

УДК 621.438

В.А. РЕЙСИГ, докт. техн. наук (Інститут технічної теплофізики НАН України),
М.Н. ЧЕПУРНОЙ, канд. техн. наук, **В.В. БУЖИНСКИЙ**, канд. техн. наук (Вінницький державний технічний університет)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОФИКАЦИОННЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК

Определены преимущества работы теплофикационных газотурбинных установок и экономия топлива по сравнению с отдельной выработкой электроэнергии и теплоты.

В новых экономических условиях, в результате удорожания цен на топливо, электроэнергию и теплоту наметилась тенденция к созданию блок-ТЭЦ с газотурбинными двигателями, теплота выхлопных газов которых используется в промышленных или отопительных котельных. Это способствует серийный выпуск нового поколения газотурбинных установок (ГТУ) на базе судовых и газотурбинных двигателей.

В течение последних трех десятилетий ГТУ являются наиболее динамично развивающимся в мире тепловым двигателем [1-3]. Такими они будут оставаться и в ближайшей перспективе. Современные ГТУ работают с высокими значениями степени повышения давления (16-30) и высокими температурами газов перед турбиной (1250-1430°C). Коэффициент полезного действия таких ГТУ достигает 36-39,5%.

В настоящее время сформировались принципы конструирования ГТУ, позволившие обеспечить их надежность, тепловую экономичность, невысокие удельные стоимости, эксплуатационные затраты и концентрацию вредных выбросов. Однако повышение начальной температуры газов, определяющей, в основном, степень совершенства газотурбинного цикла, обусловило повышение температуры газов за турбиной. Поэтому использование таких ГТУ в энергетике предполагает их работу в составе комбинированных установок по "утилизационной" или "сбросной" схеме.

Принцип применения ГТУ в теплофикации подразделяется обычно на два направления: использование ГТУ в парогазовых установках; использование предвключенных ГТУ с водогрейными или паровыми котлами низкого давления.

Наличие ГТУ с относительно высокими температурами отработанных газов открывает возможность создания газотурбинных ТЭЦ, вытеснив из эксплуатации многочисленные водогрейные котельные небольшой мощности, среднее значение КПД которых, по данным [4], не превышает 80%. В качестве утилизаторов теплоты выхлопных газов на таких ГТУ-ТЭЦ могут быть ис-

пользованы либо серийные модули газодводяных теплообменников для ГТУ [5], либо экономайзеры котельных установок. Ввод в действие газотурбинных ТЭЦ позволяет не только увеличить установленную мощность энергосистемы с меньшими капитальными и эксплуатационными затратами, но и обуславливает значительную экономию топлива и затрат электроэнергии на собственные нужды по сравнению с отдельной схемой энергоснабжения.

В данной работе предпринята попытка выявить основные факторы, влияющие на эффективность работы газотурбинных ТЭЦ, и определить основные показатели их тепловой экономичности. Из паспортных данных конкретной ГТУ всегда известны: электрическая мощность N ; коэффициент полезного действия $\eta_{ГТУ}$; температура выхлопных газов $t_{вг}$. Зная эти значения, можно легко определить следующие величины:

– удельный расход условного топлива:

$$b_{ГТУ} = 0,123 / \eta_{ГТУ};$$

– часовой расход условного топлива:

$$B_{ГТУ} = b_{ГТУ} N = 0,123 N_{ГТУ} / \eta_{ГТУ};$$

– тепловую мощность выхлопных газов:

$$Q_{вг} = (1 - \eta_{ГТУ}) \cdot Q_{кк} = (1 - \eta_{ГТУ}) \cdot B_{ГТУ} \cdot Q_{вг}^p;$$

– тепловую мощность, отданную внешним потребителям теплоты:

$$Q_{пт} = \psi Q_{вг} = \psi (1 - \eta_{ГТУ}) \cdot B_{ГТУ} \cdot Q_{вг}^p,$$

где $\psi = (t_{вг} - t_{тг}) / (t_{вг} - t_0)$.

Оговоримся сразу, что при сравнении комбинированной и отдельной схем энергоснабжения будем считать в первом приближении одинаковыми затраты энергии на собственные нужды, хотя такое допущение несколько ухудшает показатели работы газотурбинной ТЭЦ. Экономия топлива за счет комбинированной выработки тепловой и электрической энергии, как известно [6, 7], зависит главным образом от величины удельной выработки электроэнергии на тепловом потреблении. С учетом того, что $N = Q_{кк} / \eta_{ГТУ}$, этот показатель равен:

$$\phi = N / Q_{пт} = \eta_{ГТУ} / [\psi (1 - \eta_{ГТУ})]$$

Характер изменения φ в зависимости от величин $\eta_{ГТУ}$ и ψ показан на рис. 1, где 1 – $\psi = 0,7$; 2 – 0,74; 3 – 0,78; 4 – 0,82.

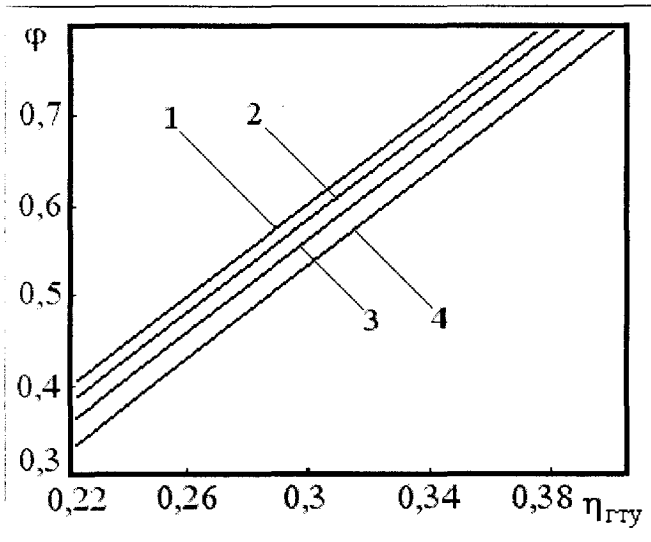


Рис. 1. Значения удельной выработки электроэнергии на тепловом потреблении

Основным показателем тепловой экономичности газотурбинной ТЭЦ по сравнению с раздельной выработкой схемой энергоснабжения является величина удельной экономии теплоты, которая составляет

$$\Delta q_{эк} = Q_o / Q_{пт} = 1 / \eta_{кот} + \varphi / (\eta_{кэс} \cdot \eta_{эс}) - \varphi / \eta_{ГТУ} \quad (1)$$

На рис. 2 (где 1 – $\eta_{ГТУ} = 0,24$; 2 – 0,28; 3 – 0,32; 4 – 0,36; 5 – 0,4) в качестве примера приведены расчетные значения $\Delta q_{эк}$ для $\eta_{кот} = 0,82$, $\eta_{кэс} = 0,36$, $\eta_{эс} = 0,9$. Из рисунка видно, что при невысоких значениях коэффициента полезного действия ГТУ ($\eta_{ГТУ} < 0,32$) удельная экономия теплоты увеличивается с уменьшением выработки электроэнергии на тепловом потреблении. При $\eta_{ГТУ} = 0,32$ величина $\Delta q_{эк}$ остается неизменной и равной удельной экономии теплоты, которая затрачивается в водогрейной котельной ($1 / \eta_{кот}$). При $\eta_{ГТУ} > 0,32$ величина $\Delta q_{эк}$ возрастает по мере увеличения φ и $\eta_{ГТУ}$. Расчеты показали, что с уменьшением $\eta_{кэс}$ и $\eta_{кот}$ величина $\Delta q_{эк}$ возрастает, а значение $\eta_{ГТУ}$, при котором соблюдается условие $\Delta q_{эк} = const$, несколько уменьшается.

На основании (1) экономия условного топлива на газотурбинной ТЭЦ будет равна, кг/час:

$$\Delta B_{эк} = 3600 q_{эк} \cdot Q_{пт} / Q_n = 0,123 \cdot \Delta q_{эк} N / \varphi$$

Значения $\Delta B_{эк}$, рассчитанные для единичной электрической мощности ГТУ ($N = 1 \text{ МВт}$) и тех же условий, что указаны к рис. 2, показаны на рис. 3, где 1 – $\eta_{ГТУ} = 0,24$; 2 – 0,28; 3 – 0,32; 4 – 0,36;

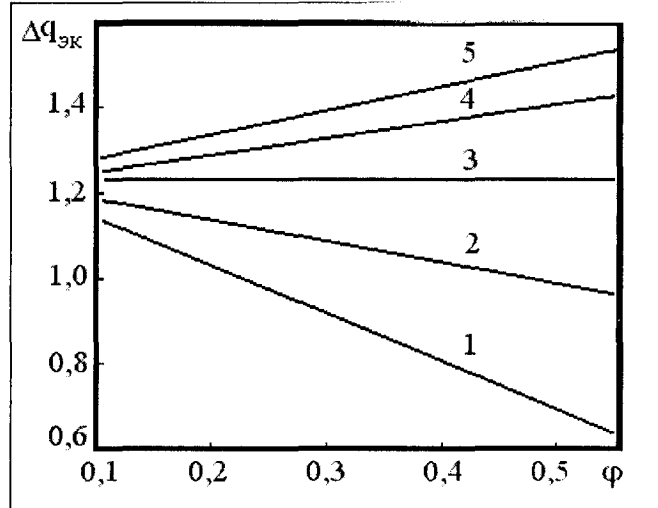


Рис. 2. Зависимость изменения удельной экономии теплоты

5 – 0,4. Из рисунка следует, что экономия условного топлива тем выше, чем больше тепловой энергии отпускается потребителям теплоты при условии $N = const$. Влияние КПД ГТУ на экономию топлива существенно сказывается при $\varphi > 0,16$. Следует отметить также, что при одинаковых начальных параметрах ГТУ их теплоутилизационные мощности возрастают по мере снижения степени повышения давления.

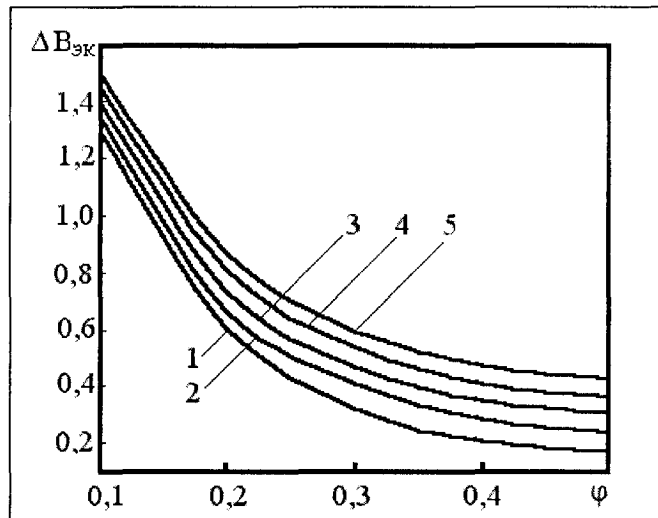


Рис. 3. Характер изменения экономии условного топлива

Нередко [8, 9 и др.] всю выгоду от комбинированной выработки видов энергопродукции относят только к выработке электроэнергии, в результате чего удельные расходы условного топлива на производство электроэнергии становятся значительно ниже теплового эквивалента (0,123 кг/кВтЧас). Аналогичная ситуация возникает и при отнесении всей экономии топлива на выра-

ботку теплоты. Неправомерность такого подхода обоснована в [6]. Для газотурбинных ТЭЦ с отпуском теплоты за счет утилизации мощности отработанных в ГТУ газов к подобным результатам приводит использование существующего (нормативного) метода распределения расходов топлива между видами энергетической продукции. Так, при $\eta_{\text{ГТУ}} = 0,3$ и $\varphi = 0,2$ удельный расход условного топлива на выработку электроэнергии, рассчитанный по нормативному методу, составляет 0,068 кг/кВт·час, что почти вдвое ниже теплового эквивалента.

В этой связи более обоснованным методом для определения удельных расходов топлива на выработку отдельных видов энергопродукции следует считать термодинамический метод [10], учитывающий качество энергии. В качестве примера на рис. 4 приведены зависимости изменения удельных расходов условного топлива: $b_{\text{эк}}$, г/кВт·час и $b_{\text{т}}$ – кг/ГДж, рассчитанные по методике [10] для значения коэффициента качества теплоты равного 0,5. Из этого рисунка видно, что удельные расходы условного топлива возрастают с увеличением доли выработки электроэнергии на тепловом потреблении.

Приведенные результаты свидетельствуют о том, что эффективность работы теплофикацион-

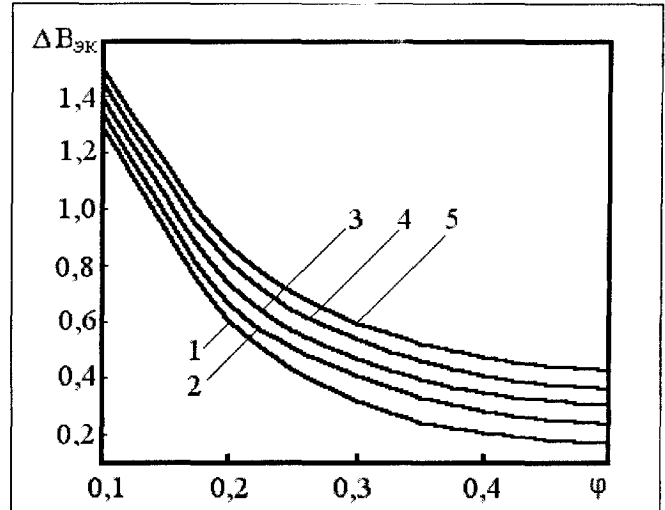


Рис. 3. Значения удельных расходов условного топлива при $\eta_{\text{ГТУ}} = 0,3$

ных газотурбинных установок в характерном для них диапазоне изменения φ ($0,2 < \varphi < 0,5$) возрастает с увеличением теплофикационной нагрузки. Поэтому подбор ГТУ для газотурбинных ТЭЦ должен осуществляться исходя из проектируемой или вытесняемой теплофикационной мощности. Полученные результаты являются необходимой предпосылкой для выбора типа ГТУ, работающей по схеме ГТУ-ТЭЦ, и оценки ее тепловой экономичности.

1. Перспективы применения газовых турбин в энергетике // Теплоэнергетика. – 1992. – №9. – С. 2-8.
2. Газовые турбины в электроэнергетике // Теплоэнергетика. – 1996. – №4. – С. 2-11.
3. Ольховский Г.Г. Разработка перспективных энергетических ГТУ // Теплоэнергетика. – 1996. – №4. – С. 66-75.
4. Украина: эффективность малой энергетики. – Киев: ЕС Energy Centre in Kiev (Про-грамма Tasis). – 1995. – 280 с.
5. Юращик И.Л., Глуценко Л.Ф., Маторин А.С. Утилизация теплоты приводных газо-турбинных установок. – Киев: Техніка, 1991. – 149 с.
6. Андриященко А.И. Энергетическая эффективность промышленных блок-ТЭЦ с ГТУ // Пром. теплотехника. – 1996. – Т. 18. – №3. – С.41-47.
7. Каган А.Д., Смирнов И.А., Кхиер Баркат. Условия повышения термодинамической эффективности утилизационных ГТУ // Теплоэнергетика. – 1992. – №12. – С. 38-42.
8. Соколов Б.Я. Теплофикация и тепловые сети. – М.: Госэнергоиздат, 1982. – 360 с.
9. Читашвили Г.П. Расчет показателей экономичности и удельных расходов топлива на газотурбинных блок-ТЭЦ // Теплоэнергетика. – 1996. – №6. – С. 14-17.
10. Дубовской С.В. Термодинамический метод определения объективных показателей тепловой экономичности ГТУ ТЭЦ простого цикла // Пром. теплотехника. – 2000. – Т. 22. – №2. – С. 85-91.