

## ОЦЕНКА ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГТД С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДИКИ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАВНОВЕСНОГО СОСТОЯНИЯ ГОМОГЕННОЙ СМЕСИ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ УГЛЕВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА

Болдырев О. И.

Научно-производственное предприятие «МОТОР», г. Уфа

### ESTIMATE OF KEY PARAMETERS OF A GAS TURBINE ENGINES WITH APPLICATION OF THE MODELLING PROCEDURE OF THE EQUILIBRIUM STATE OF HOMOGENEOUS MIXTURE OF HYDROCARBONACEOUS FUEL COMBUSTION PRODUCTS

*Boldyrev O. I. The given work describes the modelling procedure of an equilibrium state of homogeneous mixture of hydrocarbonaceous fuel combustion products. The analysis of influence of the factor of thermal dissociation of builders of products of combustion on key parametres of an air high-temperature turbine engine is carried out.*

Одним из направлений совершенствования современных математических моделей ГТД, используемых при проектировочных термодинамических расчётах, является введение расчёта температуры, а также термодинамических свойств гомогенной смеси продуктов сгорания с учётом химически равновесного состояния и термической диссоциации компонентов.

Для расчёта свойств рабочего тела в настоящее время применяется методика ЦИАМ [1], сформированная в 1960-х гг., в которой фактор диссоциации не учитывается.

Методика учёта фактора диссоциации была создана в 1970-х гг [2] для расчётов ракетных двигателей. Для термодинамических расчётов авиационных ГТД данная методика не применялась.

Основа предлагаемой методики заключается в формировании и решении системы уравнений, состоящей из химических уравнений равновесных реакций, уравнений состояния идеального газа, уравнений материального баланса индивидуальных веществ и уравнения закона сохранения энергии.

Методика базируется на следующих, более строгих, чем в [1], допущениях:

– наиболее вероятному, т.е. устойчивому состоянию термодинамической системы соответствует состав, для которого при заданных исходных данных энтропия будет максимальной. Такому состоянию отвечает

соотношение парциальных давлений газообразных компонентов, задаваемое значениями констант равновесия обратимых химических реакций, идущих равновесно между всеми входящими в продукты сгорания индивидуальными веществами;

– учитываются следующие химические элементы: С, Н, N, O, Ar, S и индивидуальные вещества: Н, Н<sub>2</sub>, ОН, Н<sub>2</sub>О, НО<sub>2</sub>, Н<sub>2</sub>О<sub>2</sub>, О, О<sub>2</sub>, С, СО, СО<sub>2</sub>, N, N<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, Ar, S, SO, SO<sub>2</sub>, наиболее вероятно образующиеся при сгорании углеводородного топлива в воздушной среде;

– продукты сгорания – смесь химически реагирующих газов, состав и объёмное содержание которых определяется с учётом диссоциации;

– компоненты продуктов сгорания обладают свойствами идеального газа, их изобарная теплоёмкость зависит только от температуры, однако изобарная теплоёмкость смеси в целом зависит также и от уровня давления и тем значительно, чем интенсивнее процесс диссоциации.

В предлагаемой методике, в отличие от применявшихся ранее [2], учитывается неравенство температур топлива и окислителя, а также коэффициент полноты сгорания топлива, отличный от единицы. Все перечисленные особенности обуславливают применимость методики для термодинамических расчётов ГТД. Поскольку в результате расчёта определяется количество веществ, состав-

ляющих смесь продуктов сгорания, в том числе веществ группы  $(NO)_x$ , то данная методика применима для количественных оценок уровня вредных выбросов в различных условиях сгорания при проведении проектных расчётов.

Для предложенной системы уравнений реализован алгоритм решения в виде отдельной программы Disso и в качестве элемента математической модели узлов основной и форсажной камер сгорания системы DVIGwT. Методика верифицирована по расчётам процесса горения [3] и показала сходимость результатов с погрешностью, не превышающей 0,3 % в диапазоне температур от 1800 до 2800 К.

Не учёт фактора диссоциации при термодинамических расчётах высокотемпературных ТРДДФ ведёт к завышению расчётных величин температур газа, что влияет на оценку основных параметров двигателя (погрешность в определении форсажной тяги может достигать 1,3 %, расхода топлива 4,5 %) и температурного состояния теплона-

пряжённых деталей (в пределах 5 % от величины заявленного ресурса). Кроме того, изменение расчётной величины температуры рабочего тела потребует корректировки программы регулирования ГТД и его характеристик, а также уточнения оценки коэффициента полноты сгорания топлива в форсажной камере.

### Библиографический список

1. Ильичёв, Я.Т. Термодинамический расчёт воздушно-реактивных двигателей / Я.Т. Ильичев // Технический отчёт ЦИАМ № 6186. – М.: ЦИАМ, 1969 – 126 с.
2. Алемасов, В.Е. Теория ракетных двигателей / В.Е. Алемасов, А.Ф. Дрегалин, А.П. Тишин; / Под ред. В.П. Глушко. – М.: Машиностроение, 1989. – 464 с.
3. Алемасов, В.Е. Термодинамические и теплофизические свойства продуктов сгорания: В 5 т. / В.Е. Алемасов [и др.]. – М.: ВИНТИ, 1971 – 1974.

УДК 621.746

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ (МДО) АЛЮМИНИЕВЫХ И ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕТАЛЕЙ В ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИИ

Криштал М.М., Ивашин П.В., Полуниин А.В.

Тольяттинский государственный университет

### APPLICATION OF TECHNOLOGY MICROARC OXIDATION (MAO) ALUMINUM AND TITANIUM ALLOYS TO IMPROVE PERFORMANCE PARTS IN ENGINES

*Krishtal M.M., Ivashin P.V., Polunin A.V. This work substantiates the appropriateness of micro-arc oxidation technology usage for hardening of silumin with a silicon content of 6 ... 11% in the manufacture of major body parts of engines, and also the titanium alloy VT1. Results of preliminary research experiments, and study the main factors affecting the quality of the coating were described.*

Одной из главных тенденций современного авиа-, автомобиле- и машиностроения является повышение удельных показателей, увеличение ресурса и срока службы конструкций и систем при одновременном снижении массогабаритных характеристик и влияния функционирования изделий на окружающую среду. Выше обозначенными

требованиями обусловлено широкое применение в промышленности алюминиевых, титановых, магниевых и других сплавов.

Особенно важное промышленное значение имеет применение алюминиевых сплавов при производстве ДВС для легкой и сверхлегкой авиации, где важным показателем является вес двигателя.