

РАСЧЕТ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА В ДИЗЕЛЕ С УРАВНЕНИЕМ СОСТОЯНИЯ РЕАЛЬНОГО ГАЗА*

С. М. Фролов¹, В. С. Иванов², Р. Р. Тухватуллина³, Ф. С. Фролов⁴, Н. М. Кузнецов⁵, Б. Басара⁶

Аннотация: Проведены сравнительные трехмерные газодинамические расчеты рабочего процесса в камере сгорания (КС) современного дизеля с использованием термических и калорических уравнений состояния (УС) реального и идеального газов. Показано существенное влияние реальногазовых эффектов на индикаторную диаграмму и на выход оксидов азота и сажи. Так, учет реальногазовых свойств приводит к снижению максимального давления и средней массовой температуры в КС дизеля приблизительно на 7 атм (6%) и 150 К (9%) соответственно, увеличению задержки самовоспламенения на 1,6° поворота коленчатого вала (ПКВ), увеличению на 20% максимальной скорости тепловыделения и снижению выхода NO и сажи в 2 и 4 раза соответственно. Максимальные значения относительной избыточной теплоемкости (~ 2,5%) и относительного избыточного давления (~ 4%) достигаются вблизи «холодных» стенок КС и в области топливной струи с высокой концентрацией паров топлива и относительно низкой температурой, т. е. в тех зонах КС, где велика плотность вещества.

Ключевые слова: дизель; рабочий процесс; численное моделирование; уравнение состояния реального газа; индикаторная диаграмма; оксиды азота; сажа

DOI: 10.30826/CE19120109

Литература

1. Фролов С. М., Кузнецов Н. М., Крюгер С. Свойства реальных газов — н-алканов, O₂, N₂, H₂O, CO, CO₂ и H₂ в условиях эксплуатации дизельного двигателя // Ж. Сверхкритические флюиды: Теория и практика, 2009. Т. 4. № 3. С. 56–105; № 4. С. 3–60.
2. AVL FIRE® — Computational Fluid Dynamics for Conventional and Alternative Powertrain Development. <https://www.avl.com/fire>.
3. Сергеев С. С., Фролов С. М., Басевич В. Я., Басара Б., Пришинг П. Моделирование процессов смесеобразования и сгорания в дизеле с применением детального кинетического механизма окисления горючего // Горение и взрыв, 2018. Т. 11. № 2. С. 88–98.
4. Hanjalić K., Popovac M., Hadziabdic M. A robust near-wall elliptic relaxation eddy-viscosity turbulence model for CFD // Int. J. Heat Fluid Flow, 2004. No. 25. P. 897–901.
5. Béard P., Colin O., Miche M. Improved modelling of DI diesel engines using sub-grid descriptions of spray and combustion. SAE Paper No. 2003-01-0008, 2003.
6. Schiller L., Naumann Z. A drag coefficient correlation // VDI Zeitung, 1935. Vol. 77. P. 318–320.
7. Dukowicz J. K. A particle–fluid numerical model for liquid sprays // J. Comput. Phys., 1980. Vol. 35. P. 229–253.
8. Liu A. B., Reitz R. D. Modeling the effects of drop drag and breakup on fuel sprays. SAE Paper No. 930072. 1993.
9. Зельдович Я. Б., Садовников П. Я., Франк-Каменецкий Д. А. Окисление азота при горении. — М.—Л.: Издательство АН СССР, 1947. 150 с.
10. Magnussen B. F., Hjertager B. H. On mathematical modeling of turbulent combustion with special emphasis on soot formation and combustion // 16th Symposium (International) on Combustion. — Pittsburgh, PA, USA: The Combustion Institute, 1977. Vol. 16. P. 719–729.

*Работа выполнена за счет субсидии, выделенной ИХФ РАН на выполнение государственного задания по теме 0082-2016-0011 «Фундаментальные исследования процессов превращения энергоемких материалов и разработка научных основ управления этими процессами», номер государственной регистрации АААА-А17-117040610346-5, и субсидии, выделенной ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН (выполнение фундаментальных научных исследований ГП 14) по теме № 0065-2019-0005 «Математическое моделирование динамических процессов в деформируемых и реагирующих средах с использованием многопроцессорных вычислительных систем» (номер государственной регистрации АААА-А19-119011590092-6).

¹Институт химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук; Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук; Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, smfrol@chph.ras.ru

²Институт химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук; Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук, ivanov.vls@gmail.com

³Институт химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук, tukhvatullinarr@gmail.com

⁴Институт химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук; Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук, f.frolov@chph.ru

⁵Институт химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук, N-M-Kuznetsov@yandex.ru

⁶AVL LIST GmbH, Graz, Austria, branslav.basara@avl.com

11. *Ferziger J. H., Peric M.* Computational methods for fluid dynamics. — New York, NY, USA: Springer-Verlag, 1996. 370 p.
12. *Sweby P. K.* High resolution schemes using flux limiters for hyperbolic conservation laws // *SIAM J. Numer. Anal.*, 1984. Vol. 21. No. 5. P. 995. doi: 10.1137/0721062.

Поступила в редакцию 22.01.19