

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НИЗКОЧАСТОТНЫХ РЕЖИМОВ НЕУСТОЙЧИВОГО ГОРЕНИЯ БЕДНЫХ МЕТАНОВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ В МАЛОЭМИССИОННЫХ КАМЕРАХ СГОРАНИЯ БЕЗ ЗАКРУТКИ ТЕЧЕНИЯ\*

А. Н. Дубовицкий<sup>1</sup>, А. Б. Лебедев<sup>2</sup>, Е. Д. Свердлов<sup>3</sup>

**Аннотация:** Проведено экспериментальное исследование режимов турбулентного гомогенного горения бедных метановоздушных смесей в полноразмерных (промышленных) малоэмиссионных камерах сгорания (МЭКС) газотурбинных установок (ГТУ). Показано, что для рассмотренных МЭКС, отличающихся от большинства промышленных МЭКС ГТУ высокой степенью гомогенизации топливовоздушной смеси (ТВС) на выходе из горелки, увеличенными размерами центральной зоны обратных токов (ЗОТ) и отсутствием закрутки потока, могут возникать низкочастотные режимы неустойчивого горения. При этом частоты колебаний давления, возникающих на режимах неустойчивого горения, значительно (в 3–5 раз) ниже собственных акустических частот рассмотренных камер сгорания. Амплитуда и спектр акустических колебаний давления зависят от коэффициента избытка воздуха в камере сгорания. Для объяснения возможных механизмов возникновения неустойчивого горения проведено исследование турбулентных пульсаций давления при отсутствии горения. В результате проведенных исследований удалось полностью устранить режимы неустойчивого горения в рассмотренных МЭКС.

**Ключевые слова:** неустойчивое горение; турбулентное горение гомогенной смеси; малоэмиссионные камеры сгорания

**DOI:** 10.30826/CE18110307

### Литература

1. *Paschereit C. O., Gutmark E., Weisenstein W.* Structure and control of thermoacoustic instabilities in a gas-turbine combustor // *Combust. Sci. Technol.*, 1998. Vol. 138. No. 1-6. P. 213–232. doi: 10.1080/00102209808952069.
2. *Lieuwen T. C., Yang V.* Combustion instabilities in gas turbine engines: Operational experience, fundamental mechanisms and modeling. — *Progress in astronautics and aeronautics ser.* — AIAA, 2005. Vol. 210. 657 p. doi: 10.2514/4.866807.
3. *Syred N.* A review of oscillation mechanisms and the role of precessing vortex core (PVC) in swirl combustion systems // *Prog. Energ. Combust. Sci.*, 2006. Vol. 32. No. 2. P. 93–161. doi: 10.1016/j.peecs.2005.10.002.
4. *Раушенбах Б. В.* Вибрационное горение. — М.: Физматлит, 1961. 500 с.
5. *Meier W., Weigand P., Duan X. R., Giezendanner-Thoben R.* Detailed characterization of the dynamics of thermoacoustic pulsations in a lean premixed swirl flame // *Combust. Flame*, 2007. Vol. 150. No. 1-2. P. 2–26. doi: 10.1016/j.combustflame.2007.04.002.
6. *Meier U. E., Wolff-Gaßmann D., Stricker W.* LIF imaging and 2D temperature mapping in a model combustor at elevated pressure // *Aerosp. Sci. Technol.*, 2000. Vol. 4. No. 6. P. 403–414. doi: 10.1016/S1270-9638(00)00142-5.
7. *Lee S.-Y., Seo S., Broda J. C., Pal S., Santoro R. J.* An experimental estimation of mean reaction rate and flame structure during combustion instability in a lean premixed gas turbine combustor // *P. Combust. Inst.*, 2000. Vol. 28. No. 1. P. 775–782. doi: 10.1016/S0082-0784(00)80280-5.
8. *Lee J. G., Santavicca D. A.* Experimental diagnostics for the study of combustion instabilities in lean premixed combustors // *J. Propul. Power*, 2003. Vol. 19. No. 5. P. 735–750. doi: 10.2514/2.6191.
9. *Schadow K. C., Gutmark E., Parr T. P., Parr D. M., Wilson K. J., Crump J. E.* Large-scale coherent structures as drivers of combustion instability // *Combust. Sci. Technol.*, 1989. Vol. 64. No. 4-6. P. 167–186. doi: 10.1080/00102208908924029.
10. *Kang D. M., Culick F. E. C., Ratner A.* Combustion dynamics of a low-swirl combustor // *Combust. Flame*, 2007. Vol. 151. No. 3. P. 412–425. doi: j.combustflame.2007.07.017.
11. *Poinsot T., Veynante D.* Theoretical and numerical combustion. — 3rd ed. — Philadelphia, PA, USA: Edwards, 2011. 587 p. <http://elearning.cerfacs.fr/combustion/onlinePoinsotBook/buythirdedition/index.php>.

\*Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 15-01-01003).

<sup>1</sup>Центральный институт авиационного моторостроения имени П. И. Баранова, dubovitsky@ciam.ru

<sup>2</sup>Центральный институт авиационного моторостроения имени П. И. Баранова, lebedev@ciam.ru

<sup>3</sup>Центральный институт авиационного моторостроения имени П. И. Баранова, sverdlov@rtc.ciam.ru

12. *Kourta A., Boisson H. C., Chassaing P., Ha Minh H.* Non-linear interaction and the transition to turbulence in the wake of a circular cylinder // *J. Fluid Mech.*, 1987. Vol. 181. P. 141–161. doi: 10.1017/S0022112087002039.
13. *McMurtry P. A., Riley J. J., Metcalfe R. W.* Effects of heat release on the large-scale structure in turbulent mixing layers // *J. Fluid Mech.*, 1989. Vol. 199. P. 297–332. doi: 10.1017/S002211208900039X.
14. *Hermanson J. C., Dimotakis P. E.* Effects of heat release in a turbulent, reacting shear layer // *J. Fluid Mech.* 1989. Vol. 199. P. 333–375. doi:10.1017/S0022112089000406.
15. *Erickson R. R., Soteriou M. C., Mehta P. G.* The influence of temperature ratio on the dynamics of bluff body stabilized flames. AIAA Paper No. 2006-753, 2006. doi: 10.2514/6.2006-753.
16. *Sattelmayer T.* Influence of the combustor aerodynamics on combustion instabilities from equivalence ratio fluctuations // *J. Eng. Gas Turb. Power*, 2003. Vol. 125. No. 1. P. 11–19. doi: 10.1115/1.1365159.
17. *Lieuwen T., Torres H., Johnson C., Zinn B. T.* A mechanism for combustion instabilities in premixed gas turbine combustors // *J. Eng. Gas Turb. Power*, 2001. Vol. 123. No. 1. P. 182–190. doi: 10.1115/1.1339002.
18. *Bomberg S., Emmert T., Polifke W.* Thermal versus acoustic response of velocity sensitive premixed flames // *P. Combust. Inst.*, 2015. Vol. 35. No. 3. P. 3185–3192. doi: 10.1016/j.proci.2014.07.032.

Поступила в редакцию 01.02.18