

УДК 629.5:621.4

М.Р. ТКАЧ, Б.Г. ТИМОШЕВСКИЙ, Н.В. ВАЩИЛЕНКО, А.В. МАЗЫРКО

Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, Украина

### ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГАЗО-ПАРОТУРБИННЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ТОПЛИВНЫЕ РЕСУРСЫ

Определены эффективные значения КПД и мощности газо-паротурбинных установок, использующих альтернативные топливные ресурсы (АТЭР). На технологическом уровне ГТД соответствующем UGT15000 (при  $T_3 = 1400$  К) КПД установки составляет 0,36...0,38, а мощность – 19...21 МВт. Показано, что применение газо-паротурбинных установок на базе альтернативных ТЭР обеспечивает по сравнению с ГТУ повышение КПД на 5...10% при одновременном снижении степени повышения давления турбокомпрессоров ГТД. С использованием изопараметрических кривых определены диапазоны параметров установки, при которых достигаются лучшие величины КПД и мощности. Выявлено слабое влияние параметров технологического процесса получения топлива на показатели установки.

**Ключевые слова:** газо-паротурбинные установки, параметры, альтернативное топливо.

#### Постановка проблемы

Актуальность применения альтернативных топливных ресурсов (ТЭР) отражена в Законах Украины "Про альтернативні види рідкого та газового палива" и "Про альтернативні джерела енергії", также в постановлениях правительства Украины.

**Обзор публикаций и выделение нерешенных проблем.** Существенное повышение эффективности применения газо-паротурбинных установок связано с использованием жидкого топлива, получаемого в составе такой установки из альтернативных топливно-энергетических ресурсов [1, 2]. Структурная схема комбинированной газо-паротурбинной энергетической установки включает в себя первую и вторую ступени технологической подсистемы (ТП) получения жидкого топлива из АТЭР, энергетическую подсистему (ЭП) и подсистему утилизации тепла (ТУК) (рис. 1) [3].

Влияние основных параметров технологического процесса и факторов окружающей среды ранее исследовано методами системного анализа применительно к "базовым" ГТД отечественного производства [3, 4]. Показано весьма слабое влияние температуры воздуха на входе и температурного напора на выходе ТП на КПД комбинированной установки. Выявлен дополнительный резерв повышения эффективности ЭУ, возникающий вследствие рационального перераспределения потоков энергии между ее подсистемами.

**Цель исследований.** Определение энергетической эффективности и диапазонов рациональных

параметров технологической и энергетических подсистем комбинированных газо-паротурбинных ЭУ, использующих альтернативные ТЭР.

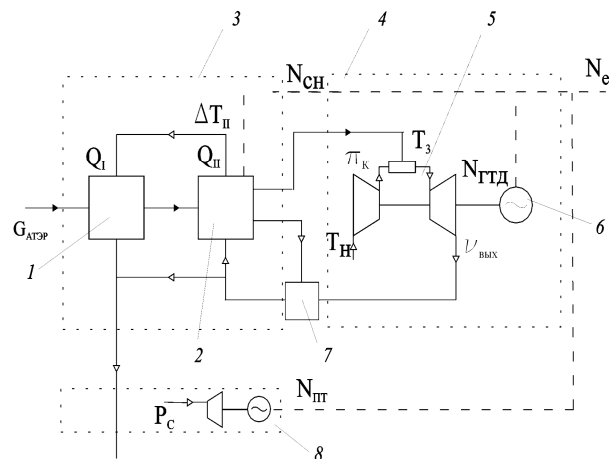


Рис. 1. Газо-паротурбинная ЭУ на базе АТЭР:  
1 – первая ступень ТП; 2 – вторая ступень ТП;  
3 – ТП; 4 – ЭП; 5 – ГТД; 6 – генератор;  
7 – ДКС; 8 – ТУК

#### Решение проблемы

Зависимости эффективных значений показателей эффективности комбинированной ЭУ (КПД –  $\eta_e$ , мощности –  $N_e$ , давления пара в сепараторе ТУК –  $P_c$ , относительной мощности паровой турбины –  $\bar{N}_{ПТ}$ ) представлены в общем виде в соответствии с [4]:

$$F = F(T_3, T_1, \pi_K, \text{ПИ}, Q_{II}, \Delta T_{II}, v, \dots);$$

где  $T_3, T_1$  – среднemasсовая температура газов перед турбиной высокого давления ГТД и температура наружного воздуха;

$\pi_K$  – суммарная степень повышения давления компрессоров ГТД;

ПИ – параметры идентификации модели ГТД;

$Q_{II}, \Delta T_{II}$  – удельные затраты тепла и температурный напор на выходе второй ступени ТП;

$v_{\text{вых}}$  – коэффициент восстановления полного давления на выходе ГТД.

Относительная мощность паровой турбины  $\bar{N}_{\text{ПТ}}$  определена как доля ее механической мощности в общей механической мощности газопаротурбинной установки.

Параметры идентификации (ПИ) модели судового двухкаскадного ГТД и влияние аэродинамического сопротивления выхлопного тракта ГТД определены аналогично [4].

Зависимости показателей эффективности комбинированной ЭУ от ее параметров может быть представлена поверхностью  $F$  в многомерном пространстве  $T_3, T_1, \pi_K, \text{ПИ}, Q_{II}, \Delta T_{II}, v, \dots$ . Наглядное ее изображение выполнено в виде изопараметрических кривых [4]. Приняты следующие исходные данные: температуры  $T_1 = 288\text{K}$ , а  $T_3 = 1400\text{K}$ ; значения параметров идентификации определены для отечественного ГТД четвертого поколения UGT15000 ( $\eta_{\text{ГТДISO}} = 0,35$ ,  $N_{\text{ГТДISO}} = 17,5 \text{ МВт}$ ,

$T_3 = 1350\text{K}$ ,  $\pi_K = 19,6$ ) [3, 5]; параметры подсистемы утилизации тепла соответствуют [3].

Проведенные исследования выявили весьма слабую зависимость показателей ЭУ от величины параметров ТП (удельных затрат тепла и температурного напора на выходе второй ступени ТП) получения жидкого топлива. Это связано с достаточно высокими значениями температуры на выходе ГТД в составе комбинированной установки –  $790 \dots 920\text{K}$ , что существенно выше температуры технологического процесса получения топлива ( $670 \dots 720\text{K}$ ). В результате, возникает возможность использования исключительно тепла отходящих газов ГТД для реализации ТП получения топлива.

Приведенные ниже результаты получены применительно к следующим диапазонам варьирования параметров газопаротурбинной ЭУ:  $\pi_K = 8 \dots 16$ ,  $Q_{II} = 800 \dots 1000 \text{ Вт}\cdot\text{ч}/\text{кг}$ ;  $\Delta T_{II} = 30 \dots 80\text{K}$ ,  $v = 0,94 \dots 0,98$  [4].

Как следует из полученных результатов, максимальное значение КПД газопаротурбинной установки достигается в условиях низких сопротивлений выхлопного тракта ( $v = 0,98$ ) при  $\pi_K = 15 \dots 16$  (рис. 2, а).

Повышение сопротивления этого тракта приводит к одновременному снижению и КПД установки и рациональных значений  $\pi_K$ . Напротив, наибольшая мощность установки достигается при величине  $\pi_K$  менее десяти во всем рассмотренном диапазоне варьирования  $v$  (рис. 2, б).

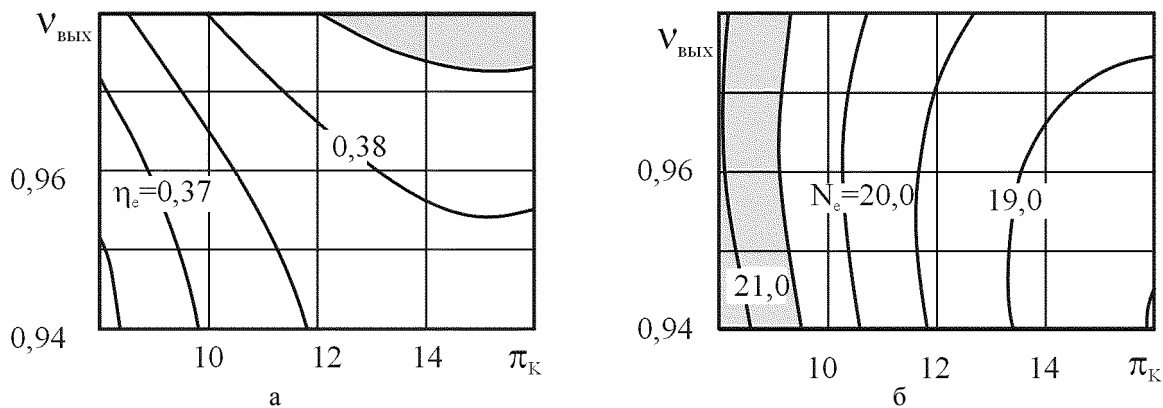


Рис. 2. Эффективные значения КПД (а) мощности (б) газопаротурбинной ЭУ, использующей АТЭР

Общая же тенденция взаимосвязи значений мощности и КПД газопаротурбинной установки демонстрирует обратно пропорциональный характер. Относительная мощность паровой турбины изменяется в диапазоне  $0,22 \dots 0,31$ , а давление в сепараторе ТУК –  $1,7 \dots 3,0 \text{ МПа}$  (рис. 3). Причем, большие их значения соответствуют меньшим величинам  $\pi_K$ . В

этом случае доля мощности паротурбинной части комбинированной установки существенно увеличивается.

Сравнение полученных результатов с аналогичными, но полученными применительно к установке на базе ГТД простой схемы [6] выявило существенные качественные и количественные раз-

личия показателей. Применительно к ГТУ на базе альтернативных ТЭР влияние параметров ТП на эффективность ЭУ более чем существенно [6].

Следует отметить также снижение рациональных величин  $\pi_K$  с 18...20 до 14...15 и рост значения КПД на 0,05...0,15. Причем, отклонение  $\pi_K$  от оптималь-

ных показателей приводит в комбинированной установке к весьма незначительному снижению КПД по сравнению с ГТД простой схемы. Это является следствием повышения температуры на выходе ГТД приводящего к увеличению мощности паровой турбины.

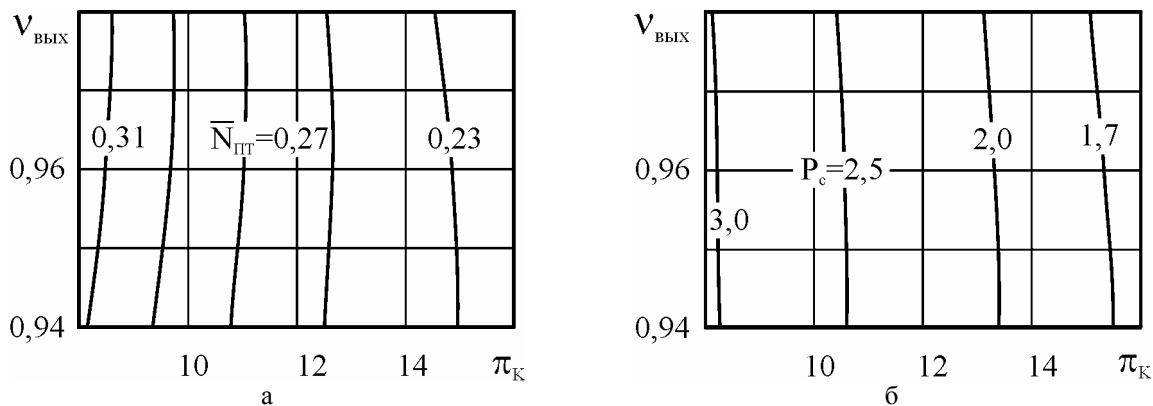


Рис. 3. Относительная мощность паровой турбины (а) и давление в сепараторе (б) газо-паротурбинной ЭУ, использующей АТЭР

Что и частично компенсирует снижение мощности ГТД. Выявленное весьма слабое влияние параметров ТП указывает на целесообразность применения различных вариантов альтернативных ТЭР в качестве топлива газо-паротурбинной установки. Критерием же применимости АТЭР выступает соотношение между температурами ТП переработки ТЭР в жидкое топливо и отходящих газов ГТД.

### Выводы

1. Показано, что применение газо-паротурбинных установок обеспечивает по сравнению с ГТУ на базе альтернативных ТЭР повышение КПД на 5...10% при одновременном снижении  $\pi_K$  на 4...5 отн. ед.

2. Доказана энергетическая эффективность применения достаточно широкого спектра альтернативных ТЭР в газо-паротурбинных установках.

### Литература

1. Головащенко А.Ф. Энерготехнологические газотурбинные комплексы на базе альтернативных топлив / А.Ф. Головащенко, Б.Г. Тимошевский,

М.Р. Ткач // Судовое и энергетическое газотурбостроение: научно-технический сборник. – Николаев: НПКГ «Зоря» – «Машипроект», НО ИАУ, 2004. – Т. 1. – С. 281-285.

2. Ткач М.Р. Моделирование влияния технологических параметров на эффективность газотурбинных энергетических установок с ДКС для специализированных технологических судов / М.Р. Ткач // Авиационно-космическая техника и технология. – Х.: ХАИ, 2005. – № 10 (26). – С. 111-115.

3. Газотурбинные двигатели для энергетики и газотурбинные электростанции. – Николаев: НПКГ «Зоря» – «Машипроект», 2004. – 20 с.

4. Ткач М.Р. Характеристики ГТУ с дополнительной камерой сгорания, использующих альтернативные топливные ресурсы / М.Р. Ткач // Авиационно-космическая техника и технология. – Х.: НАКУ «ХАИ», 2008. – № 7 (54). – С. 142-144.

5. Gas turbine world 2005-05 GTW handbook. – Vol. 24. – Requot Publishing Inc. – 2006. – 208 p.

6. Ткач М.Р. К выбору параметров газотурбинных установок, использующих альтернативные топливные ресурсы / М.Р. Ткач // Авиационно-космическая техника и технология. – Х.: НАКУ «ХАИ», 2008. – № 10 (57). – С. 112-114.

Поступила в редакцию 15.05. 2009

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

### **ЕФЕКТИВНІСТЬ ГАЗО-ПАРОТУРБІННИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬ АЛЬТЕРНАТИВНІ ПАЛИВНІ РЕСУРСИ**

*М.Р. Ткач, Б.Г. Тимошевський, М.В. Ваціленко, А.В. Мазырко*

Визначено ефективні значення ККД та потужності газо-паротурбінних енергетичних установок, що використовують альтернативні паливні ресурси. За умови технологічного рівня ГТД, що відповідає UGT15000 (при  $T_3 = 1400\text{K}$ ) ККД установки складає 0,36...0,38, а потужність – 19...21 МВт. Доведено, що застосування газо-паротурбінних енергетичних установок забезпечує у порівнянні з газотурбінними установками підвищення ККД на 5...10%, та зниження ступеня підвищення тиску турбокомпресорів ГТД. З використанням ізопараметричних кривих визначено определены діапазони параметрів установки, у яких досягнуто максимальні значення ККД та потужності. Визначено слабкий вплив параметрів технологічного процесу отримання палива на показники установки.

**Ключові слова:** газо-паротурбінні установки, параметри, альтернативне паливо.

### **EFFICIENCY COGENERATIONS OF POWER PLANTS, USING ALTERNATIVE FUEL RESOURCES**

*M.R. Tkach, B.G. Tymoshevskyy, N.V. Vatshilenko, A.V. Mazyrko*

The effective meanings of efficiency and capacity cogenerations plants using alternative fuel resources are determined. At a technological level GT appropriate UGT15000 (at  $T_3 = 1400\text{K}$ ) the efficiency of plants makes 0,36...0,38, and capacity – 19...21 MW. Is shown, that the application cogenerations power plants on the basis of alternative fuel recourses provides in comparison with GT increase of EFFICIENCY on 5...10% at simultaneous reduction of a degree of increase of pressure. With use isoparametric of curves the ranges of parameters of the unit a determined, at which the best sizes of efficiency and capacity are achieved. The weak influence of parameters of technological process of reception of fuel on parameters of installation is revealed.

**Key words:** cogenerations plants, parameters alternative fuel.

**Ткач Михаил Романович** – д-р техн. наук, зав. кафедрой теоретической механики, Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, Николаев, Украина, e-mail: MTkach@usmtu.edu.ua.

**Тимошевский Борис Георгиевич** – д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой двигателей внутреннего сгорания, Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, Украина, Николаев, e-mail: BTymoshevskyy@usmtu.edu.ua.

**Ваціленко Николай Вильевич** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры турбин, Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, Николаев, Украина.

**Мазырко Анатолий Викторович** – старший научный сотрудник, Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, Николаев, Украина.