

УДК 629.735

О.В. КИСЛОВ

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

**ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАЗОГЕНЕРАТОРА ГТД**

Предложена форма представления характеристик газогенератора, позволяющая оценивать не только эффективность преобразования теплоты в свободную работу, но и совершенство газодинамических процессов в проточной части газогенератора. Параметры эффективности газогенератора выражаются через его степень повышения давления и степень повышения температуры, а также через степень повышения давления компрессора. С помощью математической модели получены характеристики газогенератора. Показано применение характеристик при сравнении двух газогенераторов с разными расчетными степенями повышения давления компрессора.

**Ключевые слова:** газотурбинный двигатель, газогенератор, характеристики газогенератора, свободная работа, внутренний КПД, относительный внутренний КПД, термический КПД.

**Введение**

В связи с распространением практики создания новых ГТД на основе базового газогенератора [1,2,3] актуален вопрос сравнения различных газогенераторов для последующего выбора наиболее эффективного из них.

На рис.1 показаны одновальные газогенераторы в составе ТРДД и турбовального ГТД со свободной турбиной.

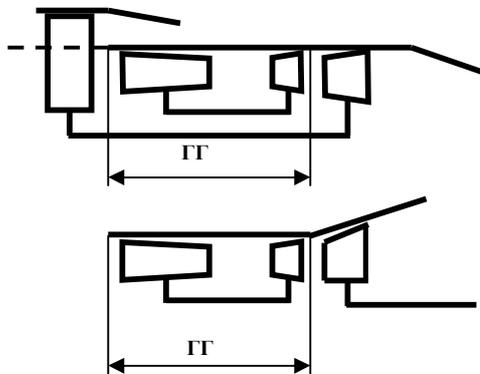


Рис. 1. Схемы ГТД с одновальным газогенератором

В [3] показано, что газогенератор имеет характеристики.

При условии постоянства степени понижения давления в турбине эти характеристики однопараметрические и могут быть представлены в виде зависимостей:

$$\begin{aligned}
 \pi_{ГГ}^* &= f_1(n_{вд пр}); \\
 \tau_{ГГ}^* &= f_2(n_{вд пр}); \\
 G_{Т пр ГГ} &= f_3(n_{вд пр}); \\
 G_{В пр ГГ} &= f_4(n_{вд пр}).
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Здесь  $\pi_{ГГ}^* = \frac{P_{ТВД}^*}{P_{ВВД}^*}$  и  $\tau_{ГГ}^* = \frac{T_{ТВД}^*}{T_{ВВД}^*}$  – степени повышения давления и температуры в газогенераторе;

$G_{Т пр ГГ} = G_T \frac{P_{ВВД р}^*}{P_{ВВД}^*} \sqrt{\frac{T_{ВВД р}^*}{T_{ВВД}^*}}$  – приведенный расход топлива;

$G_{В пр ГГ} = G_V \frac{P_{ВВД р}^*}{P_{ВВД}^*} \sqrt{\frac{T_{ВВД}^*}{T_{ВВД р}^*}}$  – приведенный расход воздуха;

$n_{вд пр} = n_{вд} \sqrt{\frac{T_{ВВД р}^*}{T_{ВВД}^*}}$  – приведенная частота вращения ротора газогенератора.

Зависимости (1) представлены на рис. 2.

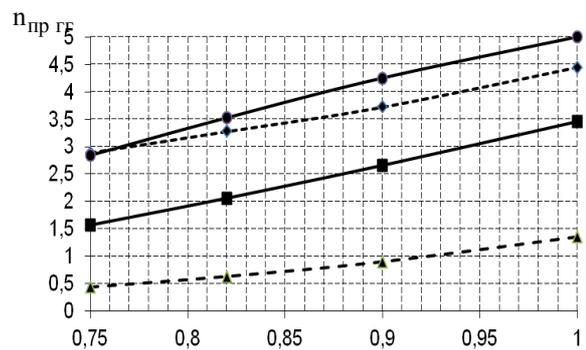


Рис. 2. Характеристики газогенератора при постоянной степени понижения давления в турбине:

—◆— —  $\tau_{ГГ}^*$ ; —■— —  $\pi_{ГГ}^*$ ;  
 —▲— —  $G_{Т пр}$ ; —●— —  $G_{В пр} / 10$

Характеристики газогенератора в таком представлении упрощают расчет характеристик ГТД, но неудобны для оценки эффективности рабочего процесса газогенератора, оценки совершенства процесса подвода теплоты в камере сгорания и газодинамических процессов в проточной части газогенератора.

В работе [4] параметры газогенераторов представлены в виде зависимости удельного расхода топлива от мощности газогенератора (рис. 3).

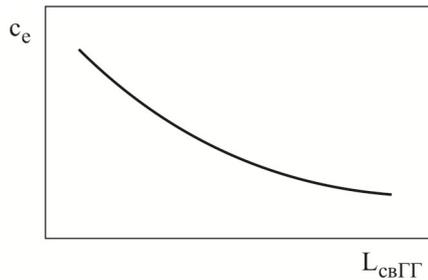


Рис. 3. Зависимость удельного расхода топлива от свободной работы газогенератора

Такая характеристика газогенератора позволяет сравнивать разные газогенераторы (при заданной свободной работе можно выбрать наиболее экономичный газогенератор).

Недостатками такого представления являются:

– использование размерной величины свободной работы газогенератора;

– использование в качестве параметра эффективности газогенератора удельного расхода топлива. Известно [3], что удельный расход топлива однозначно связан с внутренним КПД, который характеризует эффективность преобразования теплоты в работу, и определяется не только совершенством газодинамических процессов в проточной части и потерями тепла в камере сгорания, но и параметрами цикла газогенератора.

При оценке совершенства газодинамических процессов газогенератора влияние его параметров цикла должно быть исключено, поскольку оно может привести к неправильным выводам. Например, газогенератор с большими гидравлическими потерями и потерями тепла в камере сгорания может иметь более высокий внутренний КПД за счет более

высоких параметров цикла  $\theta_{ГТ}^* = \frac{T_{ГТ}^*}{T_{ввд}^*}$  и  $\pi_k^*$ .

**Целью данной работы** является обоснование вида характеристик газогенератора, который удобен для интегральной оценки эффективности рабочего процесса газогенератора, а также оценки эффективности газодинамических процессов в проточной части и процесса подвода теплоты в камере сгорания.

## 1. Расчетные соотношения

В работе [5] введены безразмерная свободная работа  $\bar{L}_{свГТ}$  и КПД газогенератора, которые позволяют оценивать не только эффективность преобразования теплоты в работу, но и отдельные составляющие этого процесса.

В частности, кроме широко используемых внутреннего КПД газогенератора  $\eta_{iГТ}$  и коэффициента выделения тепла  $\eta_r$ , дополнительно введены:

$$- \eta_{oiГТ} = \frac{\eta_{iГТ}}{\eta_t} - \text{относительный внутренний}$$

КПД, оценивающий интегральную неидеальность цикла газогенератора;

$$- \bar{\eta}_{oiГТ} = \frac{\eta_{oiГТ}}{\eta_r} - \text{КПД, который характеризует}$$

совершенство газодинамических процессов в проточной части газогенератора.

Кроме того, показано, что эти КПД выражаются через параметры газогенератора:

$$\eta_{iГТ} = \eta_r \frac{1 - 1/e_{ГТ}^*}{1 - 1/\tau_{ГТ}^*} = f(\pi_{ГТ}^*, \tau_{ГТ}^*), \quad (2)$$

$$\eta_{oiГТ} = \frac{\eta_{iГТ}}{\eta_t} = \frac{\eta_r \frac{1 - 1/e_{ГТ}^*}{1 - 1/\tau_{ГТ}^*}}{1 - 1/e_k^*} = f(\pi_{ГТ}^*, \tau_{ГТ}^*, \pi_k^*), \quad (3)$$

$$\bar{\eta}_{oiГТ} = \frac{\eta_{oiГТ}}{\eta_r} = \frac{1 - 1/e_{ГТ}^*}{(1 - 1/\tau_{ГТ}^*)(1 - 1/e_k^*)} = f(\pi_{ГТ}^*, \tau_{ГТ}^*, \pi_k^*). \quad (4)$$

$$\text{В формулах (3) и (4) } e^* = \pi^{\frac{k-1}{k}}.$$

С учетом (1) и того, что при постоянной степени понижения давления в турбине газогенератора  $\pi_k^* = f(n_{вд пр})$ , сделан вывод о том, что

$$\eta_{iГТ} = f_5(n_{вд пр}, \eta_r), \quad (5)$$

$$\eta_{oiГТ} = f_5(n_{вд пр}, \eta_r), \quad (6)$$

$$\bar{\eta}_{oiГТ} = f_6(n_{вд пр}). \quad (7)$$

Зависимость (7) тоже являются характеристиками газогенератора, а зависимости (5), (6) дополнительно зависят еще и от  $\eta_r$ . Если изменением  $\eta_r$  можно пренебречь, то и зависимости (5), (6) являются характеристиками газогенератора и могут использоваться для оценки эффективности преобразования теплоты в работу, интегральной неидеальности процессов в проточной части газогенератора.

## 2. Анализ полученных результатов

На рис. 4 представлены зависимости (5)...(7) для газогенератора с  $\pi_{кр}^* = 8$ .

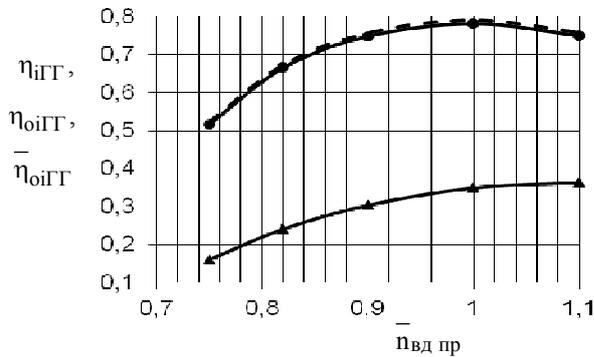


Рис. 4. Зависимость КПД от приведенной частоты вращения ротора газогенератора:

- ▲— — внутренний КПД;
- — относительный внутренний КПД;
- —  $\bar{\eta}_{oiGG}$

Чтобы при заданной свободной работе можно было выбрать наиболее экономичный газогенератор, целесообразно представлять зависимости КПД газогенератора в зависимости от безразмерной свободной работы (рис. 5).

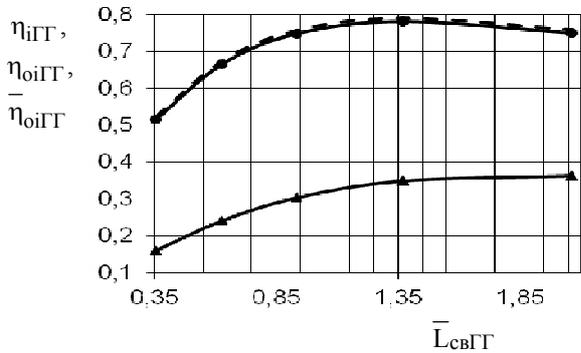


Рис. 5. Зависимость КПД от безразмерной свободной работы газогенератора:

- ▲— — внутренний КПД;
- — относительный внутренний КПД;
- —  $\bar{\eta}_{oiGG}$

Для иллюстрации использования характеристик при сравнении газогенераторов на рис. 6 представлены зависимости  $\eta_{iGG} = f(\bar{L}_{svGG})$  и  $\bar{\eta}_{oiGG} = f(\bar{L}_{svGG})$  для двух газогенераторов с одинаковыми  $T_{гр}^*$  и КПД элементов газогенератора, но разными расчетными степенями повышения давления  $\pi_{кр}^* = 8$  и  $\pi_{кр}^* = 7$ .

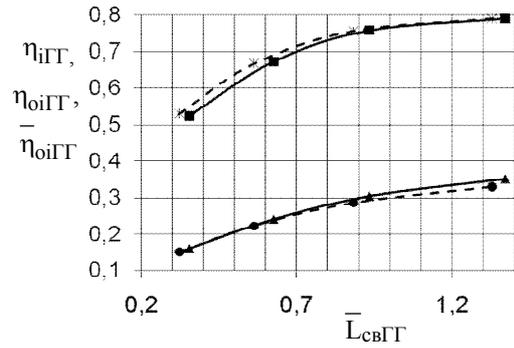


Рис. 6. Зависимость КПД от безразмерной свободной работы газогенератора при разных  $\pi_{кр}^*$ :

- ▲— — внутренний КПД при  $\pi_{кр}^* = 8$ ;
- — внутренний КПД при  $\pi_{кр}^* = 7$ ;
- —  $\bar{\eta}_{oiGG}$  при  $\pi_{кр}^* = 8$ ;
- —  $\bar{\eta}_{oiGG}$  при  $\pi_{кр}^* = 7$

Видно, что вблизи расчетного режима газогенератор с более высокими параметрами цикла более экономичен, а на пониженных режимах внутренние КПД сближаются. Последнее объясняется более высоким совершенством газодинамических процессов (большим  $\bar{\eta}_{oiGG}$ ) в проточной части газогенератора с меньшим  $\pi_{кр}^*$ .

Такое изменение  $\bar{\eta}_{oiGG}$  обусловлено особенностями характеристик компрессоров и расположения рабочих линий на них. При более высоких  $\pi_{кр}^*$  происходит более сильное рассогласование режимов работы ступеней компрессора и рабочая линия располагается ближе к границе устойчивости, а КПД компрессора уменьшается (рис. 7).

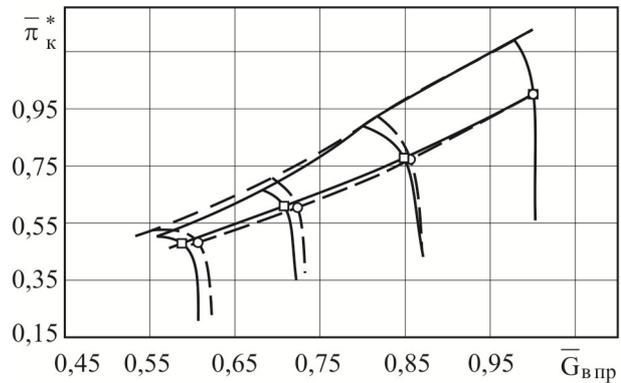


Рис. 7. Рабочие линии на характеристиках компрессоров при разных  $\pi_{кр}^*$ :

- —  $\pi_{кр}^* = 8$ ;
- —  $\pi_{кр}^* = 7$

## Заклучение

В работе обоснован вид характеристик газогенератора, который удобен для оценки эффективности рабочего процесса газогенератора. Введена характеристика, позволяющая оценить совершенство газодинамических процессов в проточной части газогенератора. Показано применение предложенных характеристик при сравнении газогенераторов.

## Литература

1. Работы ведущих авиадвигателестроительных компаний по созданию перспективных авиационных двигателей (аналитический обзор) [Текст] / В.А. Скибин, В.И. Солонин, В.А. Палкин и др.; под ред. В.А. Скибина, В.И. Солониной. – М.: ЦИАМ, 2004. – 424 с.

2. Теория двухконтурных турбореактивных двигателей [Текст] / В.П. Деменченко, Л.Н. Дружинин, А.Л. Пархомов и др.; под ред. С.М. Шляхтенко, В.А. Сосунова. – М.: Машиностроение, 1979. – 700 с.

3. Нечаев, Ю.Н. Теория авиационных двигателей [Текст] / Ю.Н. Нечаев. – М.: ВВИА, 1990. – 704 с.

4. Нечаев, Ю.Н. Теория авиационных газотурбинных двигателей. Ч. 2 [Текст] / Ю.Н. Нечаев, Р.М. Федоров. – М.: Машиностроение, 1978. – 336 с.

4. Цховребов, М.М. Методология создания семейств авиационных ГТД [Текст] / М.М. Цховребов // ЦИАМ 1980-2000. Научный вклад в создание авиационных двигателей; под ред. В.А. Скибина и В.И. Солониной. – Кн. 1. – М.: Машиностроение, 2000. – С. 59 – 79.

5. Кислов, О.В. Оценка эффективности газогенератора ГТД [Текст] / О.В. Кислов // Авиационно-космическая техника и технология. – 2013. – № 4(101). – С. 74 – 77.

Поступила в редакцию 28.05.2013, рассмотрена на редколлегии 12.06.2013

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., проф. кафедры теории авиационных двигателей В.П. Герасименко, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАЗОГЕНЕРАТОРА ГТД

*О.В. Кіслов*

Запропонована форма подання характеристик газогенератора, яка дозволяє оцінювати не лише ефективність перетворення теплоти у вільну роботу, але і досконалість газодинамічних процесів у проточній частині газогенератора. Параметри ефективності газогенератора виражаються через його ступіні підвищення тиску та температури, а також через ступінь підвищення тиску компресора. За допомогою математичної моделі одержані характеристики газогенератора. Показано застосування характеристик при порівнянні двох газогенераторів з різними розрахунковими ступіннями підвищення тиску компресора.

**Ключові слова:** газотурбінний двигун, газогенератор, характеристики газогенератора, вільна робота, внутрішній ККД, відносний внутрішній ККД, термічний ККД.

## THE GAS TURBINE ENGINE GAS GENERATOR CHARACTERISTICS

*O. V. Kislov*

Proposed presentation characteristics of the gas generator, which allows to estimate not only the efficiency of conversion of heat into free work, but the perfection of gas-dynamic processes in the flow of the gas generator. Gas generator efficiency are expressed in terms of its pressure ratio and temperature ratio, and the compressor pressure ratio. With the help of mathematical models the gas generator characteristics are derived. The use of characteristics are shown, when comparing the two gas generators with different rated compressor pressure ratio.

**Key words:** gas turbine engine, gas generator, the characteristics of the gas generator, free work, internal efficiency, the relative internal efficiency, the thermal efficiency.

**Кислов Олег Владимирович** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры теории авиационных двигателей Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: OVKislov@mail.ru.