

# СТАБИЛИЗАЦИЯ ПЛАМЕНИ В СВЕРХЗВУКОВОМ ПОТОКЕ РАДИАЛЬНО ВДУВАЕМОЙ РЕАГИРУЮЩЕЙ ВЫСОКОЭНТАЛЬПИЙНОЙ СТРУЕЙ

©2016 Ш.А. Пиралишвили, И.М. Верещагин

Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьёва

## FLAME STABILIZATION IN SUPERSONIC FLOW BY RADially INJECTED HIGH-ENTHALPY REACTIVE STREAM

Piralishvily S.A., Vereschagin I.M. (P.A. Solovjov Rybinsk State University of Aviation Technology, Rybinsk, Russian Federation)

The article present results of experimental workflow in supersonic vortex combustion chamber pulsation generator and its numerical simulation. High-spun pulsating injection provides a reliable ignition and stabilization of the combustion process.

### Введение

Проблема создания летательных аппаратов с гиперзвуковым прямоточно-воздушными реактивными двигателями (ГПВРД), скорость потока топливо-воздушной смеси в которых достигает значений  $M = 2 \dots 5$ , до конца не решена. Перемещения фронта пламени заметно медленнее набегающего потока, что сопровождается срывными явлениями [1].

Использование для воспламенения и стабилизации горения вихревого горелочного устройства позволяет одновременно организовать сочетание поперечного вдува высокотемпературной струи с воспламенением топливо-воздушной смеси в сверхзвуковом потоке и обеспечение её пульсационного режима горения [2].

### Постановка задачи

Задача исследования состоит в изучении структуры течения вихревого воспламенителя-стабилизатора (рис. 1), причин возникновения акустических колебаний и их влияния на процесс горения, а также возможности стабилизации горения в сверхзвуковом потоке.

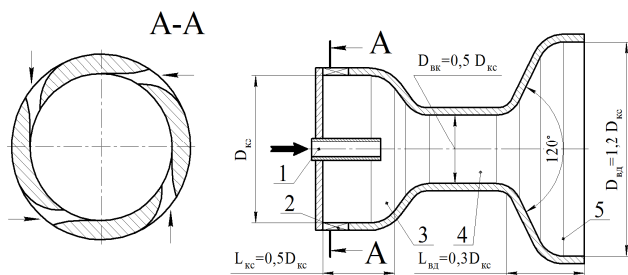


Рис. 1. Схема вихревого воспламенителя:  
1 – топливное сопло; 2 – закручивающее устройство;  
3 – камера смешения; 4 – вихревая камера;  
5 – выходной диффузор

Исследования нестационарных процессов течения и распределения температуры выполнены методами численного моделирования и бесконтактными методами экспериментального исследования, такими как PIV и комбинированное рассеяние света (эффект рассеяния Рамона).

Численный расчёт производился с использованием CFD-пакета для задач вычислительной гидродинамики Ansys CFX, который предназначен для моделирования ламинарных и турбулентных потоков (с учётом и без учёта сжимаемости) и процессов горения. Для замыкания систем уравнения использовались три различные модели турбулентности:  $k-\varepsilon$ , SST, RSM BSL.

### Результаты исследований

Сравнительные результаты исследования поля скорости представлены на рис. 2. Анализируя графики, выделим приосевую область, в которой вектор скорости направлен в противоположном направлении относительно потока на периферии, что свидетельствует о наличии зоны возвратных течений, обеспечивающих надёжность стабилизации пламени. Генерация возвратного осевого потока вызвана существенным снижением статического давления в приосевой области воспламенителя-стабилизатора.

В выходном диффузоре формируется квазистационарный и стабильный фронта пламени (рис. 3).

Равномерность температурного поля составляет  $\Theta = 0,44$  в выходном сечении и  $\Theta = 0,7$  на удалении  $0,5 \cdot D_{вд}$  от среза диффузора ( $\Theta = (T_{max} - T_{min})/T_{ср}$ ).

Исследования возможности стабилизации пламени в сверхзвуковой камере сгорания представлены на рис. 4.

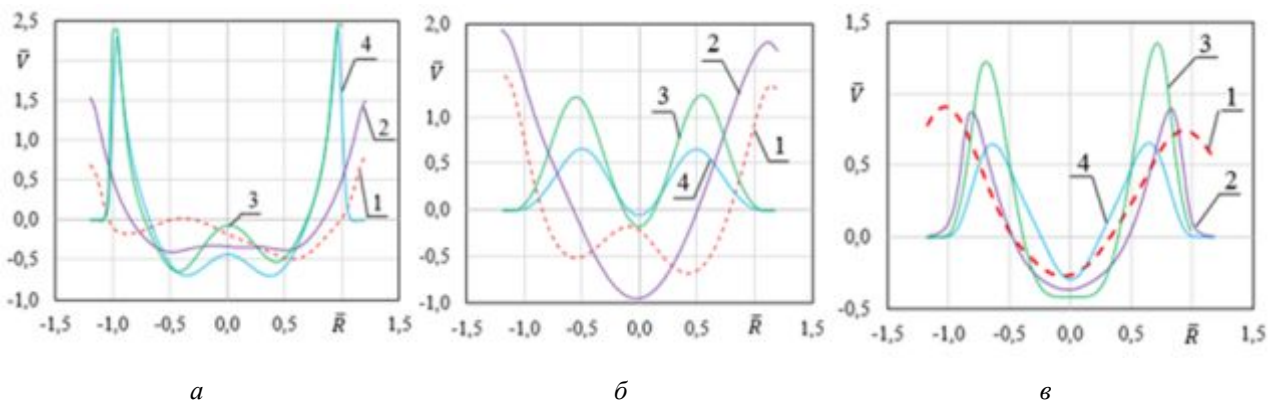


Рис. 2. Осевая скорость потока: а) область в выходном сечении воспламенителя-стабилизатора; б) область на удалении  $0,5D_{vd}$  от выходного диффузора; в) область на удалении  $D_{vd}$  от выходного диффузора; 1) результат эксперимента; 2) расчёт с RSM BSL-моделью турбулентности; 3) расчёт с SST-моделью турбулентности; 4) расчёт с  $k-\epsilon$ -моделью турбулентности

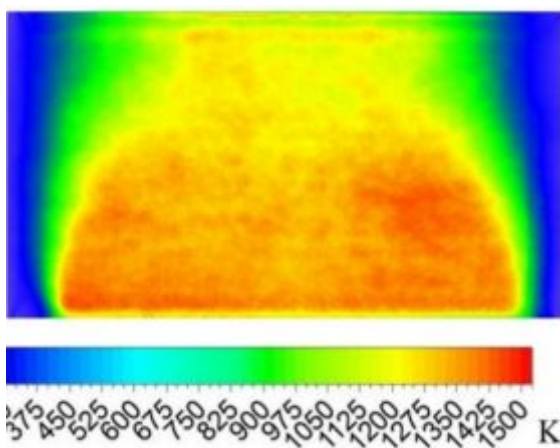


Рис. 3. Распределение температуры реагирующего потока

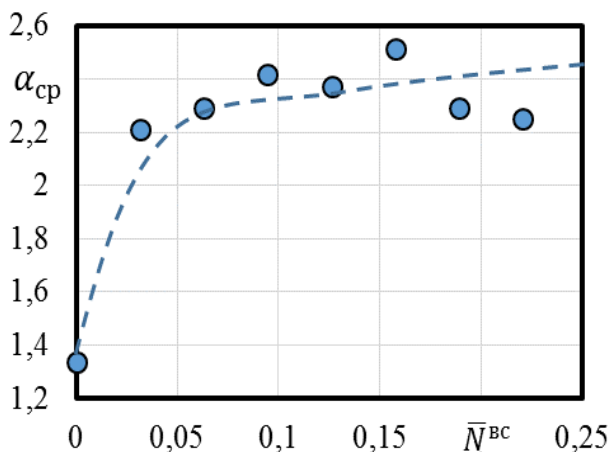


Рис. 4. Граница бедного срыва пламени при различной тепловой мощности воспламенителя-стабилизатора

Результаты показали, что для поддержания горения в проточной части камеры сгорания нет необходимости в больших за-

тратах топливных ресурсов в воспламенителе-стабилизаторе (рис. 1,б). Уже при  $\bar{N}^{BC} = 0,025$  обеспечивается требуемая стабильность горения, где приведённая тепловая мощность  $\bar{N}^{BC} = (\eta \cdot Q_p) / N_{ном}$ , где  $N_{ном}$  – номинальная тепловая мощность, вырабатываемая при полном ( $\eta = 1$ ) сгорании  $0,001$  кг топлива.

#### Вывод

Результаты численных расчётов и экспериментальных исследований подтвердили возможность применения вихревого воспламенителя-стабилизатора для поддержания устойчивого рабочего процесса и реализации вибрационного горения.

Экспериментально подтверждена возможность стабилизации пламени закрученной струёй в диапазоне тепловой мощности воспламенителя-стабилизатора  $\bar{N}^{BC} = 0,03 \dots 0,23$ .

#### Библиографический список

1. Старов А.В. Определение пределов устойчивого горения при высоких сверхзвуковых скоростях потока в канале // Вестник НГУ. Серия: Физика. 2008. Т. 3, Вып. 2. С. 23-26.
2. Пиралишвили Ш.А. Вихревой эффект. Физическое явление, эксперимент, теоретическое моделирование. – М.: Научтехлитиздат, 2012. Т. 1. 342 с.