

ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПЕРЕХОДА ОТ УСТОЙЧИВОГО РЕЖИМА ГОРЕНИЯ К РЕЖИМУ ПРОСКОКА ПЛАМЕНИ В МОДЕЛЬНОЙ МАЛОЭМИССИОННОЙ КАМЕРЕ СГОРАНИЯ*

К. Я. Якубовский¹, А. Б. Лебедев², П. Д. Токталиев³

Аннотация: По результатам численного моделирования физико-химических процессов в модельной малоэмиссионной камере сгорания (МЭКС) MICAEDI ONERA (канал с обратным уступом) проведен анализ особенностей турбулентного горения заранее подготовленной смеси метана с воздухом путем исследования временного изменения амплитудно-частотных характеристик колебаний давления. Рассматривались несколько режимов горения, отличающихся только уровнем дросселирования выходного сечения камеры и, соответственно, уровнем давления в камере сгорания. Нестационарный трехмерный турбулентный поток рассчитывался методом LES WALE (large-eddy simulation wall-adapting local eddy viscosity), а турбулентное горение моделировалось с использованием модели Зимонта, основанной на дифференциальном уравнении для прогрессивной переменной (полноте сгорания). Анализ результатов расчетов продемонстрировал, что граница между устойчивым и неустойчивым режимами горения достаточно условна, так как режимы с сильными колебаниями фронта пламени могут быть подобны по спектральному составу режимам с меньшей амплитудой колебаний.

Ключевые слова: режим неустойчивого горения; турбулентное горение; камеры сгорания

DOI: 10.30826/CE19120306

Литература

1. *Thibaut D., Candel S.* Numerical study of unsteady turbulent premixed combustion: Application to flashback simulation // *Combust. Flame*, 1998. Vol. 113. No. 1-2. P. 53–65. doi: 10.1016/S0010-2180(97)00196-X.
2. *Park N. S., Ko S. C.* Large eddy simulation of turbulent premixed combustion flows over backward facing step // *J. Mech. Sci. Technol.*, 2011. Vol. 25. No. 3. P. 713–719. doi: 10.1007/s12206-011-0106-8.
3. *Plee S. L., Mellor A. M.* Review of flashback reported in prevaporizing/premixing combustors // *Combust. Flame*, 1978. Vol. 32. P. 193–203. doi: 10.1016/0010-2180(78)90093-7.
4. *Benim A. C., Syed K. J.* Flashback mechanisms in lean premixed gas turbine combustion. — Academic Press, 2015. 119 p. <http://www.sciencedirect.com/science/book/978012800755>.
5. *Kalantari A., McDonell V.* Boundary layer flashback of non-swirling premixed flames: Mechanisms, fundamental research, and recent advances // *Prog. Energ. Combust.*, 2017. Vol. 61. P. 249–292. doi: 10.1016/j.pecc.2017.03.001.
6. *Pudovikov D. E., Toktaliev P. D., Yakubovsky K. Ya.* Detached eddy simulation of flow in a model low emission combustion chamber // *Nonequilibrium processes in physics and chemistry* / Eds. A. M. Starik, S. M. Frolov. — Moscow: TORUS PRESS, 2016. Vol. 2. P. 225–235.
7. *Лебедев А. Б., Токталиев П. Д., Якубовский К. Я.* Расчетное исследование турбулентного гомогенного горения смеси метан/воздух методами RANS и LES в малоэмиссионной камере сгорания // *Горение и взрыв*, 2017. Т. 10. № 4. С. 8–16.
8. *Якубовский К. Я., Токталиев П. Д., Лебедев А. Б.* Расчетное исследование неустойчивых режимов гомогенного горения смеси метан/воздух в малоэмиссионной камере сгорания // *Горение и взрыв*, 2018. Т. 11. № 1. С. 34–45.
9. *Dupoireux F., Vincent-Randonnier A., Bertier N., Banh A.* Numerical simulation of a premixed CH₄–air burner for comparison of Reynolds-averaged Navier–Stokes and large-eddy simulation methodologies // *Nonequilibrium processes in physics and chemistry* / Eds. A. M. Starik, S. M. Frolov. — Moscow: TORUS PRESS, 2016. Vol. 2. P. 147–163.
10. *Keller J. O., Vaneveld L., Korschelt D., Hubbard G. L., Ghoniem A. F., Daily J. W., Oppenheim A. K.* Mechanism of instabilities in turbulent combustion leading to flashback // *AIAA J.*, 1982. Vol. 20. No. 2. P. 254–262. doi: 10.2514/3.51073.

* Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 19-08-01045).

¹ ФГУП «Центральный институт авиационного моторостроения им. П. И. Баранова», kyakubovsky@yandex.ru

² ФГУП «Центральный институт авиационного моторостроения им. П. И. Баранова», ablebedev@ciam.ru

³ ФГУП «Центральный институт авиационного моторостроения им. П. И. Баранова», toktaliev@ciam.ru

11. *Magre P., Moreau P., Collin G., Borghi R., Pealat M.* Further studies by CARS of premixed turbulent combustion in a high velocity flow // *Combust. Flame*, 1988. Vol. 71. No. 2. P. 147–168.
12. *Zimont V. L.* Gas premixed combustion at high turbulence. Turbulent flame closure combustion model // *Exp. Therm. Fluid Sci.*, 2000. Vol. 21. No. 1-3. P. 179–186. doi: 10.1016/S0894-1777(99)00069-2.
13. *Ruiz A. M., Lacaze G., Oefelein J. C., Mari R., Cuenot B., Selle L., Poinot T.* Numerical benchmark for high-Reynolds-number supercritical flows with large density gradients // *AIAA J.*, 2016. Vol. 54. No. 5. P. 1445–1460. doi: 10.2514/1.j053931.
14. ANSYS Inc., ANSYS Fluent Theory Guide. Release 14.5, 2012. <http://www.ansys.com/Products/Fluids/ANSYS-Fluent>.
15. *Лебедев А. Б., Секундов А. Н., Якубовский К. Я.* Возможный механизм автоколебаний в камере, работающей на заранее перемешанной смеси метана и воздуха // *Известия РАН. Механика жидкости и газа*, 2017. № 3. С. 57–62. doi: 10.7868/S0568528117030069.

Поступила в редакцию 09.08.19