

УДК 629.735

О.В. КИСЛОВ

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

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ГАЗОГЕНЕРАТОРА ГТД

Рассмотрен вопрос оценки эффективности рабочего процесса газогенератора ГТД. Предложена система безразмерных параметров, оценивающих совершенство рабочего процесса газогенератора. Свободная работа и эффективность преобразования тепла в работу выражены через параметры газогенератора и коэффициент полноты сгорания. Для учета неидеальности использован относительный внутренний КПД. Показано, что его можно представить в виде произведения коэффициента полноты сгорания и безразмерного комплекса, зависящего от параметров газогенератора. Безразмерный комплекс трактуется как КПД газогенератора, характеризующий совершенство газодинамических процессов в его проточной части. Сделан вывод о целесообразности введения дополнительных характеристик газогенератора, использующих эти КПД.

Ключевые слова: газотурбинный двигатель, газогенератор, свободная работа, внутренний КПД, относительный внутренний КПД, термический КПД, коэффициент полноты сгорания.

Введение

В связи с распространением практики создания новых ГТД на основе базового газогенератора [1 - 3] актуален вопрос оценки эффективности газогенератора и совершенства процессов, из которых состоит его рабочий процесс. Развитие взаимодействия и кооперации авиадвигателестроительных фирм при проектировании новых ГТД повышает актуальность проблемы, поскольку появляется возможность выбора газогенератора и возникает необходимость сравнения газогенераторов [1].

Газогенератор представляет собой функциональный модуль ГТД [1, 2], состоящий из компрессора, камеры сгорания и турбины компрессора (рис.1).

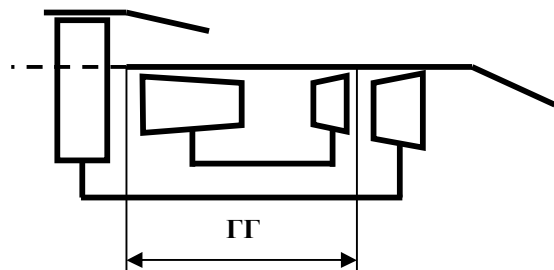


Рис. 1. Схема ГТД с одновальным газогенератором

Совершенство процессов функциональных элементов ГТД оценивается с помощью КПД. Однако КПД, характеризующие совершенство сложного термогазодинамического процесса газогенератора ГТД в целом, а также совершенство отдельных составляющих этого процесса, не нашли широкого

применения.

Целью данной работы является разработка подхода к оценке эффективности рабочего процесса газогенератора на основе учета совершенства составляющих его процессов. Для этого вводится соответствующий набор параметров эффективности, которые выражаются через параметры газогенератора.

1. Расчетные соотношения

В [3] вводятся параметры газогенератора: степень повышения давления газогенератора $\pi_{ГГ}^* = \frac{P_{ТВД}^*}{P_{ВВД}^*}$,

степень повышения температуры газогенератора $\tau_{ГГ}^* = \frac{T_{ТВД}^*}{T_{ВВД}^*}$, приведенный расход топлива

$G_{Т пр ГГ} = G_{Т} \frac{P_{ВВД р}^*}{P_{ВВД}^*} \sqrt{\frac{T_{ВВД р}^*}{T_{ВВД}^*}}$ и приведенный расход

воздуха $G_{В пр ГГ} = G_{В} \frac{P_{ВВД р}^*}{P_{ВВД}^*} \sqrt{\frac{T_{ВВД}^*}{T_{ВВД р}^*}}$ (или относительной плотности тока на входе в газогенератор $q(\lambda_{ВВД}^*)$).

Там же показано, что газогенератор, как и функциональные элементы ГТД, имеет характеристики.

При условии постоянства степени понижения давления в турбине газогенератора все безразмерные параметры газогенератора являются функцией

$$\eta_{i\Gamma\Gamma} = \frac{N_{св\Gamma\Gamma}}{H_u G_T} = \frac{L_{св\Gamma\Gamma} G_\Gamma}{H_u G_T}. \quad (2)$$

Воспользовавшись уравнением энергетического баланса

$$N_k + H_u G_T \eta_\Gamma = N_T + N_{св\Gamma\Gamma} + Q_{\Pi\Gamma\Gamma} G_\Gamma,$$

можно получить выражение для внутреннего КПД газогенератора в виде:

$$\begin{aligned} \eta_{i\Gamma\Gamma} &= \eta_\Gamma \frac{1}{1 + \frac{Q_{\Pi\Gamma\Gamma}}{L_{св\Gamma\Gamma}} + \frac{L_k^*}{L_{св\Gamma\Gamma}} \frac{1 - \eta_{мех}}{\nu \eta_{мех}}} = \\ &= \eta_\Gamma \frac{1}{\frac{1 - 1/\tau_{\Gamma\Gamma}^*}{1 - 1/e_{\Gamma\Gamma}^*} + \frac{e_k^* - 1}{\eta_k^*} \frac{1}{\tau_{\Gamma\Gamma}^* (1 - 1/e_{\Gamma\Gamma}^*)} \frac{1 - \eta_{мех}}{\mu \nu \eta_{мех}}} = \quad (3) \\ &= f(\pi_{\Gamma\Gamma}^*, \tau_{\Gamma\Gamma}^*, \pi_k^*, \eta_k^*) = f(n_{вд пр}). \end{aligned}$$

Здесь обозначено $e^* = \pi^* \frac{k-1}{k}$, $\nu = \frac{G_\Gamma}{G_B}$, а η_Γ –

коэффициент полноты сгорания в камере сгорания.

Если пренебречь изменением η_Γ , этот КПД также может служить характеристикой газогенератора – функцией от приведенной частоты вращения ротора газогенератора, которая оценивает эффективность преобразования теплоты в работу.

С учетом того, что в знаменателе формулы (3) второе слагаемое на два порядка меньше первого слагаемого, им можно пренебречь. Тогда формула для $\eta_{i\Gamma\Gamma}$ упрощается:

$$\eta_{i\Gamma\Gamma} = \eta_\Gamma \frac{1 - 1/e_{\Gamma\Gamma}^*}{1 - 1/\tau_{\Gamma\Gamma}^*} = f(\pi_{\Gamma\Gamma}^*, \tau_{\Gamma\Gamma}^*) = f(n_{вд пр}). \quad (4)$$

Однако $\eta_{i\Gamma\Gamma}$ неудобен для оценки совершенства рабочего процесса, поскольку он зависит не только от потерь, но и от параметров цикла газогенератора. Его применение может привести к неправильным выводам о совершенстве термогазодинамических процессов газогенератора. Например, газогенератор с большими гидравлическими потерями и потерями тепла в камере сгорания может иметь более высокий внутренний КПД за счет более высоких параметров цикла $\theta_{\Gamma\Gamma}^* = \frac{T_\Gamma^*}{T_{ввд}^*}$ и π_k^* .

Поскольку газогенератор является лишь составной частью ГТД, а удельные параметры ГТД

определяются параметрами цикла ГТД, а не газогенератора, то вопрос влияния параметров цикла газогенератора на его эффективность не является главным.

Важнее оценить эффективность процессов в газогенераторе, исключив влияние параметров цикла, а также оценить отдельно совершенство газодинамических процессов в проточной части газогенератора и совершенство процесса подвода теплоты к рабочему телу.

Обычно для учета неидеальности цикла используется относительный внутренний КПД [5]:

$$\eta_{oi\Gamma\Gamma} = \frac{\eta_{i\Gamma\Gamma}}{\eta_t}, \quad (5)$$

где η_t – термический КПД цикла газогенератора, зависящий только от параметров цикла.

$\eta_{oi\Gamma\Gamma}$ характеризует ухудшение эффективности цикла вследствие наличия гидравлических потерь в проточной части и потерь тепла в камере сгорания из-за неполного сгорания топлива.

Поскольку

$$\begin{aligned} \eta_{oi\Gamma\Gamma} &= \frac{\eta_{i\Gamma\Gamma}}{\eta_t} = \frac{\eta_\Gamma \frac{1 - 1/e_{\Gamma\Gamma}^*}{1 - 1/\tau_{\Gamma\Gamma}^*}}{1 - 1/e_k^*} = \quad (6) \\ &= f(\pi_{\Gamma\Gamma}^*, \tau_{\Gamma\Gamma}^*, \pi_k^*) = f(n_{вд пр}), \end{aligned}$$

то эта функция тоже является характеристикой газогенератора.

Из формулы (6) видно, что потери тепла и гидравлические потери легко разделяются. Потери тепла оцениваются коэффициентом полноты сгорания в камере сгорания η_Γ , а гидравлические потери в проточной части – коэффициентом

$$\begin{aligned} \bar{\eta}_{oi\Gamma\Gamma} &= \frac{\eta_{oi\Gamma\Gamma}}{\eta_\Gamma} = \frac{1 - 1/e_{\Gamma\Gamma}^*}{(1 - 1/\tau_{\Gamma\Gamma}^*)(1 - 1/e_k^*)} = \quad (7) \\ &= f(\pi_{\Gamma\Gamma}^*, \tau_{\Gamma\Gamma}^*, \pi_k^*) = f(n_{вд пр}). \end{aligned}$$

Формулу (7) можно получить из формулы (6) при условии полного сгорания топлива ($\eta_\Gamma = 1$).

Функция $\bar{\eta}_{oi\Gamma\Gamma} = f(n_{вд пр})$ тоже является характеристикой газогенератора и характеризует совершенство газодинамических процессов в проточной части газогенератора.

Строго говоря, коэффициент полноты сгорания в камере сгорания η_Γ не является характеристикой газогенератора и для его определения необходимо

использовать характеристики камер сгорания. Поэтому $\eta_{\text{ГТ}}$ и $\eta_{\text{oiГТ}}$ зависят не только от $n_{\text{вд пр}}$ и считать их характеристиками газогенератора можно лишь приближенно (с точностью до изменения $\eta_{\text{Г}}$). Однако обычно изменение $\eta_{\text{Г}}$ настолько мало, что им можно пренебречь.

Напротив, функция $\bar{\eta}_{\text{oiГТ}} = f(n_{\text{вд пр}})$ не зависит от $\eta_{\text{Г}}$ и является характеристикой газогенератора.

Заключение

В работе получена система безразмерных параметров, позволяющая оценивать эффективность рабочего процесса газогенератора в целом, неидеальность процессов, а также совершенство газодинамических процессов в проточной части газогенератора и совершенство процесса подвода теплоты в камере сгорания.

Показано, что эти параметры можно использовать для построения характеристик газогенератора.

Поступила в редакцию 26.05.2013, рассмотрена на редколлегии 29.06.2013

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

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ГАЗОГЕНЕРАТОРУ ГТД

О.В. Кіслов

Розглянуто питання оцінки ефективності робочого процесу газогенератору ГТД. Запропоновано систему безрозмірних параметрів, що оцінюють досконалість робочого процесу газогенератору. Вільна робота та ефективність перетворення тепла у роботу подано через параметри газогенератора і коефіцієнт повноти згоряння. Для врахування неідеальності використано відносний внутрішній ККД. Показано, що його можна представити у вигляді добутку коефіцієнта повноти згоряння і безрозмірного комплексу, який залежить від параметрів газогенератору. Безрозмірний комплекс трактується як ККД газогенератора, що характеризує досконалість газодинамічних процесів в його проточній частині. Зроблено висновок про доцільність введення додаткових характеристик газогенератора, що використовують ці ККД.

Ключові слова: газотурбінний двигун, газогенератор, вільна робота, внутрішній ККД, відносний внутрішній ККД, термічний ККД, коефіцієнт повноти згоряння.

ESTIMATION OF GAS TURBINE ENGINE GAS GENERATOR EFFICIENCY

O.V. Kislov

The problem of evaluating the effectiveness of the working process of the gas turbine engines gas generator is considered. The system of dimensionless parameters, estimating perfection of working process of gas generator, is offered. Free work and efficiency of conversion of heat into work are expressed through the parameters of the gas generator and combustion efficiency. Relative internal efficiency is used to account nonideality. It is shown that it can be represented as a product of combustion efficiency and the dimensionless complex, which depend from the parameters of the gas generator. Dimensionless complex is treated as a gas generator efficiency, characterizing the perfection of gas-dynamic processes in flow passage. The conclusion about the practicability of additional gas generator characteristics, using this efficiency, is made.

Key words: gas turbine engine, gas generator, free work, internal efficiency, relative internal efficiency, thermal efficiency, combustion efficiency.

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

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. Солонина. – 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.
5. Теплоэнергетика и теплотехника: Общие вопросы. [Текст]: справ. / Г.Г. Бартоломей, В.В. Галактионов, А.А. Громогласов и др.; под ред. В.А. Григорьева и В.М. Зорина. – М.: Энергия, 1980. – 528 с.