

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.

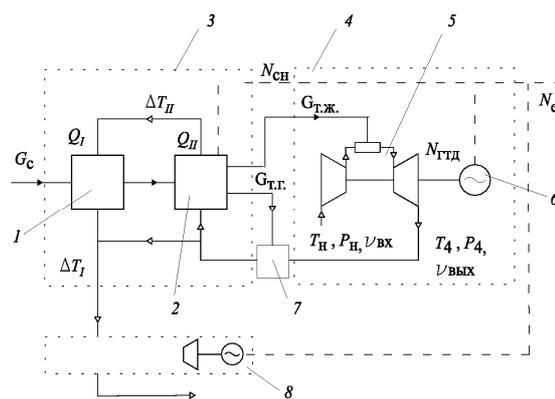


Рис. 1. Технологическая схема ГТУ с ДКС: 1 – первая ступень ТП; 2 – вторая ступень ТП; 3 – технологическая подсистема; 4 – энергетическая подсистема; 5 – газотурбинный двигатель; 6 – электрогенератор; 7 – ДКС; 8 – ТУК

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 η_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 ступени ТП;

$\nu = \nu_{ввх}$ – 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 ν или Q_{II} и варьировании остальных параметров. Величина ΔT_{II} , при которой построены характеристики, идентифицирована цветом линий.

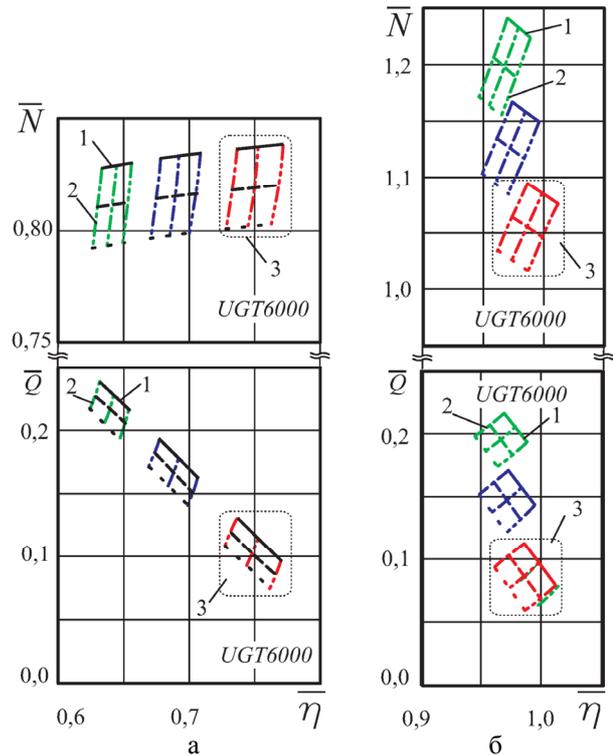


Рис.2. Характеристики ГТУ с ДКС:
а – UGT6000; б – UGT6000CC:

- 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 ΔT_{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 ΔT_{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 ΔT_{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 ΔT_{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 ΔT_{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.