

УДК 629.5:621.4

М.Р. ТКАЧ

Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова, Николаев, Украина

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ГТУ С ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ КАМЕРОЙ СГОРАНИЯ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ТОПЛИВНЫЕ РЕСУРСЫ

Методами математического моделирования показано, что энергетическая установка, использующая альтернативные топливные ресурсы и созданная на базе ГТД UGT6000 с дополнительной камерой сгорания позволяет достичь нормированных (по отношению к показателям ГТД в условиях по ISO2314) значений КПД 0,62...0,67 и мощности 0,79...0,83. Утилизация тепловой энергии продуктов сгорания позволяет повысить нормированные величины КПД до 0,95...1,01 и мощности до 1,01...1,19. Выявлено противоположное влияние параметров технологического процесса получения топлива на показатели энергетической эффективности ГТУ простой схемы и с утилизацией тепла.

характеристики, альтернативное топливо, энергетические установки

### 1. Постановка проблемы

Энерготехнологические комплексы являются перспективным направлением комплексного использования ТЭР. Дальнейшее существенное снижение затрат на генерацию энергии возможно путем применения альтернативных ТЭР, что отражено в ряде законов Украины.

**Обзор публикаций и выделение нерешенных проблем.** Ряд аспектов использования топлив, получаемых из альтернативных ТЭР в составе энерготехнологического комплекса, рассмотрен ранее [2, 4]. Показана эффективность использования дополнительной камеры сгорания (ДКС) в составе энергетической установки [3, 4].

Математическая модель газотурбинной установки (ГТУ) с ДКС позволяет определить ее КПД, мощность и ряд других показателей, а также влияние параметров на эффективность ГТУ с ДКС [4]. При математическом моделировании энергетических установок использован системный подход. Принято четыре иерархических уровня рассмотрения: энергетическая установка в целом; технологическая и энергетическая подсистемы; группы оборудования подсистем; оборудование входящие в группы.

**Цель исследований** – обобщение характеристик газотурбинных энергетических установок с дополнительной камерой сгорания, использующих альтернативные топливные ресурсы.

### 2. Решение проблемы

Общий случай схемы рассматриваемой ЭУ с утилизацией тепловой энергии отходящих газов в водяном теплотизирующем контуре одного давления (ТУК) приведен на рис. 1. ЭУ на базе ГТД простой схемы является частным случаем и моделируется путем исключения ТУК из общей схемы.

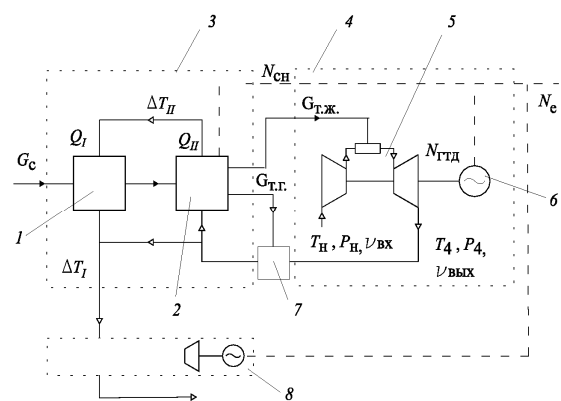


Рис. 1. Технологическая схема ГТУ с ДКС: 1 – первая ступень ТП; 2 – вторая ступень ТП; 3 – технологическая подсистема; 4 – энергетическая подсистема; 5 – газотурбинный двигатель; 6 – электрогенератор; 7 – ДКС; 8 – ТУК

Ранее получены зависимости для определения показателей эффективности рассматриваемой ЭУ [4]:

$$\begin{aligned} \eta_e &= \eta(Q_{II}, Q_I, \Delta T_{II}, \Delta T_I, \nu, \dots); \\ N_e &= N(Q_{II}, Q_I, \Delta T_{II}, \Delta T_I, \nu, \dots); \\ \bar{Q} &= Q(Q_{II}, Q_I, \Delta T_{II}, \Delta T_I, \nu, \dots), \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\eta_e, N_e$  – эффективные значения КПД и мощности ЭУ;

$$\bar{Q} = \frac{G_{T.G.}}{G_C} \text{ – относительный расход топлива на}$$

ДКС;

$Q_{II}, Q_I$  – удельные затраты тепла на вторую и первую ступени технологического процесса;

$\Delta T_{II}, \Delta T_I$  – температурный напоры на выходе второй и первой ступеней ТП;

$\nu = \nu_{вых}$  – коэффициент восстановления полного давления выхлопного тракта ГТД.

Обобщенная характеристика ЭУ представлена в виде

$$\bar{N} = F(\bar{\eta}), \quad (2)$$

где  $\bar{\eta} = \frac{\eta_e}{\eta_{ГТД_{ISO}}}$ ,  $\bar{N} = \frac{N_e}{N_{ГТД_{ISO}}}$  – нормированные значения КПД и мощности ЭУ;

$\eta_{ГТД_{ISO}}, N_{ГТД_{ISO}}$  – КПД и мощность "базового"

ГТД в условиях ISO 2314.

Независимые переменные  $Q_{II}, Q_I, \Delta T_{II}, \Delta T_I, \nu$  выступают в качестве параметров обобщенной характеристики (2). Приведенная зависимость отображается поверхностью в  $n$  мерном пространстве. Графическое представление ее целесообразно осуществлять путем сечения поверхности при фиксированных сочетаниях независимых переменных.

Характеристика ГТУ с ДКС определена применительно к использованию ГТД UGT6000 при  $T_n = 288\text{K}$  производства НПКГ "Зоря"- "Машпроект" ( $\eta_{ГТД_{ISO}} = 0,315, N_{ГТД_{ISO}} = 6,7 \text{ МВт}, T_4 = 693 \text{ К}$ ). Показатели ГТД в условиях по ISO2314 ( $T_n = 288\text{K}, \nu_{вх} = 0, \nu_{вых} = 0$ ) приняты по [1, 5]. Приведенные

ниже результаты получены в диапазоне варьирования параметров, соответствующем данным [4] (рис. 2). Здесь линиями определенного типа отображены характеристики  $\bar{N} = F(\bar{\eta})$  при постоянных значениях  $\nu$  или  $Q_{II}$  и варьировании остальных параметров. Величина  $\Delta T_{II}$ , при которой построены характеристики, идентифицирована цветом линий.

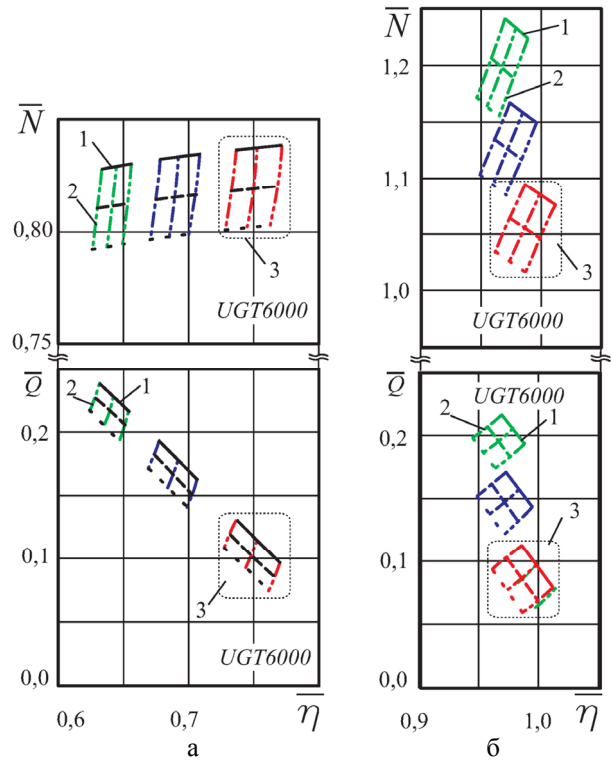


Рис.2. Характеристики ГТУ с ДКС:  
а – UGT6000; б – UGT6000CC:

- 1 –  $\nu = const$ ; 2 –  $Q_{II} = const$ ; 3 –  $\Delta T_{II} = const$ ;
- $\nu = 0,94$       -----  $Q_{II} = 800 \text{ Вт}\cdot\text{ч}/\text{кг}$       ■  $\Delta T_{II} = 30\text{K}$
- .....  $\nu = 0,96$       -----  $Q_{II} = 900 \text{ Вт}\cdot\text{ч}/\text{кг}$       ■  $\Delta T_{II} = 55\text{K}$
- $\nu = 0,98$       -----  $Q_{II} = 1000 \text{ Вт}\cdot\text{ч}/\text{кг}$       ■  $\Delta T_{II} = 80\text{K}$

Полученные результаты свидетельствуют, что в рассматриваемом диапазоне параметров мощность ГТУ простой схемы изменяется в достаточно узком диапазоне –  $\bar{N} = 0,79 \dots 0,83$ , а КПД – более существенно:  $\bar{\eta} = 0,62 \dots 0,77$  (рис. 2а). При этом, в условиях  $\Delta T_{II} = const$  диапазон изменения значений мощности и КПД ГТУ не превышает 2%. Увеличение температурного напора  $\Delta T_{II}$  от 30К до 80К приводит к снижению КПД установки на 10%...12% и существенно

меньшему снижению мощности.

Применительно к схеме с утилизацией тепла отходящих газов характер зависимости  $\bar{N} = F(\bar{\eta})$  изменяется на противоположный, по сравнению с зависимостью для ГТУ простой схемы (рис. 2, б). Здесь уже при увеличении температурного напора  $\Delta T_{II}$  от 30К до 80К величина КПД изменяется в узком диапазоне  $\bar{\eta} = 0,95...1,01$ , а мощность в существенно более широком –  $\bar{N} = 1,01...1,19$ . Отличие характеристик ГТУ различных схем связано с различным распределением потоков энергии в рассматриваемых ЭУ. Повышение значения  $\Delta T_{II}$  приводит к необходимости большего подогрева отходящих газов в ДКС. Это требует большего производства газового топлива в технологической подсистеме, что связано с повышением температуры технологического процесса выработки альтернативного топлива [3]. В случае ГТУ простой схемы, это приводит к снижению, как КПД, так и мощности установки. Для варианта схемы с утилизацией тепла, повышение  $\Delta T_{II}$  приводит к незначительному росту КПД ЭУ, связанному с увеличением мощности паровой турбины ТУК вследствие роста температуры продуктов сгорания на входе в утилизационный котел.

Величина относительного расхода топлива на ДКС варьируется в диапазонах 0,08...0,23 для простой схемы ЭУ и 0,06...0,21 для схемы с ТУК. При этом, меньшие значения  $\bar{Q}$  соответствуют более низким величинам  $\Delta T_{II}$ .

### Выводы

1. Энергетическая установка, использующая альтернативное топливо, созданная на базе ГТД UGT6000 с дополнительной камерой сгорания позволяет достичь нормированных (по отношению к таковым для ГТД в условиях по ISO2314) значений КПД 0,62...0,77 и мощности 0,79...0,83.

2. Утилизация тепла продуктов сгорания позволяет повысить нормированные величины КПД до 0,95...1,01 и мощности – 1,01...1,19. 3. Выявлено противоположное влияние параметров технологического процесса получения топлива на показатели энергетической эффективности ГТУ рассмотренных схем.

### Литература

1. Газотурбинные двигатели для энергетики и газотурбинные электростанции. – Николаев: НПКГ «Зоря»-«Машпроект», 2004. – 20 с.
2. Головащенко А.Ф., Тимошевский Б.Г., Ткач М.Р. Энерготехнологические газотурбинные комплексы на базе альтернативных топлив // Судовое и энергетическое газотурбостроение. Научно-техн. сб. Т. 1. – Николаев: НПКГ «Зоря»-«Машпроект», ИО ИАУ. – 2004. – С. 281-285.
3. Ткач М.Р. Моделирование влияния технологических параметров на эффективность газотурбинных энергетических установок с ДКС для специализированных технологических судов // Авиационно-космическая техника и технология. – 2005. – № 10 (26). – С. 111-115.
4. Ткач М.Р. Влияние мощности на эффективность газотурбинных энергетических установок с ДКС для специализированных технологических судов // Вестник двигателестроения. – Запорожье: Мотор Сич, 2005. – № 2. – С. 26-31.
5. Gas turbine world 2005-05 GTW handbook. Vol.24. – Pequot Publishing Inc. – 2006. – 208 p.

*Поступила в редакцию 15.05.2008*

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. С.И. Сербин, Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, Николаев.