

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ СПОСОБОВ СТАБИЛИЗАЦИИ ПЛАМЕНИ В КАМЕРАХ СГОРАНИЯ ВОЗДУШНО-РЕАКТИВНОГО ТИПА

А.М. Грушенко, канд. техн. наук, Д.И. Завистовский,

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков, Украина

Общая постановка проблемы и ее связь с научно-практическими задачами. Стабилизация фронта пламени в камерах сгорания (КС) воздушно-реактивного типа различного назначения, в частности в малоразмерных газогенераторах технологического назначения, является актуальной проблемой. Обеспечение стабильной работы камер сгорания в широком диапазоне режимных параметров является общей проблемой как для камер сгорания воздушно-реактивных двигателей, так и стендовых исследовательских газогенераторов (ГГ) для имитации газодинамического и теплового воздействия, технологических газогенераторов для обработки различных материалов.

Обзор и анализ современных публикаций и исследований. К настоящему времени сформировалось два основных направления, определяющих способ стабилизации фронта пламени в камере сгорания. Наиболее распространенным и исследованным является стабилизация путем помещения в поток продуктов сгорания плохобтекаемых тел [1].

Стабилизировать фронт пламени в КС воздушно-реактивных двигателей (ВРД) и малогабаритных газогенераторов можно с помощью так называемых газодинамических стабилизаторов, т.е., путем введения в поток продуктов сгорания газовых потоков различных форм и направлений. Данный способ имеет ряд преимуществ по сравнению с предыдущим: снижаются потери на обтекание стабилизатора, химическая энергия введенного газа может быть использована в процессе горения, вводимый газовый поток можно использовать для охлаждения элементов КС.

В отечественной и зарубежной литературе имеются публикации, посвященные исследованию различных способов газодинамической стабилизации [2, 3], а также описанию физического взаимодействия потоков в подобных КС.

Цель исследований. Целью исследований стало изучение одного из способов газодинамической стабилизации с помощью встречного кольцевого газового потока, имеющего интегральную закрутку. Данная статья посвящена одному из аспектов проблемы, а именно, определению гидравлического сопротивления проточной части устройств, создающих встречный стабилизирующий поток.

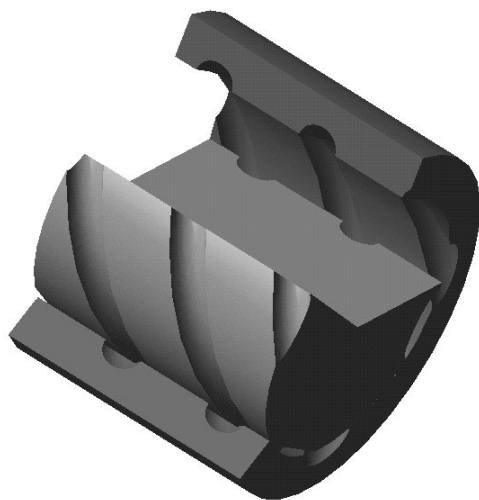
Результаты исследований. Для создания встречного кольцевого потока стабилизации в камерах сгорания технологических газогенераторов воздушно-реактивного типа возможно использование так называемых цилиндрических вихревых трактов (ЦВТ) [4], а также ЦВТ, имеющих асимметричную структуру (АЦВТ) для создания общей интегральной закрутки потока (рис. 1).

Как показали исследования, гидравлическое сопротивление цилиндрических вихревых трактов напрямую зависит от их геометрической структуры. Опираясь на данный результат, удалось выделить структурные функции для ЦВТ с симметричной (СЦВТ) и асимметричной структурой $S(0)$ и $S(\varphi)$ соответственно

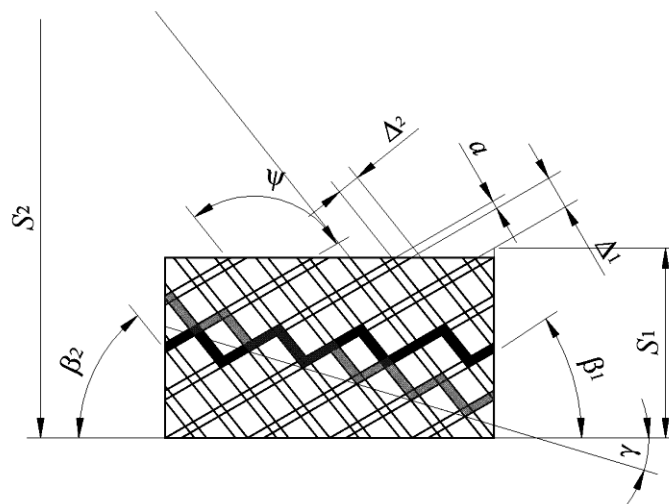
$$S(0) = \frac{\sqrt{2(1 - \cos \psi)}}{\overline{\Phi} + \overline{\Delta}}; \quad (1)$$

$$S(\varphi) = \frac{\cos\left(\frac{\pi - \psi}{1 + \overline{B}}\right)}{\overline{\Phi} + \overline{\Delta}_1} - \frac{\cos\left(\frac{\pi + \psi \overline{B}}{1 + \overline{B}}\right)}{\overline{\Phi} + \overline{\Delta}_2}, \quad (2)$$

где ψ - угол скрещивания каналов ЦВТ;



а)



б)

Рис. 1. Пример цилиндрического вихревого тракта и его развертка по поверхности сопряжения деталей с указанием основных геометрических параметров

$\overline{\Phi}$ - относительная ширина канала (относительно его эквивалентного гидравлического диаметра);

$\overline{\Delta}$ - относительная ширина перемычки (индексы 1 и 2 указывают на различие этой величины у АЦВТ);

$\overline{B}$ - безразмерный параметр асимметрии, равен отношению углов подъема винтовой линии канавок разных деталей ЦВТ.

Далее, используя вывод об общности гидравлического сопротивления в ЦВТ и гладких каналах, сделанный в работе [5], можно воспользоваться обобщенной формулой Дарси-Вейсбаха для гладких каналов. Вводя в нее полученные выше выражения для структурных функций СЦВТ и АЦВТ, получим

$$\Delta p = \xi \frac{L}{d_3} \frac{\cos\left(\frac{\pi - \psi}{1 + \overline{B}}\right) \cdot \frac{\overline{\Phi} + \overline{\Delta}_2}{\overline{\Phi} + \overline{\Delta}_1} - \cos\left(\frac{\pi + \psi \overline{B}}{1 + \overline{B}}\right)}{\overline{\Phi} + \overline{\Delta}_2} \frac{\rho W^2}{2}, \quad (3)$$

где Δp - перепад давлений, срабатываемый в проточной части ЦВТ;

L - осевая длина ЦВТ;

d_3 - эквивалентный гидравлический диаметр канала;

ξ - гидравлическое сопротивление одного повторяющегося элемента скрещивания (пояса скрещивания, см. рис. 1), выражение для которого получено в работе [5].

Следует отметить, что формула (3) справедлива для самого общего случая, т.е. случая АЦВТ. Для симметричного ЦВТ выражение существенно упрощается и приобретает вид

$$\Delta p_c = \xi \frac{L}{d_3} \frac{\sqrt{2(1 - \cos \psi)}}{(\overline{\Phi} + \overline{\Delta})} \frac{\rho W^2}{2}. \quad (4)$$

Перспективы дальнейших исследований.

Определение гидравлического сопротивления проточной части устройств для организации газодинамической стабилизации пламени является лишь одним из первых этапов по созданию модели течения в подобных камерах сгорания и методов расчета газодинамических стабилизаторов.

В ходе экспериментального исследования была также проведена визуализация картины течения в камере сгорания, использующей газодинамический способ стабилизации. Результаты этого исследования представлены на рис. 2 в виде изображений, полученных с помощью компьютерной графики.

На рисунке изображена сопловая часть камеры сгорания технологического газогенератора с

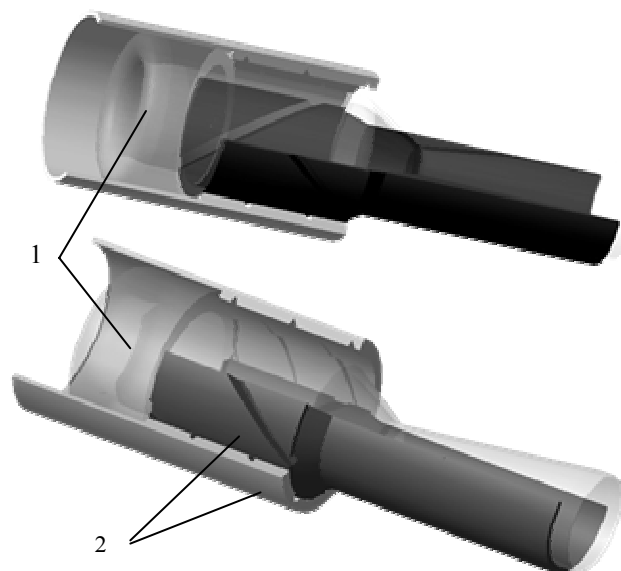


Рис. 2. Встречный кольцевой газовый поток стабилизации пламени (1) в камере сгорания технологического газогенератора, организованный с помощью АЦВТ (2)

конструктивным элементом (2) для организации встречного кольцевого воздушного потока стабилизации (1). Видна характерная тороидальная структура разворачиваемого газового потока и пристеночный слой «холодного» газа, обеспечивающий надежную теплоизоляцию дозвуковой части сопла. Изменяя количество подаваемого газа в стабилизатор, можно обеспечивать устойчивую работу камеры в очень широком диапазоне изменения соотношения топливных компонентов ($\alpha_{\text{ок}} = 0,8 \dots 20$). Данный факт глубокой дросселируемости камер сгорания является еще одним преимуществом в пользу применения рассматриваемого способа стабилизации пламени.

Выводы. Предложен метод определения гидравлического сопротивления газодинамических стабилизаторов на базе ЦВТ, основанный на повторяющейся структуре таких трактов. Метод может быть использован в конструкторских расчетах газодинамических стабилизаторов.

Литература

1. Лефевр А. Процессы в камерах сгорания ГТД / Пер. с англ.— М.: Мир, 1986.— 566 с.

2. Schaffer A., Cambel A.B. The effect of an opposing jet on flame stability // Jet Propulsion.- 1955.- Vol. 25.— P. 284-287.

3. Грушенко А.М., Завистовский Д.И. Перспективные газодинамические схемы камер сгорания технологических газогенераторов // Авиационно-космическая техника и технология: Сб. науч. тр. - Харьков: ХАИ, 1998.- Вып. 6.- С. 230-235.

4. Завистовский Д.И. Приведенный коэффициент расхода для несимметричных цилиндрических вихревых трактов (НЦВТ) // Авиационно-космическая техника и технология: Сб. науч. тр.- Харьков: ХАИ, 2000.- Вып. 19. Тепловые двигатели и энергоустановки.- С. 133-135.

5. Завистовский Д.И. Методы расчета цилиндрических вихревых трактов ракетных и воздушно-реактивных двигателей: Дис. ... канд. техн. наук: 05.07.05.— Харьков, 2003.— 174 с.

Поступила в редакцию 03.06.03.

Рецензенты: канд. техн. наук, доцент каф. «Аэрокосмическая теплотехника» В.В. Форфутдинов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков; д-р физ.-мат. наук, проф. А.В. Бастеев, ИПМаш НАНУ, г. Харьков.