

жения и более интенсивного захвата им топливных капель, что приводит к увеличению их концентрации капель в этой области.

Таким образом, представленная модель каскадного распыла топлива продемонстрировала существенное влияние вторичного распыла топлива на формирование концентрационных полей. Показано, что разработанная методика может быть использована для анализа влияния конструктивных и режимных параметров смесительных устройств на распределения концентраций топлива в них.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патанкар С.С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 150 с.
2. Ягодкин В.И. Отрывные течения в камерах сгорания. Сб. трудов ЦИАМ. Москва, 1987г. № 1203. - 138 с.
3. Дитякин Ю.Ф. и др. Распыливание жидкостей. - М.: Машиностроение, 1977. - 208 с.
4. Дубовкин И.Ф. Физико-химические и эксплуатационные свойства реактивных топлив. Справочник. - М.: Химия, 1985. - 240 с.

УДК 621.45.03

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ДВИГАТЕЛЯ НК-38СТ

Цыбизов Ю.И., Беляев В.В.

*ОАО СНТК им. Н.Д. Кузнецова, г. Самара*

Численный расчет параметров газа в исследуемой области проточной части камеры сгорания (КС) ГТД и ГТУ в настоящее время проводится по одномерным полуэмпирическим зависимостям, дающим значительную погрешность вычислений. Используемые зависимости получены для определенных конструкций элементов КС (диффузора, фронтального устройства, горелок, жаровой трубы, системы охлаждения и т.д.) при обобщении огромного количества экспериментальных данных, по-

лученных в дорогостоящих модельных и натурных испытаниях, и могут быть применены для расчетов камер-модификаций.

Универсального же аналитического метода расчета параметров рабочего тела в КС, учитывающего сложную трехмерную структуру турбулентного потока, в распоряжении инженера - горельщика в настоящее время нет. Хорошей альтернативой аналитическим методам во многих случаях является численное моделирование рабочего процесса, основанное на дискретном представлении расчетной области и использовании в качестве выражений для параметров рабочего тела уравнений сохранения, описывающих газовый поток при наличии химических реакций. Необходимо отметить, что эти базовые уравнения получены при обобщении обширного экспериментального материала и выведенных с помощью методов математической физики. Качественное адекватное разбиение геометрии расчетной области на элементарные по форме объемы позволяет получить весьма физичные решения для различных задач: гидравлики КС, смешения, течения реагирующих газов, образования различных загрязняющих веществ ( $NO_x$ ,  $CO$ ,  $C_nH_m$  и сажи).

Узким местом является моделирование турбулентности и его влияние на процесс горения. Существует множество моделей турбулентности и их модификаций, более или менее удовлетворительно описывающих турбулентное движение газа (*Spalart-Allmaras*, *k-epsilon*, *k-omega*, *Reynolds Stress Model*, *Large Eddy Simulation Model*). Некоторые из них способны описать турбулентный переход. Работы в этой области достигли определенных успехов, и даже универсальные пакеты программ позволяют с приемлемой для практики точностью моделировать рабочий процесс в камере сгорания.

В мировой практике создания энергетических машин уже не одно десятилетие численный эксперимент успешно используется как более дешевая альтернатива натурному эксперименту.

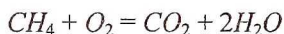
Необходимо отметить высокую информативность данных, получаемых в результате численного расчета, которые представляют собой массив из значений всех параметров рабочего тела и потока во всех точках расчетной области. Экспериментальные данные, в отличие от расчетных, ограничены возможностями измерительной системы. Это обстоятельство часто заставляет исследователей моделировать рабочий процесс из-за

невозможности воспроизвести двигательные режимные параметры в эксперименте.

В настоящей работе представлены результаты расчета рабочего процесса КС с выносными жаровыми трубами двигателя НК-38СТ. Работа выполнена с использованием пакета программ вычислительной газодинамики *Fluent*, полученного СНТК им. Н.Д. Кузнецова от фирмы *Process Flow* (Финляндия) на условиях опытной эксплуатации.

Использовались следующие допущения:

- моделировалось течение в 1/11 части КС (сектор) с использованием периодических граничных условий вращения;
- ограничивающие модель стенки – адиабатные;
- горение описывается одной глобальной реакцией метана с воздухом (моделировалась реагирующая смесь из 5 компонентов  $CH_4$ ,  $O_2$ ,  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $N_2$ )



система конвективно-пленочного охлаждения моделировалась эквивалентными щелевыми каналами.

Конструктивная схема исследуемой КС и сеточная модель (~2 млн. ячеек) показаны на рис. 1 и 2. Результаты расчета представлены на рис. 3 и 4. Сопоставление рассчитанных характеристик с экспериментальными данными показывает удовлетворительное сходство.

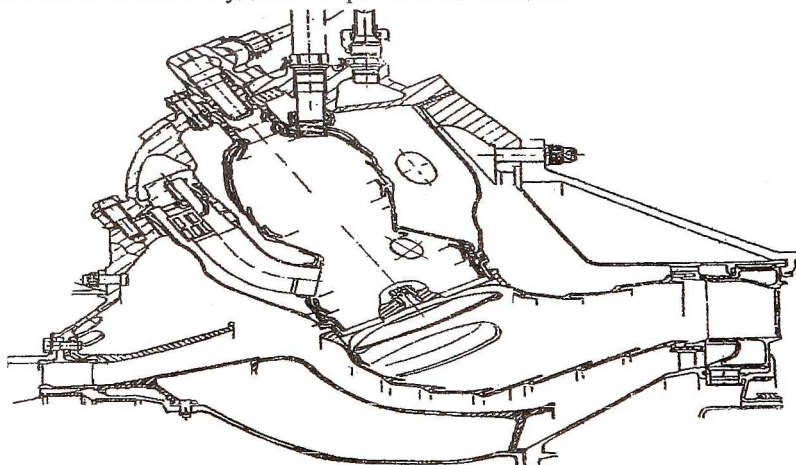
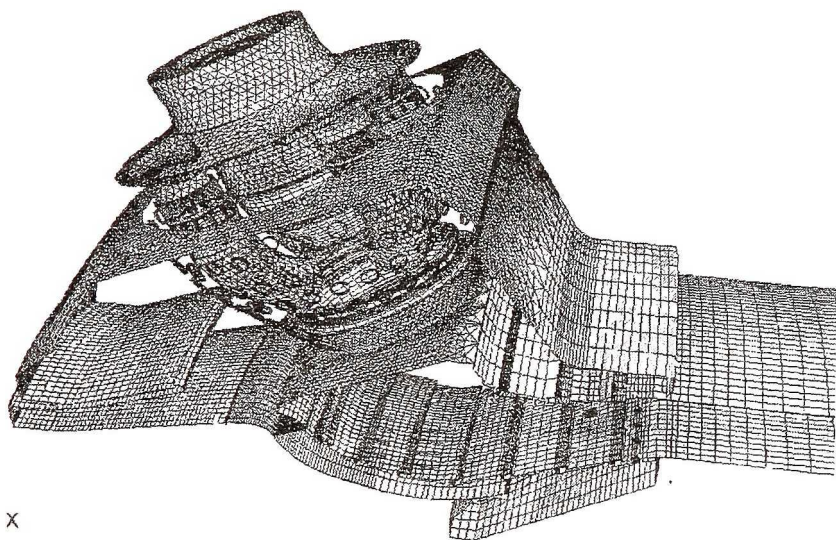


Рис. 1. Конструктивная схема камеры сгорания двигателя НК-38СТ



x

Рис. 2. Вычислительная сетка периодической секторной модели камеры сгорания двигателя НК-38СТ

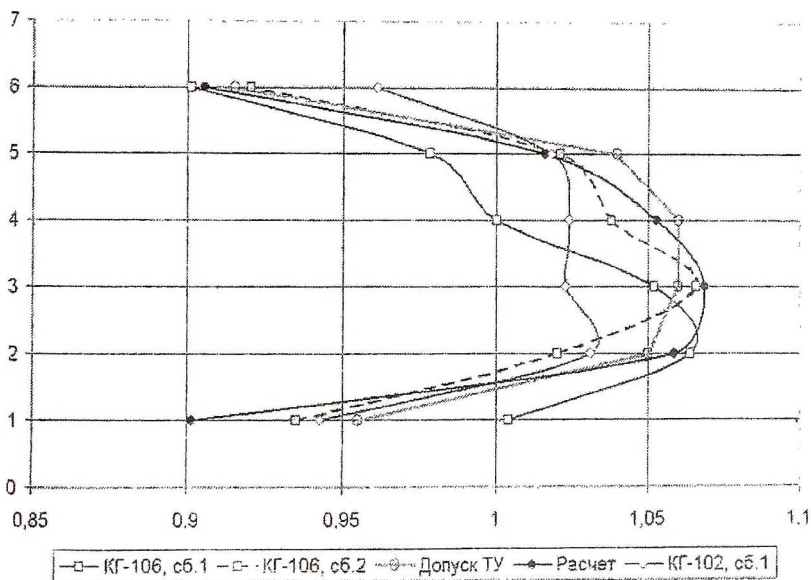


Рис. 3. Радиальные эпюры температурной неравномерности на выходе из камеры сгорания двигателя НК-38СТ

Необходимо отметить, что в расчете образования  $NO_x$  равновесность атомарного кислорода в модели компенсировалась несколько завышенной температурой пламени, что в результате привело к сходству рассчитанных и экспериментальных данных. Неоднозначное отклонение рассчитанных  $NO_x$  от замеренных (рис.4) объясняется, по-видимому, повышенной неточностью определения температуры пламени в основной зоне на низких режимах работы двигателя, когда топливовоздушная смесь в зоне горения богата  $CO$ , образование которой в данном исследовании не моделировалось. Тем не менее, подобные результаты могут быть достигнуты и для других КС, в том числе авиационных.

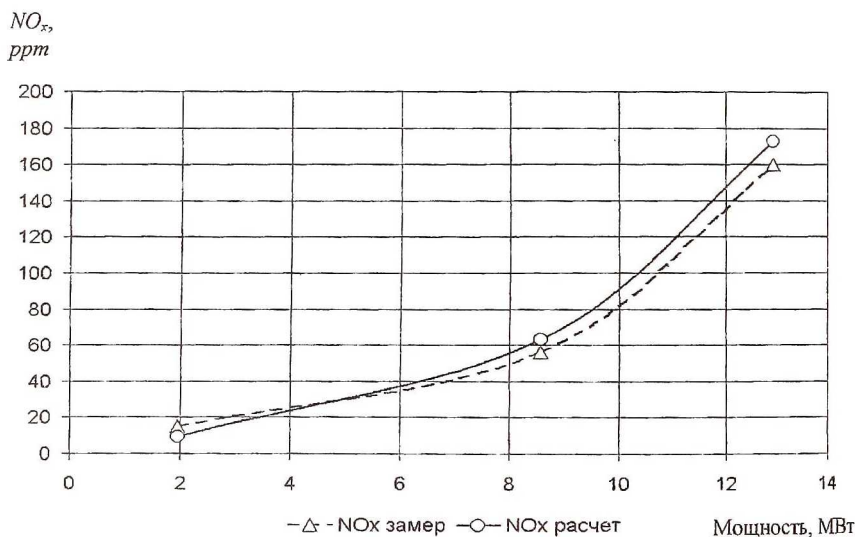


Рис. 4. Сравнение рассчитанных и замеренных значений концентрации оксидов азота в выхлопных газах двигателя НК-38СТ

В мировой практике создания энергетических машин численный эксперимент успешно используется как более дешевая альтернатива натурному эксперименту. В настоящей работе представлены результаты расчета КС двигателя НК-38СТ. Работа выполнена с использованием пакета программ вычислительной газодинамики *Fluent*, полученного СНТК им. Н.Д. Кузнецова от фирмы *Process Flow* (Финляндия) на условиях опытной эксплуатации.