

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-ХІV 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 теплоутилизирующем 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 $\eta_e = F(N_e, G_{пл}, Q_{нл}, N_T)$ – эффективный КПД СЭУ;

T_n – температура наружного воздуха;

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

$\Delta T_{кр}, \Delta T_{нл}$ – 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 $T_n, Q_{кр}, Q_{нл}, \Delta T_{кр}, \Delta T_{нл}, N_{ГТД_{ISO}} \dots$. Совокупность характеристик (2) образуют обобщенную характеристику СЭУ.

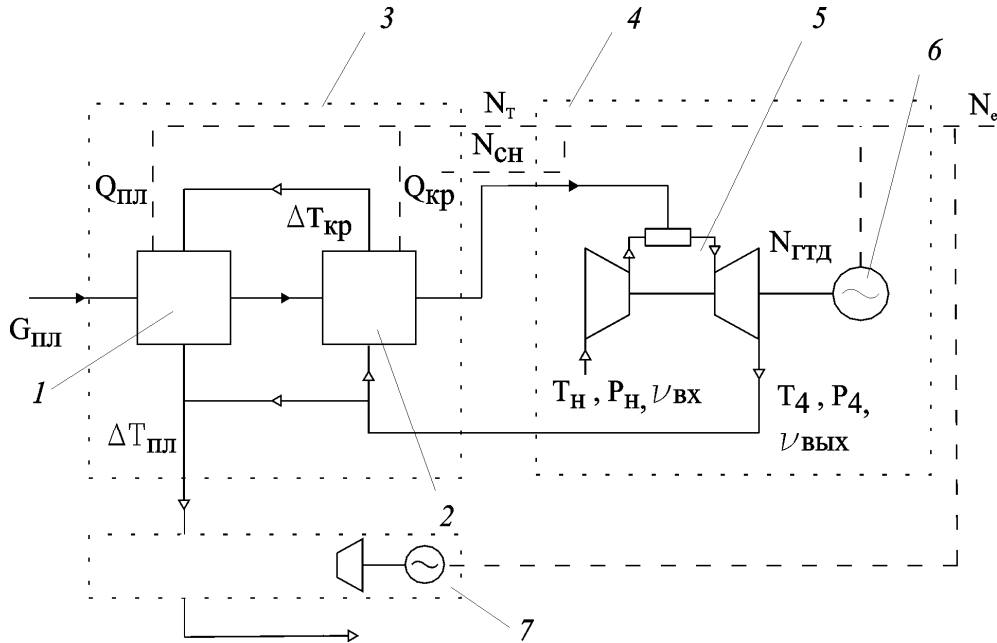


Рис. 1. Структурная схема газотурбинной энергетической установки специализированного судна: 1 – первая ступень ТП; 2 – вторая ступень ТП; 3 – технологическая подсистема; 4 – энергетическая подсистема; 5 – газотурбинный двигатель; 6 – электрогенератор; 7 – ТУК

Построение поля характеристик (2) газотурбинной СЭУ выполнено применительно к двигателям отечественного производства (НПКГ «Зоря»-«Машпроект»). Необходимые характеристики ГТД в условиях по ISO2314 ($T_n = 288\text{K}$, $v_{вх} = 0,0$, $v_{вых} = 0,0$) 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 $\bar{N}_{сн} = 200 \text{ Вт ч/кг}$ [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.

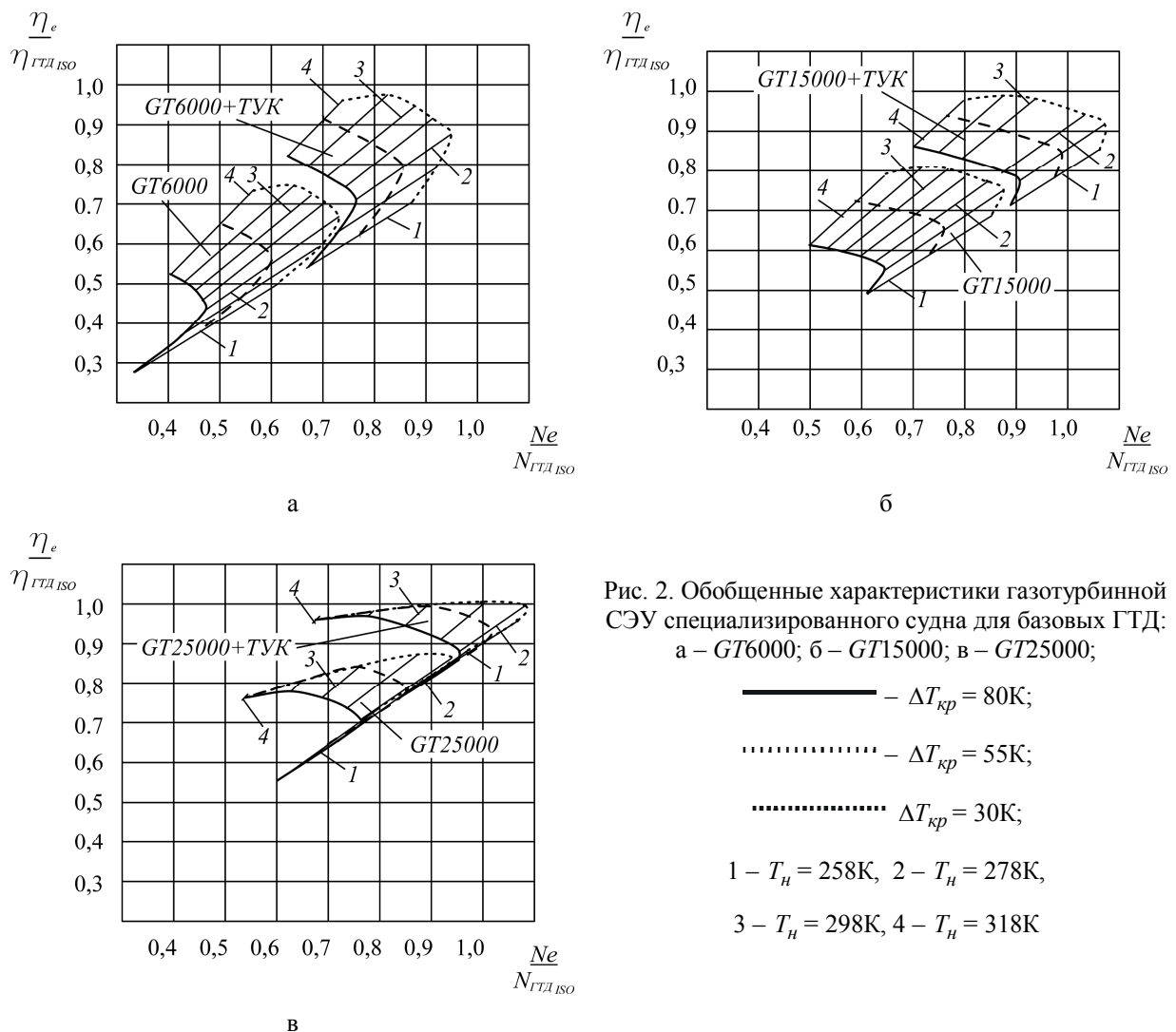


Рис. 2. Обобщенные характеристики газотурбинной СЭУ специализированного судна для базовых ГТД: а – $GT6000$; б – $GT15000$; в – $GT25000$;

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 $T_n = 268...288\text{K}$, 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.