

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СГОРАНИЯ И ОБРАЗОВАНИЯ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В ЦИЛИНДРЕ ДИЗЕЛЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДЕТАЛЬНОГО КИНЕТИЧЕСКОГО МЕХАНИЗМА ОКИСЛЕНИЯ Н-ГЕПТАНА*

С. С. Сергеев¹, С. М. Фролов², Б. Басара³

Аннотация: На основе осредненных по Рейнольдсу трехмерных уравнений Навье–Стокса (Reynolds-averaged Navier–Stokes, RANS), дополненных различными полуэмпирическими моделями турбулентности ($k-\varepsilon$ -, $k-\xi-f$ - и гибридной НТМ (hybrid turbulence model) моделями), лагранжевой моделью топливной струи и квазиламинарной моделью горения с детальным кинетическим механизмом (ДКМ) окисления паров топлива (н-гептана) и образования оксидов азота, последовательно проведены расчеты закрученного течения в цилиндре дизеля без учета и с учетом подачи жидкой топливной струи, а также без учета и с учетом сгорания топливного заряда. Проведено сравнение результатов расчетов с расчетами по методу крупных вихрей (large-eddy simulation, LES), которое позволило определить преимущества и недостатки различных полуэмпирических моделей турбулентности. Оказалось, что такая важнейшая характеристика течения в камере сгорания (КС), как вихревое отношение, наилучшим образом моделируется с помощью НТМ-модели турбулентности. В расчетах с горением выявлены завышенные значения тепловых потоков в стенку цилиндра, что проявляется в расхождениях расчетных и экспериментальных кривых давления в цилиндре дизеля и расчетных и измеренных концентраций оксидов азота в отработавших газах.

Ключевые слова: дизель; вычислительная газовая динамика (CFD); метод крупных вихрей (LES); детальный кинетический механизм (ДКМ)

Литература

1. Liu Y., Ali A., Reitz R. D. Simulation of effects of valve pockets and internal residual gas distribution on HSDI diesel combustion and emissions. SAE Paper No. 2004-01-0105. 19 p.
2. Борисов А. А., Сметанюк В. А., Трошин К. Я., Шамшин И. О. Самовоспламенение в газовых вихрях // Горение и взрыв, 2016. Т. 9. Вып. 1. С. 4–13.
3. Кавтарадзе Р. З. Теория поршневых двигателей. Специальные главы. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008. 720 с.
4. Launder B. E., Spalding D. B. The numerical computation of turbulent flows // Comput. Method. Appl. Mech. Eng., 1974. Vol. 3. No. 2. P. 269–289.
5. Hanjalić K., Popovac M., Hadziabdić M. A robust near-wall elliptic relaxation eddy-viscosity turbulence model for CFD // Int. J. Heat Fluid Flow, 2004. No. 25. P. 897–901.
6. Basara B., Jakirlic S. A new turbulence modeling strategy for industrial CFD // Int. J. Numer. Meth. Fluids, 2003. Vol. 42. P. 89–116.
7. Dukowicz J. K. A particle–fluid numerical model for liquid sprays // J. Comp. Phys., 1980. Vol. 35. P. 229–253.
8. Басевич В. Я., Беляев А. А., Медведев С. Н., Посвянский В. С., Фролов Ф. С., Фролов С. М. Детальный кинетический механизм многостадийного окисления и горения изооктана // Хим. физика, 2016. Т. 35. № 10. С. 32–41. http://ru.combex.org/labs_files/iC8H18.doc.
9. Chemical-kinetic mechanisms for combustion applications. San Diego mechanism web page. Mechanical and Aerospace Engineering (Combustion Research), University of California at San Diego. <http://combustion.ucsd.edu>.
10. Smagorinsky J. S. General circulation experiments with the primitive equations. I: The basic experiment // Monthly Weather Rev., 1963. Vol. 91. No. 3. P. 99–164.
11. Медведев С. Н., Сметанюк В. А., Фролов С. М., Шамшин И. О. Методы ускорения многомерных газодинамических расчетов с детальными кинетическими механизмами окисления и горения моторных топлив // Горение и взрыв, 2013. Вып. 6. С. 45–50.

Поступила в редакцию 14.02.17

* Работа выполнена при частичной поддержке Программы Президиума РАН I.31 «Фундаментальные исследования процессов горения и взрыва».

¹ Институт химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук

² Институт химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук; Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», smfrol@chph.ras.ru

³ AVL LIST GmbH, Graz, Austria, branislav.basara@avl.com