

МОДЕЛЬ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ЛОКАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТЕЧЕНИЯ РАБОЧЕГО ТЕЛА В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ ГАЗОГЕНЕРАТОРА НА ТОПЛИВЕ КЕРОСИН-КИСЛОРОД

Винокуров М.В., Дружин А.Н., Рыжков В.В.

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Информация о распределении локальных параметров течения рабочего тела по тракту камеры сгорания газогенератора представляет интерес при выборе оптимальной схемы смесеобразования и оценке эффективности тепловой защиты стенок конструкции. Математическое моделирование внутрикамерных процессов позволяет своевременно получить такую информацию еще на этапе проектирования устройства.

В работе рассмотрена модель рабочего процесса в камере сгорания газогенератора, основанная на численном интегрировании дифференциальных уравнений Навье-Стокса [1]. Задача решалась в осесимметричной системе координат (x -осевое, r -радиальное, τ -окружное направление) в стационарной постановке. Система уравнений представлена четырьмя независимыми переменными: ω -напряженность вихря, ψ -функция тока, V_r -окружная составляющая скорости течения, ξ -концентрация компонентов топлива и имеет следующий вид:

$$\begin{aligned}
 & r^2 \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\omega}{r} \frac{\partial \psi}{\partial r} \right) - \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{\omega}{r} \frac{\partial \psi}{\partial x} \right) \right] - \frac{\partial}{\partial x} \left[r^3 \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\mu_{\psi\psi} \omega}{r} \right) \right] \\
 & - \frac{\partial}{\partial r} \left[r^3 \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{\mu_{\psi\psi} \omega}{r} \right) \right] - r \frac{\partial}{\partial x} (\rho V_r^2) - r^2 \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{V_x^2 + V_r^2}{2} \right) \frac{\partial \rho}{\partial r} + \\
 & + r^2 \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{V_x^2 + V_r^2}{2} \right) \frac{\partial \rho}{\partial x} - r^3 S = 0 \quad ; \\
 & \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\rho r} \frac{\partial \psi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{\rho r} \frac{\partial \psi}{\partial r} \right) + \omega = 0 ; \\
 & \frac{\partial}{\partial x} (r V_r \frac{\partial \psi}{\partial r}) - \frac{\partial}{\partial r} (r V_r \frac{\partial \psi}{\partial x}) - \frac{\partial}{\partial x} \left[r^3 \mu_{\psi\psi} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{V_r}{r} \right) \right] - \\
 & - \frac{\partial}{\partial r} \left[r^3 \mu_{\psi\psi} \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{V_r}{r} \right) \right] = 0 ; \\
 & \frac{\partial}{\partial x} \left(\xi \frac{\partial \psi}{\partial r} \right) - \frac{\partial}{\partial r} \left(\xi \frac{\partial \psi}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{r \mu_{\psi\psi} \partial \xi}{S c} \right) - \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{r \mu_{\psi\psi} \partial \xi}{S c} \right) = 0.
 \end{aligned}$$

Эффективное значение коэффициента динамической вязкости $\mu_{эфф}$ определялось по его эмпирической зависимости от параметров потока [1].

Плотность течения ρ находилась с использованием уравнения состояния для смеси идеальных газов. Расчет давления производился численным интегрированием уравнений движения в направлении соответствующих координат, а температура и молекулярная масса продуктов сгорания - аппроксимацией данных термодинамического расчета по распределению их концентрации в объеме камеры сгорания.

Математическая постановка задачи предполагает мгновенное испарение жидкого горючего при попадании в камеру сгорания.

Для решения системы дифференциальных уравнений использован конечно-разностный итерационный метод последовательных смещений Гаусса - Зайделя.

В качестве объекта исследований выбран газодинамический тракт камеры сгорания газогенератора на компонентах топлива керосин газообразный кислород. Схема форсуночной головки объекта исследований представлена на рис. 1.



Рис. 1. Схема форсуночной головки

обеспечивают формирование двух противоположно закрученных коаксиальных течений.

Таким образом, если пренебречь процессами, протекающими в непосредственной близости от огневого днища, окружную неравномерность поля течения в камере можно не учитывать и рассматривать задачу в осесимметричной постановке. Форсуночный пояс при таком подходе можно представить как совокупность трех соосных щелевых каналов.

Схема расчетной области поля течения рабочего тела в камере сгорания объекта исследований показана на рис. 2.

Анализ структуры течения, формируемого поясом двухкомпонентных центробежных форсунок, показывает, что создаваемые соседними форсунками радиальные потоки имеют противоположную направленность, что приводит к их взаимному гашению вблизи от огневого днища. В то же время потоки в окружном направлении

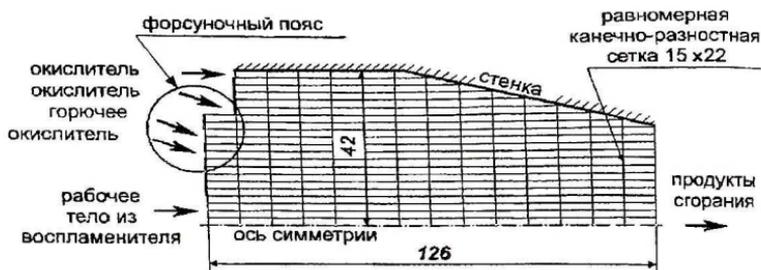


Рис. 2. Схема расчетной области поля течения

В результате проведенных расчетных исследований получена структура течения продуктов сгорания, представленная на рис. 3.



Рис.3. Структура течения рабочего тела в камере сгорания

Отметим ярко выраженную зону возвратных течений в приосевой области, обусловленную закруткой потока. Распределение других локальных параметров по тракту камеры здесь не приводится.

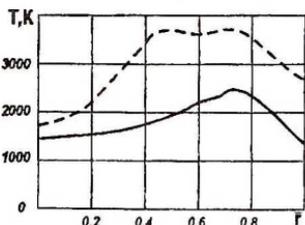


Рис. 4. Распределение температуры в выходном сечении сопла

— результаты расчета
 - - - результаты эксперимента

Для оценки адекватности предложенной модели расчета внутрикамерных процессов была проведена экспериментальная проверка опытного образца газогенератора описанной схемы. На рис. 4 показано сравнение результатов расчета распределения температуры по радиусу выходного сечения сопла \bar{r} с экспериментальными данными.

Последние получены методом уноса массы материала пластины, изготовленной из термопластичного полимера и помещенной в газовый поток на срезе сопла [2].

Сравнение экспериментальных значений величины коэффициента полноты расходного комплекса камеры Φ_p в широком диапазоне изменения коэффициента избытка окислителя $\alpha_{ок}$ с расчетными данными, полученными интегрированием локальных параметров потока в выходном сечении камеры, показано на рис. 5.

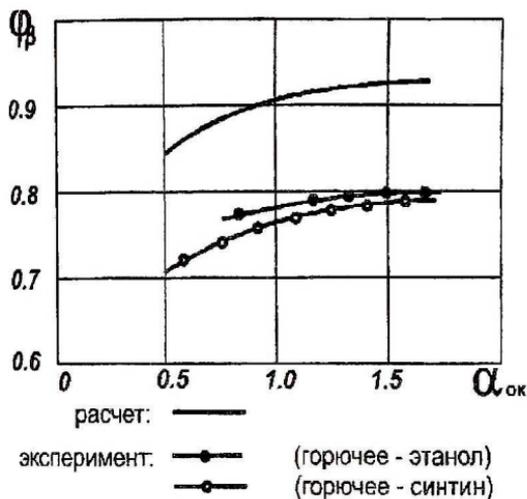


Рис. 5. Сравнение расчетных и экспериментальных данных

Анализ полученных результатов дает удовлетворительное качественное согласование расчета с экспериментом.

Количественное расхождение экспериментальных и расчетных данных, вероятно, вызвано отсутствием учета потерь, связанных с неполным сгоранием топлива из-за конечной скорости испарения жидкого горючего, некорректностью принятия осесимметричной модели течения и рядом других, менее значимых факторов.

Таким образом, в работе предложена математическая модель рабочего процесса в камере сгорания газогенератора на газожидкостном топливе, экспериментально подтверждена ее применимость для качественной оценки структуры двухфазных потоков.

Список литературы

1. Госмен А.Д., Пан В.М., Ранчел А.К., Сполдинг Д.Б., Вольфштейн М., Численные методы исследования течений вязкой жидкости: Пер. с англ./ Под ред. Тирского Г.А., -М.: Мир, 1972.-328 с.
2. Годлевский В.Е., Градов В.Н., Левин В.Я., Нигодюк В.Е., Шустов С.А., Метод экспериментального определения профилей температуры и состава высокотемпературного газового потока //Инж.-физ.журнал.-1980. -т.38, №5.-с.853-858.