

ТРЕХМЕРНОЕ ПРЯМОЕ ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТУРБУЛЕНТНОГО ГОРЕНИЯ ВОДОРОДНО-ВОЗДУШНЫХ И МЕТАНОВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ В ПОЛЕ СИНТЕТИЧЕСКОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ*

В. Я. Басевич¹, А. А. Беляев², С. Н. Медведев³, С. М. Фролов⁴, Ф. С. Фролов⁵, Б. Басара⁶

Аннотация: Предложена методика трехмерного прямого численного моделирования (ПЧМ) распространения турбулентного пламени в газовых реагирующих смесях в условиях стационарной, однородной и изотропной синтетической турбулентности. Методика основана на детальном кинетическом механизме (ДКМ) горения многокомпонентной смеси. Методика применена к расчету турбулентного горения водородно-воздушных и метановоздушных смесей, в основном обедненных горючим. Рассчитанные скорости распространения турбулентного пламени удовлетворительно согласуются с измеренными значениями. Расчетные концентрации активных центров реакции — гидроксила OH, атомов H и O — в турбулентном пламени меньше, чем в ламинарном, что также согласуется с экспериментом.

Ключевые слова: прямое численное моделирование; синтетическая турбулентность; турбулентное горение; детальная кинетика; водород; метан

DOI: 10.30826/CE19120206

Литература

1. Bell J. B., Day M., Grcar J. F. Numerical simulation of premixed turbulent methane combustion // P. Combust. Inst., 2002. Vol. 29. P. 1987–1993.
2. Echehki T., Chen J. H. Direct numerical simulation of autoignition in nonhomogeneous hydrogen–air mixtures // Combust. Flame, 2003. Vol. 134. No. 3. P. 169–191.
3. Bell, J. B., Cheng R. K., Day M. S., Shepherd I. G. Numerical simulation of Lewis number effects on lean premixed turbulent flames // P. Combust. Inst., 2006. Vol. 31. P. 1309–1317.
4. Aspden A. J., Day M. S., Bell J. B. Three-dimensional direct numerical simulation of turbulent lean premixed methane combustion with detailed kinetics // Combust. Flame, 2016. Vol. 166. P. 266–283.
5. Басевич В. Я., Володин В. П., Козарко С. М., Перегудов Н. И. Расчеты турбулентного пламени в двумерном приближении // Хим. физика. 1982. Т. 1. № 8. С. 1130–1137.
6. Басевич В. Я., Беляев А. А., Фролов С. М., Басара Б. Прямое численное моделирование турбулентного горения газов в двумерном приближении // Горение и взрыв, 2017. Т. 10. № 1. С. 4–10.
7. Басевич В. Я., Беляев А. А., Фролов С. М., Фролов Ф. С. Прямое численное моделирование турбулентного горения водородно-воздушных смесей разного состава в двумерном приближении // Хим. физика, 2019. Т. 38. № 1. С. 27–37.
8. Карпов В. П., Северин Е. С. Влияние коэффициентов молекулярного переноса на турбулентную скорость выгорания // Физика горения и взрыва, 1980. Т. 16. № 1. С. 45–51.
9. Вильямс Ф. А. Теория горения / Пер. с англ. — М.: Наука, 1971. 615 с. (Williams F. A. The combustion theory. — Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 1994. 708 p.)

*Работа выполнена за счет субсидий, выделенных Федеральному исследовательскому центру химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук на выполнение государственного задания ФАНО России (темы 0082-2016-0011 с номером государственной регистрации AAA-A17-117040610346-5 и 0082-2014-0004 номер государственной регистрации AAA-A17-117040610283-3) и ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН на выполнение государственного задания ФАНО России (тема 0065-2019-0005 с номером государственной регистрации AAAA-A19-119011590092-6), а также частично при поддержке РФФИ (проект 16-29-01065офи-м).

¹Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук, basevich@chph.ras.ru
²Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук, belyaevIHF@yandex.ru

³Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук, medvedevs@chph.ras.ru

⁴Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук; Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»; Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук; Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», smfrol@chph.ras.ru

⁵Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук; Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук, smfrol@chph.ras.ru

⁶AVL List GmbH, Грац, Австрия, branislav.basara@avl.com

10. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа. — М.: Дрофа, 2003. 840 с.
11. Годунов С. К., Рябенький В. С. Разностные схемы. — М.: Наука, 1977. 440 с.
12. Басевич В. Я., Беляев А. А., Посвянский В. С., Фролов С. М. Механизмы окисления и горения нормальных парафиновых углеводородов: переход от C_1 — C_{10} к C_{11} — C_{16} // Хим. физика, 2013. Т. 32. № 4. С. 87–96.
13. Burcat A. Ideal gas thermodynamic data in polynomial form for combustion and air pollution use. Laboratory for Chemical Kinetics. <http://garfield.chem.elte.hu/Burcat/burcat.html>.
14. Рид Р., Праусниц Дж., Шервуд Т. Свойства газов и жидкостей / Пер. с англ. — Л.: Изд-во Химия, 1982. 592 с. (Reid C., Prausnitz J., Sherwood T. The properties of gases and liquids. — 3rd ed. — London: McGraw Hill, 1977. 688 p.)
15. Басевич В. Я., Когарко С. М. Образование углеводородов при турбулентном горении метано-воздушной смеси // Физика горения и взрыва, 1985. Т. 21. № 5. С. 12–17.

Поступила в редакцию 18.01.19