

УДК 629.5:621.4

М.Р. ТКАЧ

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

## ХАРАКТЕРИСТИКИ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК НА БАЗЕ ГТД С ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ КАМЕРОЙ СГОРАНИЯ

Характеристики энергетических установок специализированных судов на базе ГТД с ДКС, использующих альтернативное топливо, получены методами математического моделирования. Показана слабая зависимость КПД судовой энергетической установки (СЭУ) от температуры наружного воздуха. Получены значения температур  $T_n$ , обеспечивающие максимальные значения мощности СЭУ.

**характеристики, альтернативное топливо, судовые энергетические установки**

### Введение

**Постановка проблемы.** Применение судовых энерготехнологических комплексов является весьма перспективной отраслью науки и техники. Существенное снижение затрат специализированных технологических судов возможно путем применения альтернативных топлив, что отражено в Законе Украины "Про альтернативні види рідкого та газового палива" (№ 1391-XIV от 14.01.2000 г.) и в проекте Закона Украины «Про альтернативні джерела енергії» (реестр. № 6145).

**Обзор публикаций и выделение нерешенных проблем.** Использование в судовых условиях ряда альтернативных топлив, получаемых на борту судна из углеводородного сырья, рассмотрено в [1 – 4]. Эффективность использования дополнительной камеры сгорания (ДКС) в составе энергетической установки показана ранее [5]. Математическая модель газотурбинной судовой энергетической установки с ДКС позволяет определить взаимное влияние параметров и на их основе – КПД, мощность и ряд других показателей эффективности [5, 6].

**Цель исследований** – получение обобщенных характеристик энергетических установок специализированных технологических судов на базе газотурбинных двигателей с дополнительной камерой сгорания, использующих альтернативные топлива.

### Решение проблемы

При математическом моделировании энергетических установок специализированных судов используется теория систем [5, 6]. Выделяют четыре иерархических уровня рассмотрения: энергетическая установка специализированного судна в целом; технологическая и энергетическая подсистемы; группы оборудования подсистем; оборудование входящие в группы. Общий случай схемы рассматриваемой СЭУ с утилизацией тепловой энергии отходящих газов в водяном теплоутилизующем контуре одного давления (ТУК) приведен на рис. 1. СЭУ на базе ГТД простой схемы является частным случаем и моделируется путем исключения ТУК из общей схемы.

Ранее получены зависимости для определения показателей эффективности рассматриваемой СЭУ [5]:

$$\begin{aligned} \eta_e &= \eta(T_n, Q_{кр}, Q_{пл}, \Delta T_{кр}, \Delta T_{пл}, N_{ГТД_{ISO}}, \dots); \\ N_e &= N(T_n, Q_{кр}, Q_{пл}, \Delta T_{кр}, \Delta T_{пл}, N_{ГТД_{ISO}}, \dots); \\ d_{ТГ} &= d_{ТГ}(T_n, Q_{кр}, Q_{пл}, \Delta T_{кр}, \Delta T_{пл}, N_{ГТД_{ISO}}, \dots), \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\eta_e = F(N_e, G_{пл}, Q_n, d_{ТГ})$  – эффективный КПД СЭУ;  $T_n$  – температура наружного воздуха;  $Q_{кр}, Q_{пл}$  – удельные затраты тепла на вторую и первую ступени технологического процесса (ТП);  $\Delta T_{кр}, \Delta T_{пл}$  – температурный напоры на выходе вто-

рой и первой ступеней ТП;  $N_{ГТД_{ISO}}$  – мощность ГТД в условиях *ISO 2314*;  $N_e$  – эффективная мощность СЭУ;  $d_{ТГ} = \frac{G_{Т.Г.}}{G_{ПЛ}}$  – относительный расход топлива на ДКС.

Обобщенная характеристика СЭУ может быть представлена в виде

$$\bar{\eta} = \frac{\eta_e}{\eta_{ГТД_{ISO}}} = F(\bar{N} = \frac{N_e}{N_{ГТД_{ISO}}}), \quad (2)$$

где  $\eta_{ГТД_{ISO}}$  – КПД ГТД в условиях *ISO 2314*.

Независимые переменные  $T_n, Q_{кр}, Q_{пл}, \Delta T_{кр}, \Delta T_{пл}, N_{ГТД_{ISO}}$ , 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.

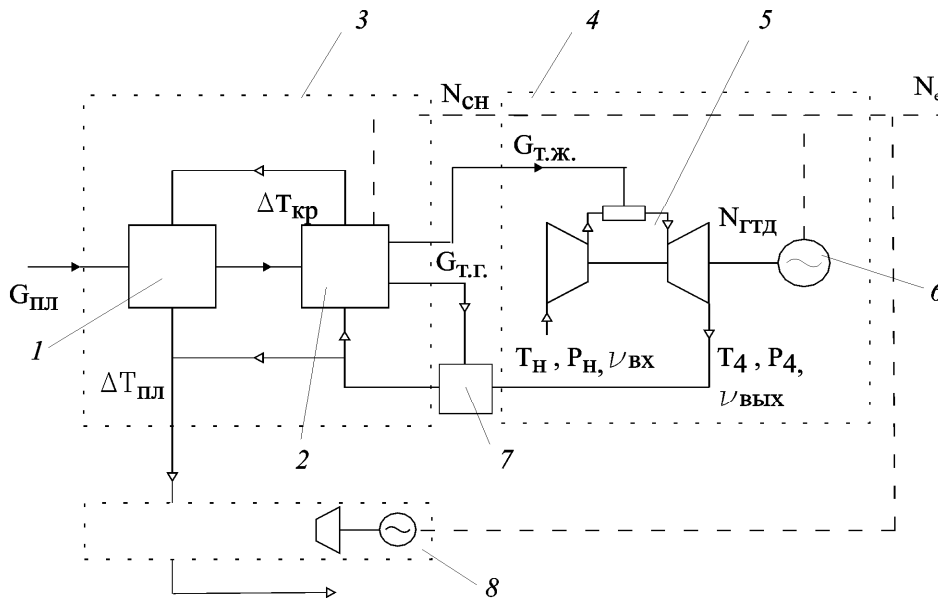


Рис. 1. Технологическая схема газотурбинной СЭУ с ДКС: 1 – первая ступень ТП, 2 – вторая ступень ТП, 3 – технологическая подсистема, 4 – энергетическая подсистема, 5 – газотурбинный двигатель, 6 – электрогенератор, 7 – ДКС, 8 – ТУК

Характеристики рассматриваемой СЭУ получены применительно к двигателям производства НПКГ «Зоря»-«Машпроект (Украина). Показатели ГТД в условиях по *ISO2314* ( $T_n = 288K$ ,  $v_{вх} = 0,0$ ,  $v_{вых} = 0,0$ ) приведены в табл. 1 по данным [1, 3].

Таблица 1

Показатели ГТД в условиях *ISO2314*

|                                             | GT<br>6000 | GT<br>15000 | GT<br>25000 |
|---------------------------------------------|------------|-------------|-------------|
| Механическая мощность $N_{ГТД_{ISO}}$ , МВт | 6,70       | 17,50       | 27,50       |
| КПД ГТД $\eta_{ГТД_{ISO}}$ , %              | 31,5       | 35,0        | 36,0        |
| Температура газов на выходе $T_H$ , К       | 693        | 706         | 748         |

Диапазоны варьирования параметров соответствуют [6]. Удельный расход электроэнергии на собственные нужды технологического оборудования  $\bar{N}_{сн} = 200$  Вт ч/кг [4]; коэффициент восстановления полного давления на входе ГТД  $v_{вх} = 0,985$ ; КПД генератора  $\eta_{ген} = 0,962$ .

Как следует из приведенных результатов, наиболее существенное влияние на значение эффективной мощности СЭУ специализированного судна оказывает температуры наружного воздуха  $T_n$  (рис. 2).

Напротив, величина КПД СЭУ в рассмотренном диапазоне варьирования параметров более существенно зависит от температурного напора на выходе

второй ступени ТП –  $\Delta T_{кр}$ . Характеристики СЭУ на базе ГТД GT6000 и GT15000 качественно и количественно весьма сходны. Максимальное значение

мощности СЭУ достигается при значении  $T_n = 258\text{К} \dots 268\text{К}$ , весьма близком к нижней границе рассматриваемого температурного диапазона.

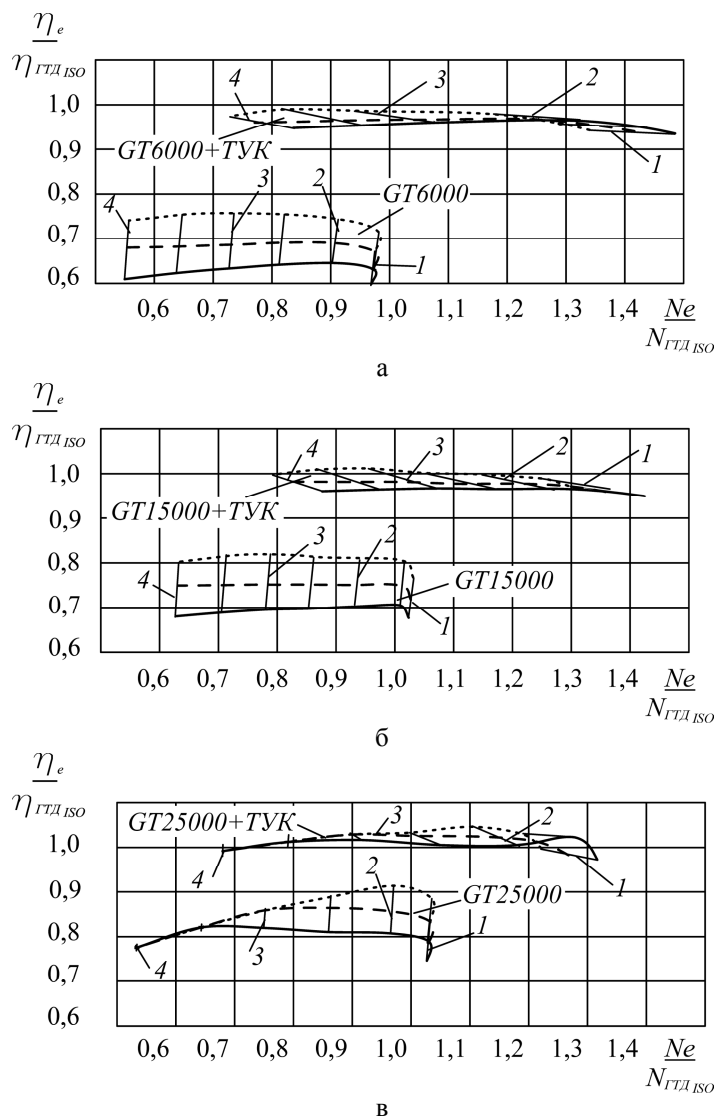


Рис. 2. Обобщенные характеристики газотурбинной СЭУ с ДКС для специализированного судна:  
а – GT6000; б – GT15000; в – GT25000;

—  $\Delta T_{кр} = 80\text{К}$ ; .....  $\Delta T_{кр} = 55\text{К}$ ; .....  $\Delta T_{кр} = 30\text{К}$ ;  
1 –  $T_n = 258\text{К}$ , 2 –  $T_n = 278\text{К}$ , 3 –  $T_n = 298\text{К}$ , 4 –  $T_n = 318\text{К}$

Зависимость эффективного КПД СЭУ от температуры наружного воздуха оказалась весьма слабой. Такой характер зависимости (2) в функции параметра  $T_n$  объясняется взаимосвязью параметров технологической и энергетической подсистем СЭУ с ДКС [5]. При снижении температуры  $T_n$  повышение КПД ГТД нивелируется повышением затрат топлива на обеспечение температурного режима технологической подсистемы (т.е. на ДКС). Утилизация теп-

ловой энергии отходящих газов ГТД (ТУК) не изменяет качественный характер рассматриваемых зависимостей.

Для СЭУ на базе ГТД GT25000 влияние температуры воздуха на входе  $T_n$  существенно иное, по сравнению с рассмотренным выше. Как следует из приведенных данных при условии  $\Delta T_{кр} = \text{const}$ , существуют два оптимальных значения температу-

ры  $T_n$ , обеспечивающие экстремумы, как по КПД, так и мощности СЭУ (рис. 2, в). При этом максимальная мощность СЭУ с ДКС обеспечивается в диапазоне температур  $T_n = 258 \dots 268$  К для рассмотренных сочетаний параметров как простой схемы, так и схемы с ТУК. Напротив, максимальное значение КПД СЭУ достигается при температурах  $T_n$ , существенно зависящих от  $\Delta T_{кр}$ . При повышении температурного напора  $\Delta T_{кр}$  с 30 до 80 К указанное значение  $T_n$  повышается от 288 до 308 К. Применение ТУК существенно снижает зависимость КПД СЭУ на базе ГТД GT25000с ДКС.

Отмеченное качественное различие характеристик СЭУ является следствием различных значений температур газов на выходе базовых ГТД (табл. 1) и их зависимостей от  $T_n$  [5]. Применительно к СЭУ на базе ГТД GT6000 и GT15000 для всех рассмотренных значений  $T_n$  величина  $T_4$  не обеспечивает температурный уровень технологического процесса подготовки альтернативного топлива. Это приводит к дополнительным затратам топлива в технологической подсистеме и адекватному снижению КПД и мощности СЭУ. Данное положение подтверждается существенным влиянием  $\Delta T_{кр}$  на характеристики рассматриваемых СЭУ. В варианте создания СЭУ на базе GT25000 при температурах на входе ГТД выше 275 ... 285 К температура газов на выходе уже достаточно высока для проведения технологического процесса подготовки альтернативного топлива. В этом случае дополнительные затраты топлива на обеспечение технологического процесса подготовки альтернативного топлива не требуются. Снижение КПД СЭУ при повышении  $T_n$  в этом диапазоне связано только со снижением КПД ГТД.

### Выводы

1. Построены обобщенные характеристики СЭУ на базе ГТД мощностью 6 ... 25 МВт.

2. Выявлены значения температур наружного воздуха  $T_n = 268 \dots 288$  К, обеспечивающие максимальные значения КПД и мощности СЭУ.

### 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-технический сборник. Т. 1. – Николаев: НПКГ «Зоря»-«Машпроект», НО ИАУ, 2004. – С. 281-285.
3. Сташок А.Н., Шелестюк А.И. Газотурбинные двигатели НПП «Машпроект» для электростанций. Опыт и новые энергосберегающие технологии // Известия академии инженерных наук Украины. – Николаев: НПП Машпроект, 1999. – Вып. 1. – С. 52-57.
4. Тимошевский Б.Г., Ткач М.Р. Альтернативные топлива для тепловых двигателей // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – Х.: Нац. аерокосм. ун-т «ХАІ», 2001. – Вып. 26. – С. 13-18.
5. 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.
6. 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.

Поступила в редакцию 6.06.2006

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