

9. По контракту с фирмой MAN в институте двигателей внутреннего сгорания при Мюнхенском Техническом Университете была (1999-2000) выполнена экспериментальная работа по исследованию рабочего процесса, локального теплообмена и задержки воспламенения (дизель MAN 24/30) при использовании в качестве топлива природного газа, различных синтезгазов и водорода [7].

Начиная с 1990 г. по настоящее время сотрудниками кафедры по вопросам теплообмена и связанным в двигателях опубликованы около 200 публикаций в периодических изданиях, в том числе 7 монографий и учебников. Ряд из них опубликованы в США, Германии, Великобритании, Чехии, КНР.

Заинтересованность студентов, магистрантов, аспирантов и молодых преподавателей вопросами теплообмена в двигателях вселяет надежду, что это традиционное и одновременно актуальное научное направление в стенах МГТУ им. Н.Э. Баумана будет и дальше успешно развиваться.

#### **Литература:**

1. Гриневецкий В. И. Тепловой расчет рабочего процесса. Дополнение редактора перевода к книге Г. Гюльднера «Газовые, нефтяные и прочие двигатели внутреннего сгорания», Москва, типо - литография «И.Н. Кушнерев и К<sup>0</sup>», 1907. С. 569-594.

2. Д.Н. Вырубов. Теплоотдача и испарение капель. Журнал технической физики. Том IX, вып. 21. -1939. С. 1923-1931.

3. Кавтарадзе Р.З. Локальный теплообмен в поршневых двигателях (2-ое издание). М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007.-472 с.

4. Иващенко Н.А., Кавтарадзе Р.З. Многозонные модели рабочего процесса двигателей внутреннего сгорания. Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1997.-58 с.

5. Вошни Г., Цайлингер К., Кавтарадзе Р.З. Вихревое движение воздуха в быстроходном дизеле с четырьмя клапанами на цилиндр// Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия «Машиностроение», №1, 1997. С.74-84.

6. Кавтарадзе Р.З. Теория поршневых двигателей. Специальные главы. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008.-720 с.

7. Kavtaradze R.Z., Zeilinger R., Zitzler G. Ignition Delay in a Diesel Engine Utilizing Differenz Fuels. High Temperature. Vol. 43. N6, 2005.-P.951-960.

8. Кавтарадзе Р.З., Зеленцов А.А., Кавтарадзе З.Р., Никитин Ю.Н., Финкельберг Л.А. Моделирование локального нестационарного теплообмена в камере сгорания и теплоснапряженного состояния поршня авиационного двигателя. Известия РАН. Энергетика. №2, 2010. – С. 133-151.

9. Кавтарадзе Р.З., Ван Ичунь. Локальный теплообмен в теплоизолирующей камере сгорания быстроходного дизеля// Известия РАН. Энергетика, № 4, 2001. – С. 149-158.

## **КОНВЕРТИРОВАНИЕ ПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ НА ВОДОРОДНОЕ ТОПЛИВО**

**Климова Е.В., Краснов В.М.** (Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана)

#### ***Введение***

Анализируя современную топливно-энергетическую и экологическую обстановку в мире и прогнозируя ее развитие на ближайшие несколько десятков лет нужно отметить, что нашей стране необходимо развивать ветвь альтернативных

топлив. Одним из таких топлив является водород. При переходе на него как на новый вид топлива желательно не разрабатывать новые двигатели, а в первую очередь конвертировать уже созданные. Целью данной работы является перевод двигателя на водородное топливо. Объект исследования - дизель с камерой сгорания Гессельман, в который добавлена система зажигания для лучшего воспламенения.

### Математическая модель

Для каждого контрольного объема в камере сгорания решается система уравнений, включающая в себя уравнение Навье-Стокса, уравнение энергии, уравнение диффузии и уравнение неразрывности [1]. Расчет совершенствуется введением  $k$ - $\varepsilon$  модели турбулентности.

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \bar{W}_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( n + \frac{n_t}{s_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + t_{ij} \frac{\partial \bar{W}_i}{\partial x_j} - e, \quad (1)$$

$$\frac{\partial e}{\partial t} + \bar{W}_j \frac{\partial e}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( n + \frac{n_t}{s_e} \right) \frac{\partial e}{\partial x_j} \right] + c_{e1} \frac{e}{k} t_{ij} \frac{\partial \bar{W}_i}{\partial x_j} - c_{e2} \frac{e^2}{k}, \quad (2)$$

Где  $n_t = c_m \frac{k^2}{e}$  - турбулентная вязкость

Также в математическую модель вводятся пристеночные функции

$$u^+ = y^+ \quad y^+ < 11,63 \quad - \text{вязкий подслой}$$

$$u^+ = \frac{1}{k} \ln(Ey^+) \quad y^+ > 11,63 \quad - \text{логарифмический подслой}$$

$$m_w = \frac{y^+}{u^+} m \quad u^+ = c_m^{1/4} \frac{k_p^{1/2}}{u_t} u_p \quad y^+ = c_m^{1/4} \frac{rk_p^{1/2}}{m} y_p$$

Здесь  $u^+$ ,  $y^+$  - универсальные безразмерные скорость и координата,  $\kappa = 0,41$  постоянная Никурадзе-Кармана,  $E = 8,8$  - параметр, определяющий шероховатость, индекс «р» указывает на значения параметров в центре ближайшего к стенке КО, индекс «w» - на значения параметров на стенке.

В решении используется стандартная модель теплообмена.

Профиль температуры

$$T^+ = \text{Pr}_t \left[ \frac{1}{\kappa} \ln(Ey^+) + Y \right], \quad (3)$$

где

$$Y = 2,94 \left[ \left( \frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_t} \right)^{0,75} - 1 \right] \cdot \left[ 1 + 0,28 \exp \left( -0,007 \frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_t} \right) \right] \quad (4)$$

Плотность теплового потока на стенке

$$q_w = C_{\mu}^{1/4} \bar{k}_p^{1/2} \rho c_p (T_p - T_w) \cdot \left\{ \text{Pr}_t \left[ \frac{1}{\kappa} \ln(Ey^+) + Y \right] \right\}^{-1} \quad (5)$$

При описании процесса сгорания топливо - воздушной смеси использовалась модель В.Ф. Magnussen, В.Н. Hjertager [3]

$$\bar{w}_r = \frac{B}{\tau_t} \bar{\rho} \min \left( \bar{m}_T, \frac{m_{O_2}}{L_0}, C \frac{m_{np.cз.}}{1 + L_0} \right) \quad (6)$$

Здесь  $L_0$  – массовое стехиометрическое количество воздуха;  $t_i = \frac{\bar{k}}{e}$  – масштаб

времени турбулентного перемешивания,  $B$  и  $C$  – эмпирические коэффициенты, учитывающие влияние турбулентности и параметров топлива на скорость химической реакции.

Для реализации математической модели использовался программный комплекс:

FIRE. Users Manual Version 2009. AVL List GmbH Graz, Austria. (Лицензионное соглашение DKNR: BMSTU 101107 между МГТУ им. Н.Э.Баумана и «АПС Консалтинг»)

### Результаты численных экспериментов

На рис.1 показан внутренний объем цилиндра исследуемого двигателя при положении поршня в верхней мертвой точке (кол-во элементов 25490).

На рис.2 - рис.6 представлены результаты компьютерного расчета.

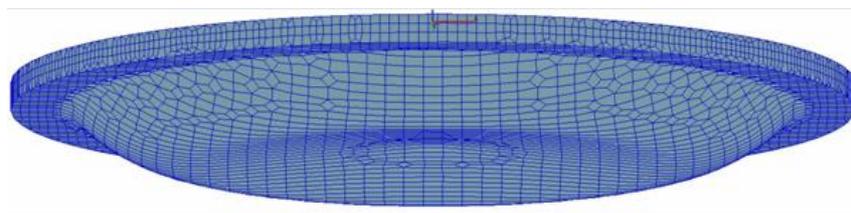


Рис. 1. Разбиение расчетной области на контрольные объемы

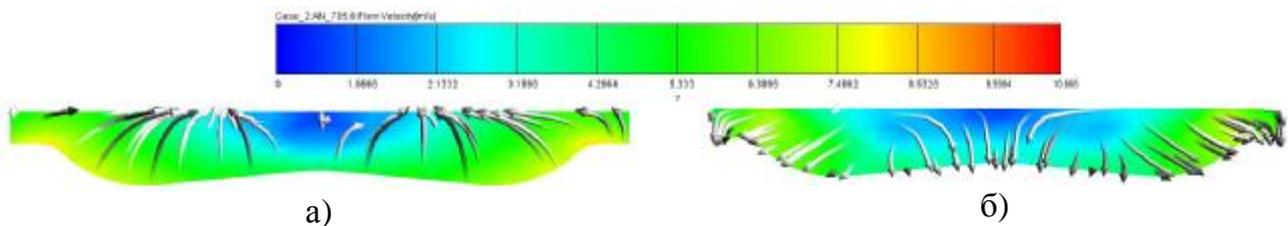


Рис. 2. Поля скоростей, определенные при а)  $\varphi = 345^\circ$  ПКВ б)  $\varphi = 375^\circ$  ПКВ

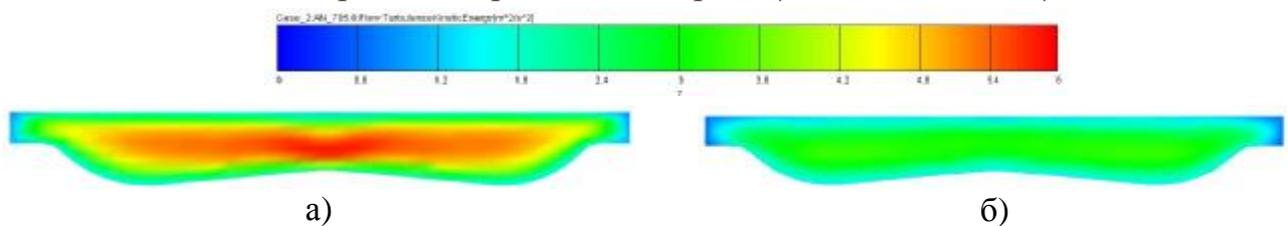


Рис. 3. Кинетическая энергия турбулентности при а)  $\varphi = 345^\circ$  ПКВ б)  $\varphi = 375^\circ$  ПКВ

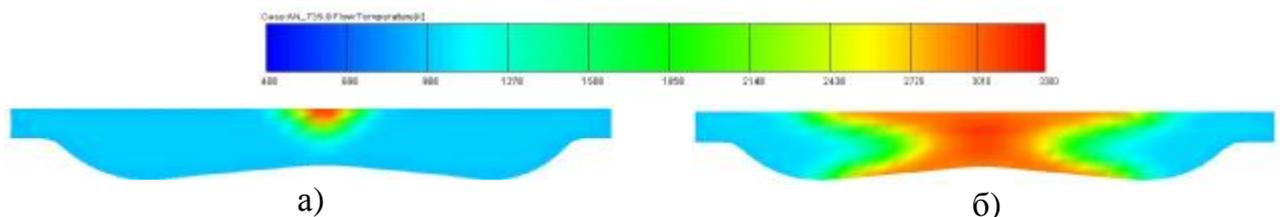


Рис. 4. Поля температур, определенные при а)  $\varphi = 345^\circ$  ПКВ б)  $\varphi = 375^\circ$  ПКВ

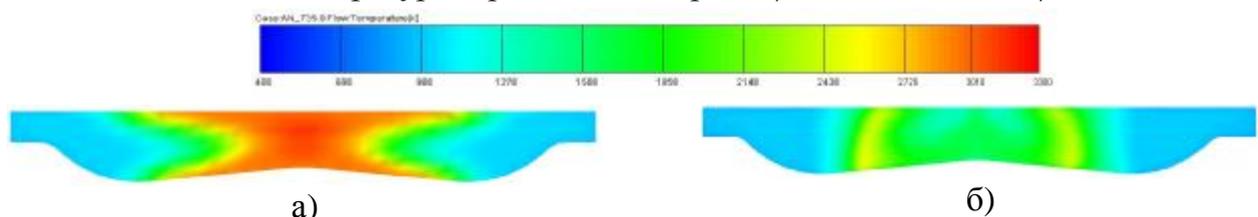


Рис. 5. Поля температур, полученные при  $\varphi = 375^\circ$  ПКВ для а) водородного двига-

теля б) дизеля

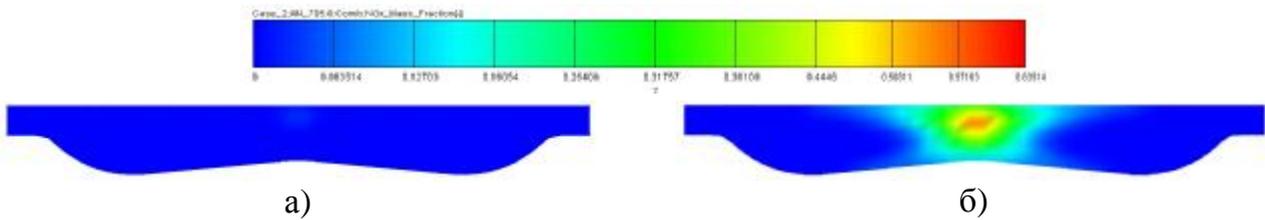


Рис. 6. Массовые доли оксидов азота, определенные при а)  $\varphi = 345^\circ$  ПКВ б)  $\varphi = 375^\circ$  ПКВ

### **Заключение**

1. Проведен анализ существующих конструкций двигателей, работающих на водородном топливе. Для дальнейшей разработки выбрана схема с подачей в цилиндр предварительно перемешанной смеси и искровым зажиганием.
2. Проведен расчет рабочего процесса исследуемого двигателя и получены его эффективные показатели, не уступающие дизельному прототипу.
3. На основании результатов расчетов делается заключение о целесообразности перевода дизельного двигателя на водородное топливо, в силу отсутствия в выхлопных газах диоксида углерода и сажи.

### **Литература**

6. Кавтарадзе Р.З. Локальный теплообмен в поршневых двигателях. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 472с.
7. FIRE. Users Manual Version 2009. AVL List GmbH Graz, Austria, 2009.
8. Magnussen B.F., Hjertager B.H. On mathematical models of turbulent combustion with special emphasis on soot formation and combustion. 16-th International Symposium on Combustion. Cambridge, 1976. P. 719-729.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ ПО СОЗДАНИЮ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ АНАЛИЗА РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ В ДВС И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ И В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ**

**Александров А.В., Долгов И.А., Петров А.М.** (Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет)

В 2007 году на конференции МАНФ в НАМИ коллективом Хозрасчетной научно-производственной лаборатории ДВС кафедры ТиАТД МАДИ была представлена первая версия исследовательского комплекса для анализа рабочих процессов в ДВС. За прошедшее время этот комплекс совершенствовался и развивался. На рис. 1 показана принципиальная схема комплекса.

Комплекс подключается в разрыв между блоком управления двигателем с одной стороны и информационными датчиками и исполнительными устройствами с другой. Он состоит из разветвителя, коммутационного блока, нормирующего блока и 16-канального АЦП, установленного в компьютер.

Традиционно, при проведении исследовательских работ, для регистрирования сигналов применяется одна программная среда, а для обработки их приходится переносить в специализированные прикладные программы. Это снижает производительность труда и может приводить к появлению ошибок.

Представляемый исследовательский комплекс предназначен для углубленной диагностики четырехтактных ПДВС. Он имеет ряд существенных новаций: