

ОПЫТ ВАЛИДАЦИИ МОДЕЛЕЙ ТУРБУЛЕНТНОГО ГОРЕНИЯ КЛАССА PaSR И ПЛАНЫ РАЗВИТИЯ ЭТИХ МОДЕЛЕЙ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К КАМЕРАМ СГОРАНИЯ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК*

Р. А. Балабанов¹, В. В. Власенко², А. А. Ширяева³

Аннотация: Представлены результаты применения моделей турбулентного горения класса PaSR (Partially Stirred Reactor) к численному моделированию эксперимента Р. Magre *et al.* (ONERA). В эксперименте рассматривалось дозвуковое течение с горением предварительно перемешанной метановоздушной смеси в модельном канале с уступом. Показано, что применение модели EPaSR (Extended PaSR) в сочетании с учетом охлаждения стенок канала и обусловленного тепловыделением изменения интенсивности турбулентного переноса тепла и массы позволяет дать корректное описание структуры течения. Обсуждается возможный механизм колебаний в модельном канале, связанный с взаимодействием акустики и тепловыделения. Кратко описана новая модель турбулентного горения EPaSR-PrOm, которая учитывает оба канала взаимодействия турбулентности с горением. Эксперимент Р. Magre *et al.* воспроизводит в предельно упрощенной постановке наиболее существенные физические эффекты, характерные для турбулентного горения в камерах сгорания газотурбинных установок (ГТУ). Это позволяет рассчитывать на успешное использование модели турбулентного горения EPaSR-PrOm для моделирования рабочего процесса в камерах сгорания ГТУ.

Ключевые слова: турбулентное горение; реактор частичного перемешивания; переменные турбулентные числа Прандтля и Шмидта; теплообмен; валидация; газотурбинные установки

DOI: 10.30826/CE22150405

EDN: EGEOZX

Литература

1. Poinso T., Veynante D. Theoretical and numerical combustion. — 2nd ed. — Philadelphia, PA, USA: R. T. Edwards, Inc., 2005. 522 p.
2. Magnussen B. F. The eddy dissipation concept: A bridge between science and technology // ECCOMAS Thematic Conference on Computational Combustion. — Lisbon, Portugal, 2005. Vol. 21. P. 24.
3. Chomiak J., Karlsson A. Flame liftoff in diesel sprays // Symposium (International) on Combustion, 1996. Vol. 26. No. 2. P. 2557–2564.
4. Вулс Л. А. Тепловой режим горения. — М.—Л.: Госэнергоиздат, 1954. 288 с.
5. Moule Y., Sabel'nikov V., Mura A. Modelling of self-ignition processes in supersonic non premixed coflowing jets based on a PaSR approach. AIAA Paper No. 2011-2396, 2011. 9 p.
6. Moule Y., Sabelnikov V., Mura A. Highly resolved numerical simulation of combustion in supersonic hydrogen–air coflowing jets // Combust. Flame, 2014. Vol. 161. No. 10. P. 2647–2668.
7. Власенко В. В., Ноздрачев А. Ю., Сабельников В. А., Ширяева А. А. Анализ механизмов стабилизации турбулентного горения по данным расчетов с применением модели PaSR реактора частичного перемешивания // Горение и взрыв, 2019. Т. 12. № 1. С. 43–57.
8. Magre P., Moreau P., Collin G., Borghi R., Péralat M. Further studies by CARS of premixed turbulent combustion in a high velocity flow // Combust. Flame, 1988. Vol. 71. No. 2. P. 147–168.
9. Petrova N. Turbulence–chemistry interaction models for numerical simulation of aeronautical propulsion systems: Ph.D. Diss. — Ecole Polytechnique, 2015. 319 p.
10. Babulin A. A., Bosnyakov S. M., Vlasenko V. V., Engulatova M. F., Matyash S. V., Mikhailov S. V. Experience of validation and tuning of turbulence models as applied to the problem of boundary layer separation on a finite-width wedge // Comp. Math. Math. Phys., 2016. Vol. 56. No. 6. P. 1020–1033.

* Исследования, представленные в разд. 2 и 3, были поддержаны грантом Минобрнауки РФ (Договор № 14.G39.31.0001 от 13.02.2017).

¹Московский физико-технический институт (МФТИ); Центральный аэрогидродинамический институт (ЦАГИ), balabanov.ra@phystech.edu

²Центральный аэрогидродинамический институт (ЦАГИ); Московский физико-технический институт (МФТИ), vladimir.vlasenko@tsagi.ru

³Центральный аэрогидродинамический институт (ЦАГИ), anja.shiryeva@gmail.com

11. Басевич В. Я., Беляев А. А., Фролов С. М. 1998. «Глобальные» кинетические механизмы для расчета турбулентных реагирующих течений. Ч. 1. Основной химический процесс тепловыделения // Хим. физика, 1998. Т. 17. № 9. С. 117–129.
12. Nagano Y., Kim C. A two-equation model for heat transport in wall turbulent shear flows // J. Heat Transf., 1988. Vol. 110. P. 583–589.
13. Тушканов А. С. Термически и химически неравновесные процессы в факеле маршевого двигателя твердого топлива: Дис. . . . канд. техн. наук. — М.: Московский авиационный институт, 2019. 167 с.
14. Shih T. H., Lumley J. L., Janicka J. 1987. Second-order modelling of a variable-density mixing layer // J. Fluid Mech., 1987. Vol. 180. P. 93–116.

Поступила в редакцию 05.09.2022