

## **Численный анализ неконсервативных акустических систем применительно к устройствам инициации рабочего процесса в генераторах высокоэнтальпийных потоков**

**77-30569/339499**

# 02, февраль 2012

Воронцов А. В., Полянский А. Р., Арефьев К. Ю.

УДК 621.453/.457

МГТУ им. Н.Э. Баумана

[voron@mx.bmstu.ru](mailto:voron@mx.bmstu.ru)

[korolev100-rd@mail.ru](mailto:korolev100-rd@mail.ru)

[arefyev@rambler.ru](mailto:arefyev@rambler.ru)

Разработка неэлектрических систем многократного воспламенения является одной из ключевых задач повышения надежности запуска генераторов высокоэнтальпийных потоков устройств авиационно-космической техники. Использование для этих целей эффекта существенного повышения температуры рабочего тела в неконсервативной акустической системе является основным предметом настоящей работы.

Применение газодинамической системы воспламенения позволяет реализовать прогрессивную технологию «автозапуска», при которой конструктивные элементы зажигания подвергаются кратковременным тепловым нагрузкам исключительно в процессе запуска или повторного воспламенения в случае срыва пламени. При стационарном режиме функционирования генератора высокоэнтальпийных потоков, газодинамическая система воспламенения (ГСВ) не испытывает критических теплопрочностных воздействий. Предлагаемая система воспламенения улучшает технологичность операций и позволяет повысить надежность запуска генераторов высокоэнтальпийных потоков.

Возможной областью применения газодинамической системы воспламенения являются тепловые двигатели авиационной и космической техники, технологические системы высотных стендов, имитирующие

высокоскоростные условия полета летательного аппарата, энергоустановки различного назначения.

В задачи работы входит исследование возможности применения газодинамической системы воспламенения для запуска генератора высокоэнтальпийных потоков, а также разработка модельного экспериментального образца для проведения автономных испытаний.

Принципиальная схема ГСВ представлена на рис.1 и состоит из вспомогательного сверхзвукового сопла 1, резонатора 2, форсуночной головки 3, камеры сгорания (КС) ГСВ 4, генератора высокоэнтальпийных струй 5 и форсуночной головки 6. Для управления работой двигателя используются электромагнитные клапаны окислителя 7 (ЭК1) и горючего 8 (ЭК2), 9 (ЭК3).

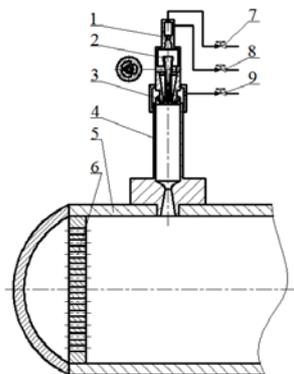


Рис. 1. Принципиальная схема применения ГСВ в составе генератора высокоэнтальпийных потоков

Газодинамическое воспламенение основано на подаче через вспомогательное сопло подготовленной смеси при значениях коэффициента избытка окислителя ( $\alpha_r=2...4$ ) для реализации температуры продуктов сгорания в области резонатора в диапазоне 1800...2200 К, что необходимо для надежного воспламенения топливной смеси в КС ГСВ при допустимом тепловом состоянии конструкции системы зажигания. Рабочий режим в КС ГСВ при оптимальном соотношении компонентов обеспечивается подачей дополнительного горючего через форсуночную головку. Истекающие из сопла продукты сгорания позволяют произвести инициацию рабочего процесса в генераторе высокоэнтальпийных струй, что приводит к запуску стенда. После запуска подача горючего через вспомогательное сопло может быть прекращена. При таком способе запуска давление в КС непосредственно после воспламенения

возрастает, в результате чего газодинамические пульсации и нагрев прекращаются, что предохраняет стенки резонатора от прогара.

Принцип действия рассматриваемой ГСВ заключается в том, что при надлежащем профилировании газодинамического тракта, истекающая из сопла 1 топливная смесь может быть нагрета в резонаторе 2 до температуры воспламенения. В результате возникающего циклического процесса высокотемпературные продукты сгорания попадают в камеру сгорания и двигатель начинает работать.

Рассмотрим более подробно процессы, происходящие в резонаторе. Схематично газодинамический тракт ГСВ представлен на рис. 2. Температура нагрева газа в застойной зоне А резонатора 1 зависит от целого ряда факторов: от скорости истечения струи из сопла 2, расстояния между срезом сопла и входом в резонатор  $L$ , длины резонатора  $S$ , угла раскрытия сопла  $\gamma$ , угла сужения конфузора  $\beta$  и др.

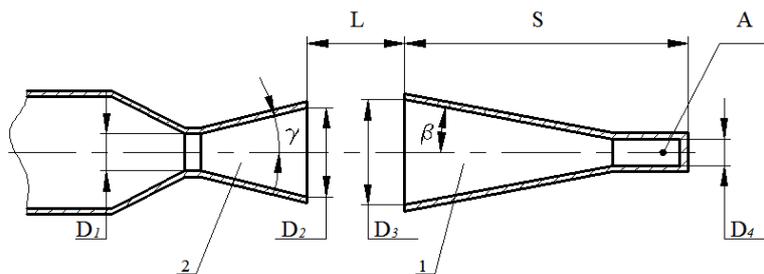


Рис. 2. Схема ГСВ

Моделирование процесса локального прогрева рабочего тела в резонаторе проводилось путем интегрирования полной осредненной по Рейнольдсу для турбулентных течений системы уравнений Навье-Стокса для идеального вязкого газа с использованием модели турбулентности  $k-\epsilon$  [1, 2]. Решение искалось в двухмерной нестационарной постановке для упрощенной геометрии газодинамического тракта камеры сгорания двигателя.

Интегрирование системы уравнений проводилось с использованием метода конечных объемов в нестационарной постановке с шагом по времени 25 нс. В качестве граничных условий задавались параметры газа на входе в сопло ГСВ. Для выполнения вычислений использовался пакет газодинамического моделирования Fluent.

Наиболее важным показателем ГСВ является осредненная по времени температура  $T_p$  в застойной зоне резонатора [3] (в области точки А, рис. 3). Расчеты продемонстрировали достаточно сильную зависимость  $T_p$  от размеров  $S$  и  $L$ . Для дальнейшего анализа использовались безразмерные параметры  $L/D_1$  и  $S/D_1$ .

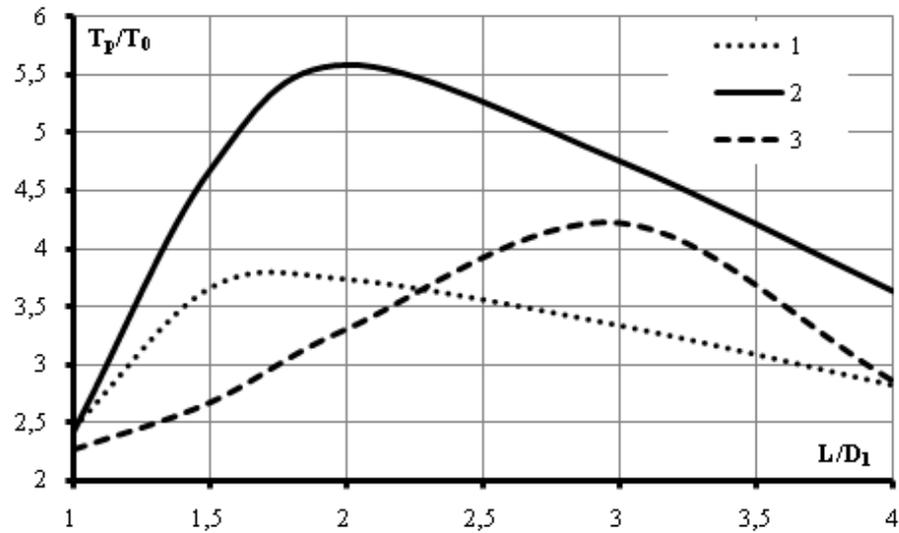


Рис. 3. Зависимость относительной температуры при различной длине резонатора: 1 -  $S/D_1=10$ ; 2 -  $S/D_1=13$ ; 3 -  $S/D_1=16$

Разработан и изготовлен опытный образец ГСВ (рис.4) для исследования влияния режимных и геометрических параметров на процесс запуска генератора высокоэнтальпийных потоков. Опытный образец ГСВ состоит из сверхзвукового сопла 1, резонатора 2, корпуса 3 и предназначен для испытаний в атмосферных условиях.

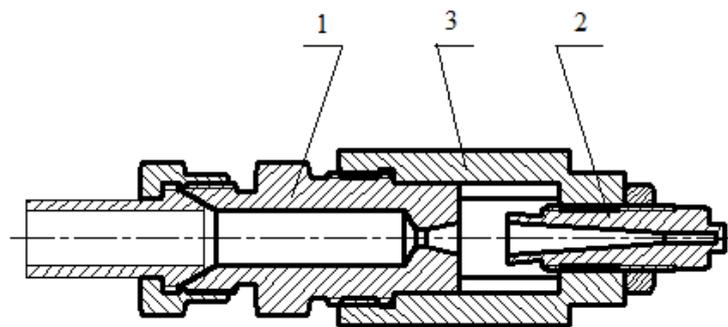


Рис. 4. Модельный вариант ГСВ

**Заключение.** В работе представлен вариант использования ГСВ для инициации рабочего процесса в генераторе высокоэнтальпийных потоков. Рассматриваемый метод воспламенения может быть применен при проведении высотных испытаний высокоскоростных летательных аппаратов.

Проведена расчетная оптимизация геометрических и режимных параметров ГСВ, основанная на численном моделировании нестационарных газодинамических процессов с помощью пакета Fluent.

Представлен модельный вариант ГСВ для дальнейших автономных экспериментальных исследований.

#### Литература

1. User's manual on website 'Software products and services from ANSYS and Fluent': [www.fluent.com](http://www.fluent.com)
2. J. K. Eaton and J. P. Johnston. A Review of Research on Subsonic Turbulent Flow Reattachment, AIAA, 1980, Paper AIAA-80-1438.
3. А.Н. Антонов, В.М. Купцов, В.В. Комаров. Пульсации давления при струйных и отрывных течениях – М.: Машиностроение, 1990. – 272 с. – ISBN 5-217-00822-9.

## **Numerical analysis of non-conservative acoustic systems for working process initialization devices in high-enthalpy flow generators**

**77-30569/339499**

# 02, February 2012

Voroneckii A.V., Polyanskii A.R., Aref'ev K.Yu.

Bauman Moscow State Technical University

[voron@mx.bmstu.ru](mailto:voron@mx.bmstu.ru)

[korolev100-rd@mail.ru](mailto:korolev100-rd@mail.ru)

[arefyev@rambler.ru](mailto:arefyev@rambler.ru)

The development of non-electric systems of multiple ignition for gas generating devices of rocket and space technologies is a pressing task. One of the promising systems is a gas dynamic system of ignition allowing to implement the progressive technology of “automatic launch”. The authors carried out simulation of local heating of a working body in an acoustic resonator with the help of solving the Navier-Stokes equation system. The results of the development of a resonant system of working process initialization in the high-enthalpy flow generator and preparation for carrying out experimental research of the modeling gas dynamics igniter sample are presented in this work.

---

**Publications with keywords:** [mathematical modeling](#), [acoustic fluctuations](#), [ignition system](#), [generators high-enthalpy flow](#)

**Publications with words:** [mathematical modeling](#), [acoustic fluctuations](#), [ignition system](#), [generators high-enthalpy flow](#)

---

### References

1. *User's manual “Software products and services from ANSYS and Fluent”*. Available at: <http://www.fluent.com>.
2. Eaton J.K., Johnston J.P. Review of Research on Subsonic Turbulent Flow Reattachment. *AIAA Journal*, 1981, vol. 19, no. 9, pp. 1093-1100.
3. Antonov A.N., Kuptsov V.M., Komarov V.V. *Pul'satsii davleniia pri struinykh i otryvnykh techeniakh* [Pressure pulsations in the jet and separated flows]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1990. 272 p.