

ОПТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА РАСПЫЛЕНИЯ И ГОРЕНИЯ ЖИДКОГО ТОПЛИВА ЗА ФРОНТОВЫМ УСТРОЙСТВОМ МОДЕЛЬНОЙ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ*

О. Г. Челебян¹, А. Ю. Васильев², А. А. Свириденков³, А. А. Логинова⁴, В. Д. Кобцев⁵, Д. Н. Козлов⁶, С. А. Кострица⁷, В. В. Смирнов⁸, В. И. Фабелинский⁹

Аннотация: На испытательном стенде для исследования процессов распыления и смешивания с воздухом жидкого топлива фронтными устройствами модельных камер сгорания и горения образующейся в потоке топливовоздушной смеси оптическими методами проведены измерения характеристик распыленного облака керосина и горения керосиновоздушной смеси при различных расходах горючего и воздуха. Установленная на стенде модельная камера сгорания представляла собой осесимметричный одnogорелочный отсек с пневматическим форсуночным модулем во фронтном устройстве. Методом определения скорости частиц по теневым изображениям измерены пространственные распределения средних размеров капель в осевом сечении потока смеси, их средних осевых скоростей и плотностей объемного потока, показывающие эффективность форсуночного модуля в формировании потока мелкодисперсной керосиновоздушной смеси, обеспечивающей стабильный процесс горения. При горении смеси по спектрам когерентного антистоксова рассеяния света (КАРС) в осевом сечении пламени при различных параметрах смеси измерены распределения температур и продемонстрирована возможность определять как статистические характеристики флуктуаций «мгновенной» температуры, так и относительно медленные изменения ее средней величины в данной точке потока. Выбранные методы измерения позволяют получать дополняющие друг друга данные, характеризующие работу камер сгорания. Эти данные могут быть использованы для верификации расчетов как процесса распыления и испарения жидкого топлива в потоке воздуха, так и процесса горения полученной смеси и его оптимизации.

Ключевые слова: горение; камеры сгорания ГТД; распыление жидкого топлива; фронтное устройство камеры сгорания; форсуночный модуль; оптическая диагностика; определение скорости частиц по теневым изображениям; измерение диаметров и скоростей капель в потоке; лазерная диагностика; термометрия; когерентное антистоксово рассеяние света

DOI: 10.30826/CE20130108

Литература

1. Kohse-Höinghaus, K., R. S. Barlow, M. Aldén, and J. Wolfrum. Combustion at the focus: Laser diagnostics and control // P. Combust. Inst., 2005. Vol. 30. P. 89–123. doi: 10.1016/j.proci.2004.08.274.
2. Estruch, D., N. J. Lawson, and K. P. Garry. Application of optical measurement techniques to supersonic and hypersonic aerospace flows // J. Aerosp. Eng., 2009. Vol. 22. No. 383–395. doi: 10.1061/(ASCE)0893-1321(2009)22:4(383).
3. Ehn, A., J. Zhu, X. Li, and J. Kiefer. Advanced laser-based techniques for gas-phase diagnostics in combustion and aerospace engineering // Appl. Spectrosc., 2017. Vol. 71. No. 5. P. 1–26. doi: 10.1177/0003702817690161.
4. Xing, F., Y. Huang, M. Zhao, and J. Zhao. The brief introduction of different laser diagnostics methods used in aeroengine combustion research // J. Sensors., 2016.

* Работа по КАРС-спектроскопии была поддержана РФФИ (гранты № 19-03-00611 и № 20-38-70014).

¹Центральный институт авиационного моторостроения им. П. И. Баранова, ogchelebyan@ciam.ru

²Центральный институт авиационного моторостроения им. П. И. Баранова, ayvasilev@ciam.ru

³Центральный институт авиационного моторостроения им. П. И. Баранова, aasviridenkov@ciam.ru

⁴Центральный институт авиационного моторостроения им. П. И. Баранова, aaloginova@ciam.ru

⁵Центральный институт авиационного моторостроения им. П. И. Баранова, vdk@ciam.ru

⁶Центральный институт авиационного моторостроения им. П. И. Баранова; Институт общей физики им. А. М. Прохорова Российской академии наук, dnk@kapella.gpi.ru

⁷Центральный институт авиационного моторостроения им. П. И. Баранова, sakostritsa@ciam.ru

⁸Центральный институт авиационного моторостроения им. П. И. Баранова; Институт общей физики им. А. М. Прохорова Российской академии наук, vvs@kapella.gpi.ru

⁹Институт общей физики им. А. М. Прохорова Российской академии наук, vif@kapella.gpi.ru

- Vol. 2016. P. 2183569. doi: 10.1155/2016/2183569.
5. Aldén, M., J. Bood, Z. Li, and M. Richter. Visualization and understanding of combustion processes using spatially and temporally resolved laser diagnostic techniques // *P. Combust. Inst.*, 2011. Vol. 33. P. 69–97. doi: 10.1016/j.proci.2010.09.004.
 6. Roy, S., J. R. Gord, and A. K. Patnaik. Recent advances in coherent anti-Stokes Raman scattering spectroscopy: Fundamental developments and applications in reacting flows // *Prog. Energ. Combust.*, 2010. Vol. 36. No. 2. P. 280–306. doi: 10.1016/j.pecs.2009.11.001.
 7. Kiefer, J., and P. Ewart. Laser diagnostics and minor species detection in combustion using resonant four-wave mixing // *Prog. Energ. Combust.*, 2011. Vol. 37. P. 525–564. doi: 10.1016/j.pecs.2010.11.001.
 8. Estevadeordal, J., and L. Goss. PIV with LED: Particle shadow velocimetry (PSV) // 43rd AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, 2005. P. 12355–12364. doi: 10.2514/6.2005-37.
 9. Goss, L., and J. Estevadeordal. Parametric characterization for particle-shadow velocimetry (PSV). AIAA Paper No. 2006-2808, 2006.
 10. Hessenkemper, H., and T. Ziegenhein. Particle shadow velocimetry (PSV) in bubbly flows // *Int. J. Multiphas. Flow*, 2018. Vol. 106. P. 268–279. doi: 10.1016/j.ijmultiphaseflow.2018.04.015.
 11. Greenhalgh, D. A. Quantitative CARS spectroscopy // *Advances in nonlinear spectroscopy* / Eds. R. J. H. Clark, R. E. Hester. — Chichester, NY, USA: Wiley, 1988. Vol. 15. P. 193–251.
 12. Eckbreth, A. C. Laser diagnostics for combustion temperature and species. — *Combustion science and technology book ser.* — Amsterdam: Gordon and Breach, 1996. Vol. 3. 596 p.
 13. Челябин, О. Г., М. В. Силуянова, А. Ю. Васильев, А. А. Логинова, В. П. Маслов, Д. Л. Захаров. Границы применения метода теневой анемометрии частиц для исследований двухфазных потоков // *Авиационная промышленность*, 2017. № 3. С. 14–18.
 14. Smirnov, V. V., S. A. Kostitsa, V. D. Kobtsev, N. S. Titova, A. M. Starik. Experimental study of combustion of composite fuel comprising *n*-decane and aluminum nanoparticles // *Combust. Flame*, 2015. Vol. 162. No. 10. P. 3554–3561. doi: 10.1016/j.combustflame.2015.06.011.
 15. Кобцев, В. Д., Д. Н. Козлов, С. А. Кострица, В. В. Смирнов, О. М. Стельмах. Измерения флуктуаций температуры в турбулентном пламени методом когерентного антистоксова рассеяния света // *Письма в ЖТФ*, 2015. Т. 41. № 15. С. 90–97.
 16. Polymeropoulos, C. E., and S. Das. The effect of droplet size on the burning velocity of kerosene-air spray // *Combust. Flame*, 1975. Vol. 25. P. 247–257. doi: 10.1016/0010-2180(75)90091-7.

Поступила в редакцию 11.12.2019