

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ТЕПЛООБМЕНА И ХИМИЧЕСКОЙ КИНЕТИКИ НА СТРУКТУРУ ТЕЧЕНИЯ В МОДЕЛЬНОЙ КАМЕРЕ СГОРАНИЯ ONERA LARCAT II*

В. В. Власенко¹, Вэньчао Лю², С. С. Молев³, В. А. Сабельников⁴

Аннотация: Описаны результаты начального этапа численного моделирования эксперимента ONERA LARCAT II по горению водорода в модельной высокоскоростной камере сгорания. Расчеты проводились с использованием двух моделей химической кинетики. Описано моделирование течения в огневом подогревателе для получения граничного условия на входе в камеру сгорания. Дан физический анализ полученной в расчетах структуры течения в модельной камере. Исследовано влияние теплообмена на стенках канала. Результаты расчетов сопоставлены с экспериментальными и расчетными данными ONERA. Достигнуто хорошее согласование расчетов ЦАГИ и ONERA при использовании близких математических моделей течения. Те и другие расчеты сильно расходятся с экспериментом. Различные причины такого расхождения будут исследованы в последующих расчетах ЦАГИ.

Ключевые слова: сверхзвуковое горение; теплообмен; кинетическая схема; численное моделирование; экспериментальная валидация

DOI: 10.30826/CE20130205

Литература

1. Shiryayeva A., Sabelnikov V. Critical analysis of classical turbulent combustion experiments on the basis of RANS simulations // AIP Conf. Proc., 2018. Vol. 2027. P. 030078.
2. Sabelnikov V. A., Penzin V. I. Scramjet research and development in Russia // Scramjet propulsion / Eds. E. T. Curran, S. N. B. Murthy. — Progress in astronautics and aeronautics ser. — AIAA, 2000. Vol. 189. P. 223–368.
3. Баев В. К., Третьяков П. К., Забайкин В. А. Термодинамический анализ процесса в камере сгорания с внезапным расширением при сверхзвуковой скорости на входе и существенном проявлении нестационарности процесса. Препринт ИТПМ СО РАН № 3–2000, 2000. 43 с.
4. Roudakov A., Kopchenov V., Bezgin V., Gouskov O., Lomkov K., Prokhorov A. Researches of hypersonic propulsion in Central Institute of Aviation Motors // 4th Symposium on Aerothermodynamics for Space Vehicles, 2002. Vol. 487. P. 81–92.
5. O'Byrne S., Danehy P., Cutler A. Dual-pump CARS thermometry and species concentration measurements in a supersonic combustor. AIAA Paper No. 2004-710, 2004. 16 p.
6. Gardner A. D., Hannemann K., Pauli A., Steelant J. Ground testing of the HyShot supersonic combustion flight experiment in HEG // 24th Symposium (International) on Shock Waves Proceedings. — Beijing, China, 2005. P. 329–334.
7. Jackson K., Gruber M., Barhorst T. The HIFiRE flight 2 experiment: An overview and status update. AIAA Paper No. 2009-5029, 2009. 19 p.
8. Micka D. J., Driscoll J. F. Combustion characteristics of a dual-mode scramjet combustor with cavity flameholder // P. Combust. Inst., 2009. Vol. 32. No. 2. P. 2397–2404.
9. Аврашков В. Н., Метёлкина Е. С., Мещеряков Д. В. Исследование высокоскоростных ПВРД // Физика горения и взрыва, 2010. Т. 46. № 4. С. 36–44.
10. Vincent-Randonnier A., Moule Y., Ferrier M. Combustion of hydrogen in hot air flows within LARCAT-II Dual Mode Ramjet combustor at Onera-LAERTE facility — experimental and numerical investigation. AIAA Paper No. 2014-2932, 2014. 16 p.
11. Balland S., Vincent-Randonnier A. Numerical study of hydrogen/air combustion with CEDRE code on LAERTE dual mode ramjet combustion experiment. AIAA Paper No. 2015-3629, 2015. 10 p.
12. Pelletier G., Ferrier M., Vincent-Randonnier A., Sabelnikov V. Wall roughness effects on combustion develop-

*Описанные в статье численные исследования поддержаны Министерством образования и науки Российской Федерации (договор № 14.G39.31.0001 от 13 февраля 2017 г.). Обучение Вэньчао Лю в аспирантуре МФТИ поддержано Китайским стипендиальным советом (China Scholarship Council).

¹Центральный аэрогидродинамический институт (ЦАГИ); Московский физико-технический институт (МФТИ), vlasenko.vv@yandex.ru

²Московский физико-технический институт (МФТИ), chaolwfly@gmail.com

³Центральный аэрогидродинамический институт (ЦАГИ), molev@phystech.edu

⁴Французская аэрокосмическая лаборатория (ONERA); Центральный аэрогидродинамический институт (ЦАГИ), vladimir.sabelnikov@onera.fr

- ment in confined supersonic flow // J. Propul. Power, 2020 (in press).
13. JetSim Laboratory. <http://tsagi.ru/institute/lab220/>.
14. Власенко В. В., Михайлов С. В., Молев С. С., Трошин А. И., Ширяева А. А. Программа для численного моделирования трехмерных течений с горением в каналах прямоточных воздушно-реактивных двигателей в рамках подходов URANS и DES с применением моделей взаимодействия турбулентности с горением, технологии дробного шага по времени и метода пристеночных функций (zFlare). Свидетельство № 2019610822 от 18 января 2019 г. о государственной регистрации программы для ЭВМ.
15. Власенко В. В., Ноздрачев А. Ю., Сабельников В. А., Ширяева А. А. Анализ механизмов стабилизации турбулентного горения по данным расчетов с применением модели реактора частичного перемешивания // Горение и взрыв, 2019. Т. 12, № 1. С. 42–56.
16. Бабулин А. А., Босняков С. М., Власенко В. В., Енгулатова М. Ф., Матяш С. В., Михайлов С. В. Опыт валидации и настройки моделей турбулентности применительно к задаче об отрыве пограничного слоя на клине конечной ширины // Ж. вычисл. мат. мат. физ., 2016. Т. 56. № 6. С. 1034–1048.
17. Menter F. R., Kuntz M., Langtry R. Ten years of industrial experience with the SST turbulence model // Turbulence Heat Mass Transfer, 2003. Vol. 4. No. 1. P. 625–632.
18. Jachimowski C. J. An analytical study of the hydrogen–air reaction mechanism with application to scramjet combustion. NASA TP-2791, 1988. 16 p.
19. Bosnyakov S., Kursakov I., Lysenkov A., Matyash S., Mikhailov S., Vlasenko V., Quest J. Computational tools for supporting the testing of civil aircraft configurations in wind tunnels // Prog. Aerosp. Sci., 2008. Vol. 44. No. 2. P. 67–120.

Поступила в редакцию 16.12.2019