

ГОРЕНИЕ В ГАЗОВОМ ФАКЕЛЕ. ДИАГНОСТИКА ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ МОД И УПРАВЛЕНИЕ ПОТОКОМ

Д. М. Маркович¹, В. М. Дулин²

Аннотация: Представлены результаты экспериментальных исследований структуры потока газовых струйных пламен с использованием метода панорамной анемометрии по изображениям частиц. Акцент сделан на исследовании наиболее энергоемких гидродинамических мод, на определении их роли в механизме стабилизации пламени и анализе эффективности управления процессом горения при воздействии на данные моды. Для выделения когерентной составляющей в пульсациях скорости были использованы процедуры декомпозиции, основанные на методах понижения размерности стохастических динамических систем. Для струйных пламен, стабилизированных закруткой, установлено, что в приосевой зоне торможения потока, формирующейся при истечении закрученной струи в атмосферный воздух или камеру сгорания, вихревое ядро принимает форму спирали. В случае интенсивной закрутки осевая скорость в зоне торможения принимает отрицательные значения, что соответствует приосевой области возвратных токов. Для таких сильнозакрученных потоков существенный вклад в турбулентные пульсации скорости вносит автоколебательная мода, соответствующая когерентной структуре из прецессирующего спиралевидного вихревого ядра и вторичного спирального вихря. Подобная пространственная структура когерентной составляющей пульсаций скорости сохраняется после поджига пламени. При этом внешний спиральный вихрь определяет интенсивность смешения на начальном участке струи с окружающим воздухом и играет ключевую роль в процессе стабилизации пламени богатых смесей. Продемонстрировано, что воздействие на собственные гидродинамические моды потока при модуляции расхода струи позволяет интенсифицировать процесс смешения и повысить эффективность горения факела на начальном участке, а также значительно снизить сажеобразование.

Ключевые слова: газовый факел; когерентные структуры; крупномасштабные вихревые структуры; управление потоком; эффективное сжигание топлива

Литература

1. *Gupta A. K., Lilley D. G., Syred N.* Swirl flows. — Kent, U.K.: Abacus Press, 1984. 475 p.

¹Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук; Новосибирский государственный университет, dmark@itp.nsc.ru

²Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук; Новосибирский государственный университет, vmd@itp.nsc.ru

2. *Lefebvre A. H., Ballal D. R.* Gas turbine combustion: Alternative fuels and emissions. — 3rd ed. — CRC Press, 2010. 538 p.
3. *Зельдович Я. Б., Садовников П. Я., Франк-Каменецкий Д. А.* Окисление азота при горении. — М.—Л.: Изд-во АН СССР, 1947. 147 с.
4. *Gad-el-Hak M.* Flow control: Passive, active, and reactive flow management. — Cambridge University Press, 2000. 421 p.
5. *Holmes P., Lumley J. L., Berkooz G.* Turbulence, coherent structures, dynamical systems and symmetry. — Cambridge University Press, 1996. 384 p.
6. *Ginevsky A. S., Vlasov Y. V., Karavosov R. K.* Acoustic control of turbulent jets. — Springer, 2004. 235 p.
7. *Broze G., Hussain F.* Transitions to chaos in a forced jet: Intermittency, tangent bifurcations, and hysteresis // *J. Fluid Mech.*, 1996. Vol. 311. P. 37–71.
8. *Baillet F., Demare D.* Responses of a lifted non-premixed flame to acoustic forcing. Part 2 // *Combust. Sci. Technol.*, 2007. Vol. 179. P. 905–932.
9. *Syred N., Beer J.* The damping of precessing vortex cores by combustion in swirl generators // *Astronaut. Acta*, 1972. Vol. 17. P. 783–801.
10. *Syred N.* A review of oscillation mechanisms and the role of the precessing vortex core (PVC) in swirl combustion systems // *Prog. Energ. Combust. Sci.*, 2006. Vol. 32. P. 93–161.
11. *Cala C. E., Fernandes E. C., Heitor M. V., Shtork S. I.* Coherent structures in unsteady swirling jet flow // *Exp. Fluids*, 2006. Vol. 40. P. 267–276.
12. *Stohr M., Sadanandan R., Meier W.* Phase-resolved characterization of vortex–flame interaction in a turbulent swirl flame // *Exp. Fluids*, 2011. Vol. 51. P. 1153–1167.
13. *Markovich D. M., Abdurakipov S. S., Chikishev L. M., Dulin V. M., Hanjalic K.* Comparative analysis of low- and high-swirl confined flames and jets by proper orthogonal and dynamic mode decompositions // *Phys. Fluids*, 2014. Vol. 26. P. 065109.

Поступила в редакцию 18.12.15