+\tau}}. \quad (1)$$

Здесь  $\tau^{\frac{1}{1+\tau}}$  – степенная функция. В ее основании  $\tau$  – эксергетическая температурная функция; в показателе степени  $\tau$  представляет относительную ценность единиц энтальпии и эксергии, которая определяется как отношение удельных топливных составляющих себестоимости теплоты и электроэнергии при отдельных способах их выработки одним и тем же рабочим телом и по величине совпадает с эксергетической температурной функцией.

Термин “эффективная энергия” представляет среднее от количественных значений таких

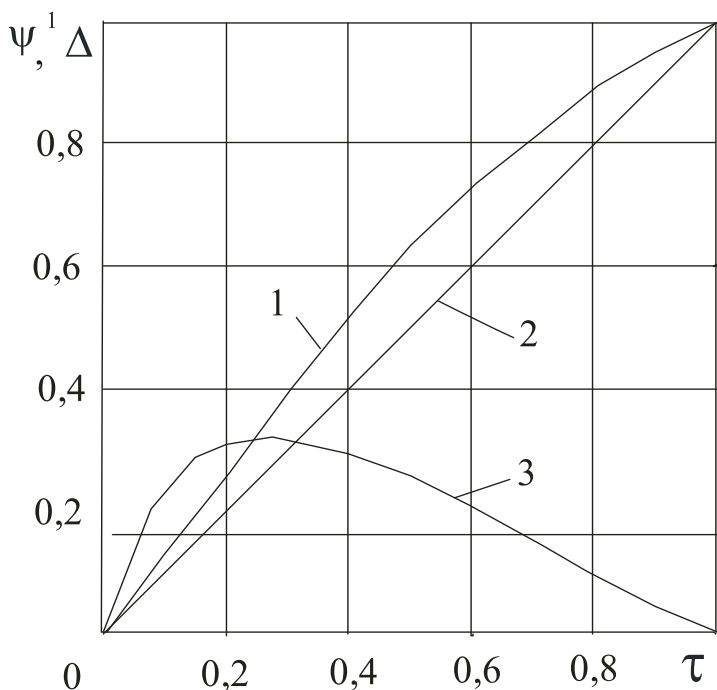


Рис. 1. Сравнение функций  $\psi^1$  и  $\tau$ .

$$1 - \psi^1; 2 - \tau; 3 - \Delta = \frac{\psi^1 - \tau}{\tau}.$$

свойств рабочего тела, как теплосодержание и работоспособность с учетом их относительной ценности. Учет ценности дает возможность два энергетических эффекта свести к одному экономическому.

Определяя функцию  $\psi$  в двух последовательных состояниях рабочего тела, можно установить относительную ценность переданной им энергии  $(\psi_1 - \psi_2) / \psi_1$  при условии, что в процессе передачи теплоты к рабочему телу дополнительно не подводилась энергия.

Единицы эффективной энергии по ценности соответствуют единицам эксергии, а относительная ценность единиц энтальпии и эффективной энергии,  $\psi^1$ , определяется из уравнения (1):

$$\psi^1 = \frac{\Psi}{h - h_a} = \tau^{\frac{1}{1+\tau}}. \quad (2)$$

Функция  $\psi^1$  — безразмерна и рассматривается в дальнейшем как показатель ценности тепловой энергии при использовании ее в тепловых процессах.

Так как  $0 \leq \tau \leq 1$ , то из формулы (2) следует, что в тепловых процессах показатель ценности теп-

ловой энергии больше эксергетической температурной функции  $\tau$ . Функции  $\psi^1$  и  $\tau$  представлены в графическом виде для сравнения на рис. 1 (кривая 1 и 2). Там же (кривая 3) приведена относительная разность значений этих функций  $\Delta = (\psi^1 - \tau) / \tau$ . Как видно из графика, значение  $\Delta$  зависит от  $\tau$ . Максимальная величина  $\Delta$  составляет примерно 0,32 при  $\tau = 0,28$ .

Показатель ценности тепловой энергии используется при установлении топливных составляющих себестоимости вырабатываемой турбоагрегатом тепловой энергии различных параметров.

Поскольку  $\psi^1 > \tau$ , то величина топливной составляющей затрат, приходящейся на производство электроэнергии, рассчитанная по методу разделения издержек на топливо, будет меньше, чем по эксергетическому методу.

### Начальное количество эффективной энергии рабочего тела

В энергетических производствах при выработке электрической энергии параметром, определяющим ценность переданной рабочим телом тепловой энергии, является эксергия, а при выработке тепла — равноценная ей эффективная энергия. Если рабочее тело используется для выработки электрической и тепловой энергии одновременно, то начальное количество его эффективной энергии,  $\psi_H$ , определяется как сумма эксергии, затраченной на полезный выход электрической энергии, и эффективной энергии в отборах пара и на выходе турбины. Так, например, для турбоагрегатов простого цикла, используя удельные параметры, имеем:

$$\psi_H = (e_1 - e_2 - \Delta e_{BH}) + \psi_2.$$

Выраженная через рабочие параметры формула имеет вид:

$$\psi_H = \frac{\mathcal{E}}{\eta_{ЭМ} D_1} \left( 1 + \psi_2^1 \frac{1}{\varphi} \frac{\eta_{ЭМ}}{\eta_{СУ}} \right) = \frac{Q}{\eta_{ЭМ} D_1} \left( \varphi + \psi_2^1 \frac{\eta_{ЭМ}}{\eta_{СУ}} \right). \quad (3)$$

Из формулы (3) следует, что  $\psi_H$  зависит от коэффициента теплофикационной выработки  $\varphi$ . Если  $\varphi = 0$  (энергия рабочего тела используется только в тепловых процессах), то количество эф-



фективной энергии одного килограмма рабочего тела составляет:  $\psi_H = Q\psi_1 / (D_1\eta_{CV})$ . Если  $\varphi \rightarrow \infty$  (вся энергия передается в форме работы), то  $\psi_H = \Theta / (D_1\eta_{ЭМ})$ . Показатель  $\psi_H$  позволяет оценить эффективность различных режимов работы когенерационной установки.

### Топливные составляющие себестоимости электрической и тепловой энергии

Эффективность каждого производства в целом определяется таким показателем, как себестоимость производимой продукции, в котором интегрально в денежном выражении учитываются все факторы производства – технический уровень, затраты энергии, материалов, труда и т.п. Себестоимость является основной характеристикой любой товарной продукции, она – основа ценообразования. Себестоимость продукции однозначна и определяется технологией ее производства. Она не зависит от того, по какой цене эта продукция будет в дальнейшем реализована.

В себестоимости вырабатываемой когенерационными установками электрической и тепловой энергии топливные составляющие являются наиболее весомыми. В них через ценность тепловой энергии, передаваемой рабочим телом в каждое из производств, интегрально учитываются в денежном выражении все разные по природе полезные эффекты, которые имеют место при использовании тепловой энергии.

Определение топливных составляющих себестоимости электрической и тепловой энергии, вырабатываемой комбинированным способом, не обязательно связывать с разделением расхода топлива. Задача состоит в том, чтобы объективно определить стоимость тепловой энергии, которая была передана от рабочего тела в каждое из производств. Здесь разделению подлежат уже издержки производства на топливо (или пропорциональная им эффективная энергия рабочего тела), а разнесение расхода топлива, с целью установления энергоемкости производимой продукции, можно осуществить условно – пропорционально издержкам каждого производства на топливо.

Расчет отдельных топливных составляющих себестоимости основывается на использовании показателей ценности тепловой энергии рабочего тела в

отборах и на выходе турбины, позволяющих представить энергию, которая была передана на выработку тепла в единицах, равноценных единицам эксергии.

Для турбоагрегатов простого цикла относительные значения отдельных топливных составляющих себестоимости вырабатываемых на ТЭЦ электрической  $U_{Э}$  и тепловой энергии  $U_T$  определяются из формул:

$$U_{Э} = \frac{\Theta}{\Theta + \psi_2^1 Q(\eta_{ЭМ} / \eta_{CV})};$$

$$U_T = \frac{\psi_2^1 Q(\eta_{ЭМ} / \eta_{CV})}{\Theta + \psi_2^1 Q(\eta_{ЭМ} / \eta_{CV})}. \quad (4)$$

Аналогичные формулы можно вывести и для других типов турбоагрегатов. Так, для турбоустановок, вырабатывающих тепло, которое отпускается потребителям с горячей водой и с паром разных параметров, топливная составляющая себестоимости выработки электроэнергии рассчитывается из выражения

$$U_{Э} = \frac{\Theta}{\Theta + \psi_2 \eta_{ЭМ} \left( D_1 - \sum_{i=1}^{i=n} D_{\text{отб},i} \right) + \eta_{ЭМ} \sum_{i=1}^n \psi_{\text{отб},i} D_{\text{отб},i}}. \quad (5)$$

Формула (5) может быть записана в виде

$$U_{Э} = \frac{\Theta}{\Theta + \psi_2^1 Q_{Г.В.} \left( \frac{\eta_{ЭМ}}{\eta_{CV}} \right) + \eta_{ЭМ} \sum_{i=1}^n \psi_{\text{отб},i}^1 Q_{\text{отб},i}}. \quad (6)$$

Топливная составляющая себестоимости тепловой энергии, отпускаемой в горячей воде, для таких турбоагрегатов определяется по формуле

$$U_{Г.В.} = \frac{\psi_2^1 Q_{Г.В.} \left( \frac{\eta_{ЭМ}}{\eta_{CV}} \right)}{\Theta + \psi_2^1 Q_{Г.В.} \left( \frac{\eta_{ЭМ}}{\eta_{CV}} \right) + \eta_{ЭМ} \sum_{i=1}^n \psi_{\text{отб},i}^1 Q_{\text{отб},i}}. \quad (7)$$

Топливные составляющие себестоимости тепловой энергии производственных параметров рассчитываются отдельно для каждого отбора пара

$$U_{\text{отб},i} = \frac{\eta_{ЭМ} \psi_{\text{отб},i}^1 Q_{\text{отб},i}}{\Theta + \psi_2^1 Q_{Г.В.} \left( \frac{\eta_{ЭМ}}{\eta_{CV}} \right) + \eta_{ЭМ} \sum_{i=1}^n \psi_{\text{отб},i}^1 Q_{\text{отб},i}}. \quad (8)$$

Составляющие издержек на топливо, определенные для конкретного режима работы турбоагрегата по формулам (6–8), используются при определении себестоимости каждого из видов вырабатываемой энергетической продукции.

Метод разделения издержек на топливо позволяет определить для турбоагрегата отдельные топливные составляющие себестоимости вырабатываемой им тепловой и электрической энергии при разных режимах его работы. Определив из калькуляции общих затрат условно постоянные эксплуатационные издержки [2] на турбоагрегат, приходящиеся на производство электрической и тепловой энергии, можно для разных режимов турбоагрегата рассчитать себестоимость каждого вида вырабатываемой им продукции. Такие базы данных себестоимости продукции по каждому турбоагрегату дают возможность в дальнейшем с использованием экономических методов оптимизировать работу ТЭЦ в целом.

### Удельные расходы топлива

Энергоемкость комбинированных энергетических производств определяется удельными расходами условного топлива на выработку каждого из видов энергетической продукции. При выработке турбоагрегатом электрической энергии и тепла, отпускаемого с горячей водой и паром разных параметров, удельные расходы условного топлива, основываясь на методе разделения издержек на топливо, рассчитывают по формулам:

$$b_{\text{Э}} = \frac{BU_{\text{Э}}}{\text{Э}}; \quad (9)$$

$$b_{\text{Г.В.}} = \frac{BU_{\text{Г.В.}}}{Q_{\text{Г.В.}}} = b_{\text{Э}} \psi_2^1 \frac{\eta_{\text{ЭМ}}}{\eta_{\text{СВ}}}; \quad (10)$$

$$b_{\text{ОТБ.}i} = \frac{BU_{\text{ОТБ.}i}}{Q_{\text{ОТБ.}i}} = b_{\text{Э}} \psi_{\text{ОТБ.}i}^1 \eta_{\text{ЭМ}}. \quad (11)$$

В формулах (10) и (11) сомножители  $\psi_2^1 \frac{\eta_{\text{ЭМ}}}{\eta_{\text{СВ}}}$  и  $\psi_{\text{ОТБ.}i}^1 \eta_{\text{ЭМ}}$  можно рассматривать как показатели ценности отпускаемой тепловой энергии с учетом индивидуальных особенностей когенерационной установки.

Удельные расходы топлива на выработку электрической и тепловой энергии, рассчитанные исходя из ценности тепловой энергии, переданной в каждое из производств, отражают стоимостную сторону энергии в производимой продукции. Они могут быть использованы в экономических расчетах себестоимости соответствующей энергетической продукции.

Удельные расходы топлива зависят от коэффициента теплофикационной выработки. Определенные для номинальных режимов работы, эти показатели применимы для сравнения эффективности использования топлива в турбоагрегатах.

Так как вся вырабатываемая турбоагрегатом энергетическая продукция по методу разделения издержек на топливо условно измеряется в единицах, равноценных эксергии, то удельный расход топлива на выработку электрической энергии  $b_{\text{Э}}$  однозначно характеризует тепловую экономичность турбоагрегата.

Для оценки тепловой экономичности применим также показатель, обратный  $b_{\text{Э}}$ , который можно рассматривать как коэффициент выработки эффективной энергии:

$$K^1 = \frac{\text{Э}}{BU_{\text{Э}} Q_{\text{Н}}^{\text{P}}}. \quad (12)$$

Показатель  $K^1$  определяет эффективность использования энергии топлива с экономических позиций. Он однозначно определяет тепловую экономичность когенерационной установки и может быть использован при экономическом анализе различных режимов ее работы.

### Сравнение комбинированного и отдельного способов

Как известно, рабочее тело, обладающее запасом тепловой энергии, может передавать теплоту и совершать работу. Количество эффективной энергии, которое рабочее тело способно передать на выработку продукции, зависит от коэффициента теплофикационной выработки.

Оценим количество эффективной энергии, которое может быть передано в идеализированных установках при комбинированном и отдельном способах выработки электроэнергии и

теплоты, если расход исходной тепловой энергии у них одинаков. Считаем, что в конденсационной турбине и когенерационной установке начальные параметры пара – энтальпия  $(h_1 - h_a)$  и эксергия  $e_1$  – одинаковы. Примем, что параметры пара после парового котла такие же, как на выходе турбины когенерационной установки:  $(h_2 - h_a)$  и  $e_2$ . Предполагается, что справедливы равенства:  $(h_2 - h_a)\tau_2 = e_2$  и  $(h_1 - h_2) = (e_1 - e_2)$ . Соотношение расходов рабочего тела в паровых турбинах  $D_1$  и в паровом котле  $D_2$  находится из условия равенства расходов тепловой энергии:  $D_1(h_1 - h_a) = D_2(h_2 - h_a)$ . Внутренними затратами работы  $\Delta e_{\text{вн}}$  в паровых турбоустановках пренебрегаем.

При принятых предположениях количество энергии, выраженное в равноценных единицах эффективной энергии, которое может быть передано за 1 час, будет:

конденсационная турбина –  $\Psi_{\text{э}} = D_1 e_1$ ;  
когенерационная установка –

$$\Psi_{\text{э.т.}} = D_1 [e_1 - e_2 + (h_2 - h_a)\psi_2^1];$$

паровой котел –

$$\Psi_{\text{т.}} = D_2 \psi_2 = D_1 [(h_2 - h_a) + (e_1 - e_2)] \psi_2^1.$$

Учитывая, что  $0 < \tau_2 < \psi_2^1 < 1$  и  $e_1 > e_2$ , находим:

$$\Psi_{\text{э.т.}} - \Psi_{\text{э}} = D_1 (h_2 - h_a) (\psi_2^1 - \tau_2) > 0,$$

$$\Psi_{\text{э.т.}} - \Psi_{\text{т.}} = D_1 (e_1 - e_2) (1 - \psi_2^1) > 0.$$

Таким образом, при соответствующих режимах работы и равенстве расходов тепловой энергии количество эффективной энергии при комбинированном способе выработки электрической и тепловой энергии больше, чем при отдельной выработке этих видов энергии. Соответственно себестоимость единицы эффективной энергии при комбинированном способе выработки будет меньшей. Результаты данного анализа подтверждают преимущество комбинированного способа выработки энергетической продукции над отдельными способами.

### **Особенности оптимизации работы ТЭЦ**

В настоящее время планирование (прогнозирование) финансово-экономической деятель-

ности ТЭЦ осуществляется независимо от режимов работы имеющегося там энергетического оборудования. При установлении отпускных цен на продукцию исходят из общих издержек на производство и экономически оправданных тарифов на каждый из видов продукции. Такой подход обеспечивает конкурентоспособность ТЭЦ в широком диапазоне режимов работы турбоагрегатов, что позволяет не заниматься оптимизацией режимов и не способствует энергосбережению.

При определении себестоимости всей продукции ТЭЦ надо учитывать, что обычно на ТЭЦ одновременно работают несколько турбоагрегатов, технико-экономические показатели которых могут отличаться. Поэтому себестоимость каждого из видов продукции ТЭЦ определяется как среднее от значений себестоимости этих видов продукции, вырабатываемой одновременно работающими турбоагрегатами. Следует также учитывать, что условия работы установок не всегда стационарные. Сезонные и суточные колебания тепловой и электрической нагрузок, неплановое подключение или отключение потребителей и другие непредсказуемые факторы вынуждают ТЭЦ изменять режимы установок, что сказывается на величине и соотношении удельных топливных составляющих себестоимости вырабатываемой ими тепловой и электрической энергии и, следовательно, на удельной себестоимости их продукции. Эти специфические условия работы ТЭЦ приводят к тому, что себестоимость вырабатываемой продукции непостоянна в течение расчетного периода их эксплуатации. Поэтому значения себестоимости продукции на длительный период можно определить лишь приближенно, в связи с непредсказуемостью ряда факторов. Величина погрешности в основном будет зависеть от того, насколько реальные режимы работы оборудования окажутся близки принятым в расчетах себестоимости продукции.

При комбинированном способе выработки электрической и тепловой энергии значения себестоимости отдельных видов продукции взаимозависимы и ими можно в определенной степени управлять изменением режима работы турбоагрегатов. Для оптимизации работы ТЭЦ надо иметь базу данных по себестоимости про-

дукции, вырабатываемой каждым турбоагрегатом в зависимости от коэффициента теплофикационной выработки. Оптимизировать работу можно исходя из разных задач, например, максимальной прибыли или максимального энергосбережения.

Для получения наибольшей прибыли от продукции ТЭЦ требуется учитывать как себестоимость и объем каждого из видов продукции, так и рыночные цены на нее. Здесь уже экономическими методами должна решаться задача оптимального выбора соответствующих режимов работы турбоагрегатов для получения максимального экономического эффекта от продажи всей производимой на ТЭЦ продукции.

Если к оптимизации подходить из условия энергосбережения, то критерием, однозначно определяющим экономичность использования топлива, может быть такой показатель, как, например, удельные затраты топлива на выработку электроэнергии (9).

Успешная работа ТЭЦ в рыночных условиях в основном зависит от удачного прогнозирования внешних факторов и правильного реагирования на их текущие изменения. Метод разделения издержек на топливо определяет параметры, влияющие на себестоимость вырабатываемой продукции, что позволяет целенаправленно изменять ее в процессе работы каждого из турбоагрегатов. Тем самым устанавливается взаимосвязь технической и экономической сторон производства. Совместное применение метода разделения издержек на топливо и экономических методов, использующих гибкие рыночные механизмы, позволяет установить взаимосвязь между режимами одновременно работающих турбоагрегатов и себестоимостью вырабатываемой ими продукции и использовать ее для оптимизации работы ТЭЦ.

### **Выводы**

Метод разделения издержек на топливо применим к конкретному турбоагрегату. Разработанные на базе этого метода технико-экономические показатели когенерационных установок, учитывающие ценность тепловой энергии, позволяют дать более обоснованную оценку их технического уровня. Технико-экономические показатели можно использовать в расчетах себестоимости каждого из видов вырабатываемой турбоагрегатом продукции.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. *Воловик Ю.И.* Экономические аспекты оценки эффективности работы ТЭЦ // Теплоэнергетика. – 2007. – № 2. – С.39–44.
2. *Хрилев Л.С., Малафеев В.А., Хараим А.А., Лившиц И.М.* Сравнительная оценка отечественных и зарубежных методов разделения расхода топлива и формирования тарифов на ТЭЦ// Теплоэнергетика. – 2003. – № 4. – С. 45–54.
3. *Малафеев В.А., Смирнов И.А., Хараим А.А., Хрилев Л.С., Лившиц И.М.* Формирование тарифов на ТЭЦ в рыночных условиях // Теплоэнергетика. – 2003. – № 4. – С. 55–63.
4. *Хрилев Л.С., Смирнов И.А.* Социально-экономические основы и направления развития теплофикации // Теплоэнергетика. – 2005. – № 2. – С.9–17.

*Статья публикуется в порядке обсуждения.*

*Получено 25.12.2007 г.*