

## КОГЕНЕРАЦИОННЫЕ ГАЗОТУРБИННЫЕ УСТАНОВКИ СО СВОБОДНО-ПОРШНЕВЫМИ ГЕНЕРАТОРАМИ ГАЗА ДЛЯ МАЛОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

*В.Т. Матвеевко, д-р техн. наук,*

*В.Н. Литошенко, канд. техн. наук,*

*Севастопольский национальный технический университет, г. Севастополь, Украина*

**Введение.** Применение когенерационных технологий является одним из самых результативных путей повышения эффективности использования энергии топлива на стадии генерирования энергии.

Широкое внедрение когенерационных технологий в энергетике возможно при децентрализации генерирующих мощностей. В этом случае необходимы энергетические установки средней и малой мощности, обслуживающие обособленные объекты промышленности, коммунального хозяйства, технологические и транспортные комплексы [1].

Для энергообеспечения коммунальных и промышленных объектов нужны когенерационные энергоустановки электрической мощностью от 0,5 до 12 МВт и более. В этом диапазоне мощностей могут применяться дизель-генераторы и газотурбогенераторы с утилизаторами теплоты. При электрической мощности от 0,5 до 3 МВт по технико-экономическим показателям желательнее использовать газодвигатели, а также газотурбинные установки (ГТУ) со свободно-поршневыми генераторами газа (СПГГ). ГТУ с СПГГ удачно сочетает в себе положительные свойства, присущие двигателям внутреннего сгорания и газовым турбинам, по тепловой экономичности приблизительно одинаковы с ДВС той же мощности [2].

**Постановка задачи и метод решения.** Отличительной особенностью ГТУ с СПГГ является большой коэффициент избытка воздуха в рабочем газе после СПГГ (примерно 4...5), что позволяет сбрасывать отработавшие газы в топку котла, сжигающего органическое топливо, и реализовать когенерационную тепловую схему. При этом увеличивается доля вырабатываемой электроэнергии в 1,5 раза по сравнению с надстройкой котла ГТУ.

В целом мощность ГТУ с СПГГ увеличивают за счет количества СПГГ, работающих на одну газовую турбину, или применения многоцилиндровых конструкций СПГГ. Однако создание энергоустановок средней мощности для малых ТЭЦ за счет увеличения количества СПГГ вызывает определенные сложности конструктивного и эксплуатационного характера.

Большой коэффициент избытка воздуха в рабочем газе после СПГГ и сравнительно низкая температура газа (723...783 К) перед газовой турбиной, позволяют решить задачу увеличения мощности установки посредством подогрева газа после СПГГ, причем объем и адиабатная мощность рабочего газа возрастают прямо пропорционально повышению его абсолютной температуры.

На рис. 1 изображена схема ГТУ с СПГГ, в которой перед силовой турбиной (СТ) установлена камера сгорания промежуточного подогрева (КСПП) газа.

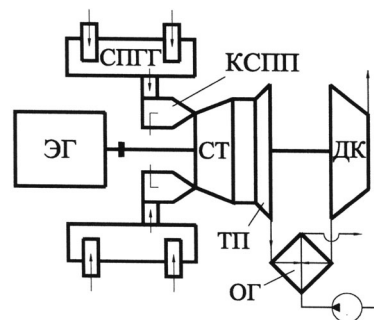


Рис. 1. Схема ГТУ с СПГГ, ПП и ТКУ:

- КСПП – камера сгорания промежуточного подогрева;
- СТ – силовая турбина;
- ТП – турбина перерасширения;
- ДК – дожимающий компрессор;
- ОГ – охладитель газа;
- ЭГ – электрогенератор

Анализ эффективности промежуточного подогрева газа производился на базе СПГГ Г-9 адиабатной мощностью 1000 кВт, абсолютным давлением и температурой

газа после СПГ равным 0,45 МПа и 783 К, расходом газа 3,88 кг/с [2]. ГТУ с СПГ Г-9 может развить эффективную мощность  $N_e = 850$  кВт при эффективном КПД  $\eta_e = 35$  %. Исследования проводились с использованием блока математической модели для определения параметров циклов а промежуточным подогревом газа перед силовой турбиной, приведенной в работе [3].

**Результаты исследования.** Результаты исследования параметров циклов ГТУ с СПГ представлены на рис. 2, где показаны зависимости эффективного КПД  $\eta_e$  и относительной мощности  $\bar{N}_{\text{СПГ}}$ , показывающей эффект повышения мощности ГТУ при подогреве газа перед силовой турбиной.

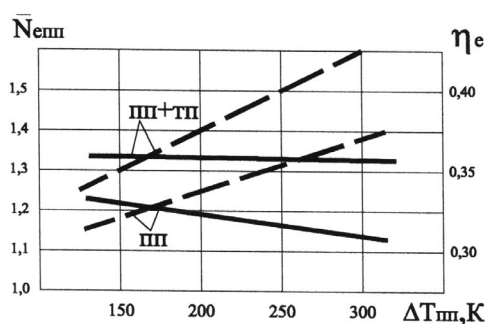


Рис. 2. Зависимости эффективного КПД  $\eta_e$  (сплошные линии) и относительной мощности  $\bar{N}_{\text{СПГ}}$  (прерывистые линии) от температуры подогрева газа  $\Delta T_{\text{пн}}$ :

ПП- ГТУ с СПГ и промподогревом газа;  
 ПП+ТП - ГТУ с СПГ, промподогревом газа и турбиной перерасширения

Газ перед СТ догревался на 150...300 К и температура газа перед СТ составляла 1033...1183 К. Соответственно, эффективная мощность ГТУ с СПГ Г-9 и ПП увеличилась в 1,19...1,38 раза, а эффективный КПД с приростом мощности энергоустановки снизился по мере увеличения подогрева газа до 31 %. Для превращения ГТУ с СПГ и ПП в установку когенерационного типа на выходе силовой турбины устанавливается котел-утилизатор.

Для решения задачи повышения мощности ГТУ с СПГ посредством промежуточного подогрева газа без снижения эффективного КПД энергоустановки возможно применение перерасширения газа за силовой турбиной, где часть утилизируемой теплоты превращается в механическую энергию.

Такой более эффективный способ повышения мощности реализуется в ГТУ с турбокомпрессорным утилизатором (ТКУ). ТКУ пристыковывается к выхлопу силовой турбины, в состав которого (см. рис. 1) входит турбина перерасширения (ТП), дожимающий компрессор (ДК) и охладитель газа (ОГ) между ними.

Установлено, то эффективная мощность ГТУ с СПГ и ТКУ при догреве газа перед силовой турбиной на 150...300 К увеличивается в 1,3...1,6 раза (рис. 2), при этом эффективный КПД остается стабильным на уровне 35...36 % при степени повышения давления в ДК  $\pi_{\text{ДК}}=2,1...2,3$ .

В предлагаемой на рис. 1 схеме охладитель газа выполняет роль теплогенератора – водяного котла утилизатора, что относит ее к классу когенерационных установок.

СПГ ранее были освоены в Украине, а производство ГТУ с СПГ и ТКУ на отечественных предприятиях возможно на базе имеющихся технологий.

#### Выводы.

1. Применение промежуточного подогрева газа в ГТУ с СПГ совместно с турбиной перерасширения является эффективным способом повышения мощности энергоустановки.

2. ГТУ с СПГ, ПП и ТКУ является установкой когенерационного типа, которая может найти широкое применение в малой энергетике.

#### Литература

1. Клименко В.Н. Проблемы когенерационных технологий в Украине // Пром. теплотехника.– 2001.– Т. 23, № 4 - 5.– С. 106-110.
2. Жуков В.С. Газотурбинные установки со свободно-поршневыми генераторами газа в энергетике.– М.: Энергетика, 1971.– 72 с.
3. Матвеев В.Т. Математическая модель для определения параметров циклов газотурбинных двигателей с промежуточным подогревом газа перед силовой турбиной // Вестн. СевГТУ: Сб. науч. тр.– Севастополь, 2002.– Вып. 38.– С. 110-114.

Поступила в редакцию 02.06.03

**Рецензенты:** д-р техн. наук, профессор В.В. Капустин, СевНТУ, г. Севастополь; канд. техн. наук, нач. каф. КЭ и ЭСС А.Ю. Гаршин, Севастопольский военно-морской институт, г. Севастополь.