

УДК 629.5:621.4

М.Р. ТКАЧ

*Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова, Николаев, Украина***ОБОБЩЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАЗОТУРБИННЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СУДОВ**

Приведены характеристики энергетических установок специализированных судов на базе ГТД, использующих альтернативное топливо. Выявлены оптимальные значения температур наружного воздуха $T_n = 268...288\text{K}$, обеспечивающие максимальные значения КПД и мощности СЭУ.

характеристики, альтернативное топливо, судовые энергетические установки

Введение

Постановка проблемы. Рациональным путем существенного снижения топливной составляющей затрат специализированных технологических судов является применение альтернативных топлив. Актуальность данного направления отражена 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. Применение специализированных технологических судов – энерготехнологических комплексов – дает ряд существенных преимуществ по сравнению со стационарным размещением аналогичных производств. Выполненные ранее исследования показали целесообразность использования в судовых условиях ряда альтернативных топлив, получаемых на борту судна из углеводородного сырья – нефти, отходов полимеров и др. [1 – 4]. Электрический обогрев технологического оборудования (ТП) дает ряд компоновочных преимуществ при создании судовых энергетических установок [5]. Утилизация тепловой энергии отходящих газов осуществляется в водяном теплоутилизующем контуре (ТУК) одного давления. Математическая модель газотурбинной судовой энергетической установки (СЭУ) с электрическим обогревом технологического оборудования позволяет определить параметры рабочих

тел и теплоносителей и, на их основе, показатели эффективности СЭУ (КПД и мощность и ряд других) [5]. Влияние основных параметров на показатели эффективности газотурбинных энергетических установок специализированных технологических судов показано ранее [6].

Цель исследований. Обобщение зависимостей показателей эффективности газотурбинных энергетических установок специализированных технологических судов на базе альтернативных топлив с электрическим обогревом технологического оборудования.

Решение проблемы

Укрупненная структурная схема судовой газотурбинной энергетической установки с электрическим обогревом технологического оборудования и, в общем случае, утилизацией тепловой энергии отходящих газов приведена на рис. 1. СЭУ на базе ГТД простой схемы является частным случаем общей схемы.

Зависимости для определения показателей судовой газотурбинной энергетической установки с электрическим обогревом технологического оборудования представлены в общем виде [5, 6]:

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

где $\eta_e = F(N_e, G_{пл}, Q_{н}, N_T)$ – эффективный КПД СЭУ;

T_n – температура наружного воздуха;

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

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

$N_{ГТД ISO}$ – мощность ГТД в условиях ISO 2314;

N_e, N_T – эффективная мощность СЭУ и электрическая мощность ТП.

На базе приведенных зависимостей получена обобщенная характеристика СЭУ

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

где $\bar{\eta} = \frac{\eta_e}{\eta_{ГТД ISO}}$, $\bar{N} = \frac{N_e}{N_{ГТД ISO}}$ – относительные

значения КПД и мощности СЭУ;

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

В качестве независимых параметров обобщенной характеристики (2) выступают параметры СЭУ $T_n, Q_{кр}, Q_{пл}, \Delta T_{кр}, \Delta T_{пл}, N_{ГТД ISO} \dots$. Совокупность характеристик (2) образуют обобщенную характеристику СЭУ.

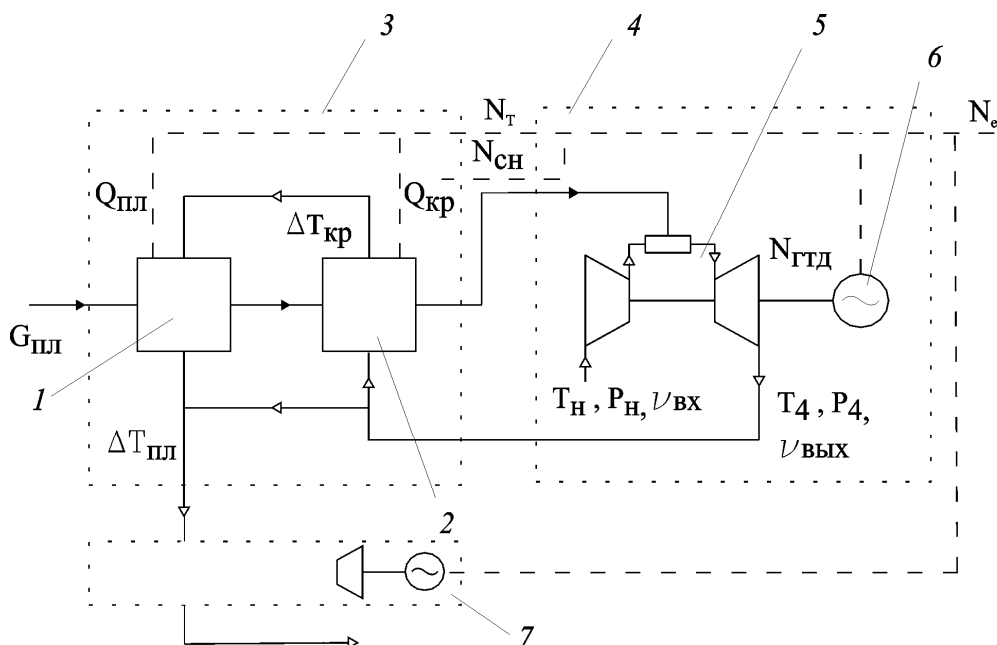


Рис. 1. Структурная схема газотурбинной энергетической установки специализированного судна: 1 – первая ступень ТП; 2 – вторая ступень ТП; 3 – технологическая подсистема; 4 – энергетическая подсистема; 5 – газотурбинный двигатель; 6 – электрогенератор; 7 – ТУК

Построение поля характеристик (2) газотурбинной СЭУ выполнено применительно к двигателям отечественного производства (НПКГ «Зоря»-«Машпроект»). Необходимые характеристики ГТД в условиях по ISO2314 ($T_n = 288K$, $v_{вх} = 0,0$, $v_{вых} = 0,0$) приведены в табл. 1 по данным [1, 3]. Приведенные ниже результаты получены при следующих исходных данных. Диапазоны варьирования параметров СЭУ приняты в соответствии с [6], удельный расход электроэнергии на собственные нужды технологи-

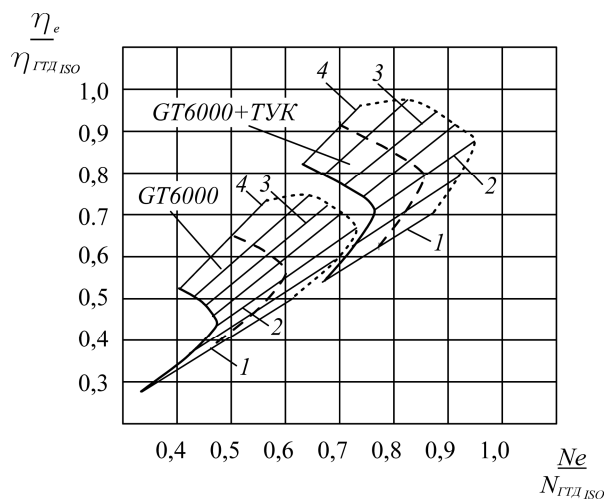
ческого оборудования $\bar{N}_{сн} = 200$ Вт ч/кг [4]; коэффициент восстановления полного давления на входе ГТД $v_{вх} = 0,985$; КПД генератора $\eta_{ген} = 0,962$.

Как следует из приведенных результатов, влияние температуры наружного воздуха T_n на КПД и мощность СЭУ специализированного судна весьма существенно. Обобщенные характеристики СЭУ на базе ГТД GT6000 и GT15000 имеют весьма сходный характер и количественные значения. Для всех сочетаний рассматриваемых параметров существует оп-

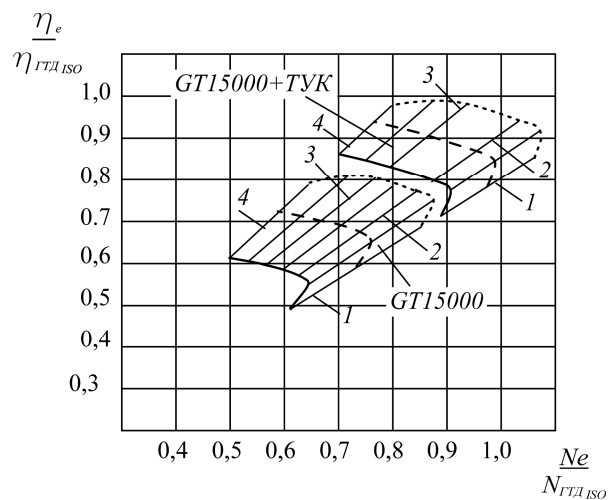
тимальное значение $T_n = 268...278\text{K}$, обеспечивающее максимальное значение мощности СЭУ. Максимальное значение КПД СЭУ достигается во всех случаях при максимальном значении $T_n = 358\text{K}$. Снижение температуры наружного воздуха приводит к однозначному снижению КПД. Вместе с тем, при температурах выше $T_n = 268...278\text{K}$ темп снижения КПД в зависимости от температуры T_n в несколько раз ниже такового чем при более высоких температурах. Отмеченный характер зависимости (2) в функции параметра T_n определяется взаимосвязью эффективностей преобразования энергии в технологической и энергетической подсистемах рассматриваемых СЭУ [5, 6]. Следует от-

метить, что применение утилизации тепловой энергии отходящих газов ГТД (ТУК) не изменяет качественный характер рассматриваемых зависимостей. Применительно к СЭУ на базе ГТД GT25000 влияние параметра T_n существенно иное, по сравнению с рассмотренным выше. Как следует из приведенных данных, существуют два оптимальных значения температур T_n , обеспечивающие экстремумы, как по КПД, так и мощности СЭУ (рис. 2, в). Оптимальное значение КПД СЭУ достигается при температуре $T_n = 278...288\text{K}$, а оптимальное значение ее мощности – при $T_n = 268...278\text{K}$.

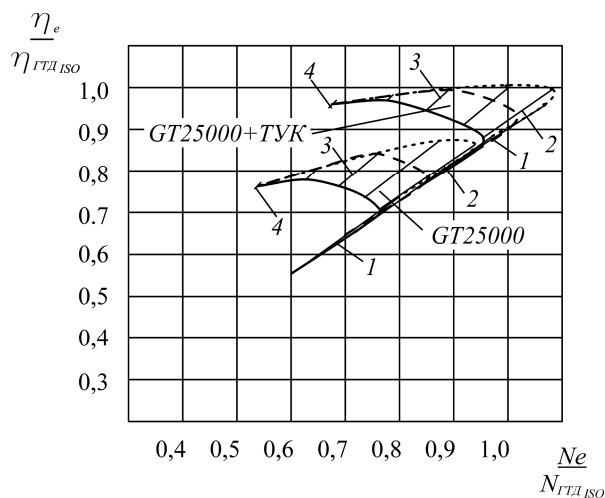
Данный характер зависимостей сохраняется и при применении ТУК.



а



б



в

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

— $\Delta T_{кр} = 80\text{K}$;

..... $\Delta T_{кр} = 55\text{K}$;

..... $\Delta T_{кр} = 30\text{K}$;

1 – $T_n = 258\text{K}$, 2 – $T_n = 278\text{K}$,

3 – $T_n = 298\text{K}$, 4 – $T_n = 318\text{K}$

Выявленное качественное различие характеристик СЭУ, является следствием различных значений температур газов на выходе базовых ГТД (табл. 1) и их зависимостей от T_n . 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 электрической энергии в технологической подсистеме и адекватному снижению КПД и мощности СЭУ. Данное положение подтверждается существенным влиянием температурного напора $\Delta T_{кр}$ на характеристики СЭУ. В варианте создания СЭУ на базе GT25000 при температурах на входе ГТД выше 275...285К температура газов на выходе уже достаточно высока для проведения технологического процесса подготовки альтернативного топлива. Снижение КПД СЭУ при повышении T_n в этом диапазоне связано только со снижением КПД ГТД. В этом случае дополнительные затраты энергии на обеспечение технологического процесса подготовки альтернативного топлива не требуются.

Таблица 1
Параметры и показатели ГТД

Параметры, показатели (в условиях ISO2314)	GT 6000	GT 15000	GT 25000
Механическая мощность ГТД, МВт	6,70	17,50	27,50
КПД, %	31,5	35,0	36,0
Температура газов на выходе, К	693	706	748

Выводы

1. Построены обобщенные характеристики СЭУ на базе ГТД мощностью 6...25 МВт.
2. Выявлены значения температур наружного воздуха $T_n = 268...288\text{К}$, 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-техн. сб. – Николаев: НПКГ «Зоря» -«Машпроект», НО ИАУ, 2004. – Т. 1. – 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. аерокосмічний ун-т «ХАІ», 2001. – Вып. 26. Двигуни та енергоустановки. – С.13-18.
5. Ткач М.Р. Моделирование влияния условий эксплуатации на эффективность газотурбинных энергетических установок специализированных судов // Вестник двигателестроения. – Запорожье: Мотор Сич, 2004. – № 2. – С. 13-17.
6. Ткач М.Р. Моделирование влияния технологических параметров на эффективность газотурбинных энергетических установок специализированных судов // Авиационно-космическая техника и технология. – 2005. – № 9 (25). – С. 37-43.

Поступила в редакцию 1.06. 2006

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