

ВЛИЯНИЕ ПРОФИЛЯ ДНИЩА КАМЕРЫ СГОРАНИЯ В ДИЗЕЛЕ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ГОРЯЩЕЙ СМЕСИ

Е.А. Лазарев, В.Е. Лазарев

THE INFLUENCE OF THE DIESEL'S ENGINE COMBUSTION CHAMBER PROFILE TO BURNING FUEL MIXTURE'S DISTRIBUTION OF TEMPERATURE

E.A. Lazarev, V.E. Lazarev

Определено распределение температуры рабочего тела в цилиндре и камере сгорания с различной формой поперечного сечения, обусловленное сгоранием топлива и движением газовой смеси. Отмечено влияние на температурную неоднородность рабочего тела направления потоков газовой смеси, обусловленного отклоняющим действием выступа на днище камеры сгорания, и установлены области с наиболее высокими температурами в объеме камер сгорания различной формы.

Ключевые слова: рабочее тело, температурное состояние, отклоняющий выступ, камера сгорания.

The distribution of the temperature for cylinder and combustion chamber with different type of the cross-section is defined in connection with fuel burning and mixture's flows. The influence of the stream directions to irregular of the temperature of the fuel mixture is presented as well as in connection with influence of piston's asperity. The volumes with highest temperatures into chamber of combustion are evaluated.

Keywords: fuel mixture, thermal condition, piston's asperity for chamber of combustion, chamber of combustion.

Введение. Повышение литровой мощности транспортных дизелей сопровождается ростом тепловой нагруженности элементов внутрицилиндрового пространства, в частности распылителя топливной форсунки. Температура распылителя в значительной степени зависит от интенсивности теплообмена газового потока горячей смеси с выступающей частью его корпуса [1]. Интенсивность теплообмена определяется скоростью, направлением и температурой газового потока. В открытых камерах сгорания с осевым вихревым движением рабочего тела корпус распылителя подвержен непосредственному воздействию горячей газовой смеси.

Для снижения тепловой нагруженности распылителя в этих условиях целесообразно ослабить непосредственное воздействие высокотемпературного газового потока. Использование в этих целях специального выступа на днище камеры сгорания, отклоняющего газовый поток от выступающей части корпуса распылителя, впервые предложено профессором Б.Н. Семеновым в ЦНИДИ, который получил патент на конструкцию такой камеры сгорания и исследовал ее при работе на дизеле малой размерности [2].

Важнейшей особенностью газодинамической обстановки в этой камере сгорания является направленный характер газового потока. Для этого выступ со специальным профилем отклоняет газовый поток в периферийные области камеры сгорания и придает ему торообразное движение. В этой связи необходима оценка температурного состояния рабочего тела в объеме камеры сгорания, определяющего параметры теплообмена с выступающей частью корпуса распылителя.

Особенности методики исследования. Характерным представителем полуразделенных камер сгорания является открытая камера, конструкция и размещение в поршне которой, а также особенности движения воздуха в ней при перемещении поршня от НМТ к ВМТ представлены на

Расчет и конструирование

рис. 1. Отсутствие зауженной горловины обеспечивает преобладание осевой составляющей вихревого движения воздуха в камере сгорания, выражающееся в образовании так называемого осевого воздушного вихря.

Анализ температурного состояния рабочего тела в цилиндре и камере сгорания дизеля осуществляется с использованием технологии CFD, реализованной в программном комплексе FIRE фирмы AVL (Австрия, г. Грац) и обладающей широкими возможностями для трехмерного моделирования динамических процессов в топливной струе и рабочем газе методом конечных объемов. Программный комплекс используется в учебных и научных целях в соответствии со специальным соглашением о творческом сотрудничестве между фирмой AVL и ЮУрГУ.

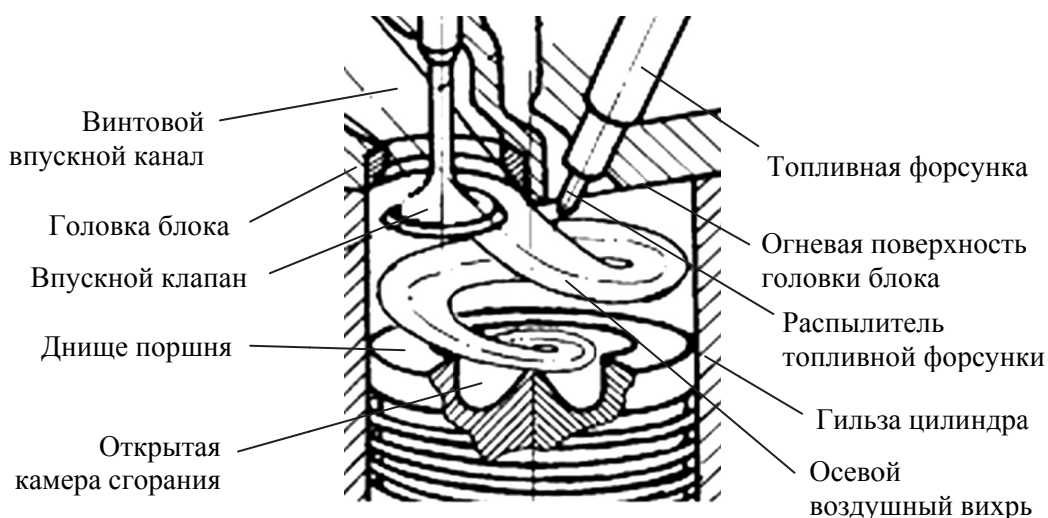


Рис. 1. Элементы, образующие внутрицилиндровое пространство, и траектория движения воздуха в открытой камере сгорания дизеля камеры сгорания ЦНИДИ при впрыскивании

В статье рассмотрено изменение температурного состояния рабочего тела в цилиндре и камере сгорания в зависимости от угла поворота коленчатого вала дизеля 4ЧН13/15, работающего в режиме номинальной мощности при значении среднего эффективного давления $P_e = 1,34$ МПа и частоты вращения коленчатого вала $n = 2100$ мин⁻¹. В этих целях составлены пространственные конечно-объемные модели сегментов камер сгорания внутри цилиндра дизеля, фрагменты которых представлены на рис. 2. С учетом равномерно расположенных по окружности восьми распыляющих отверстий распылителя топливной форсунки угол сегмента конечно-объемной модели в плоскости днища поршня составляет 45 град.

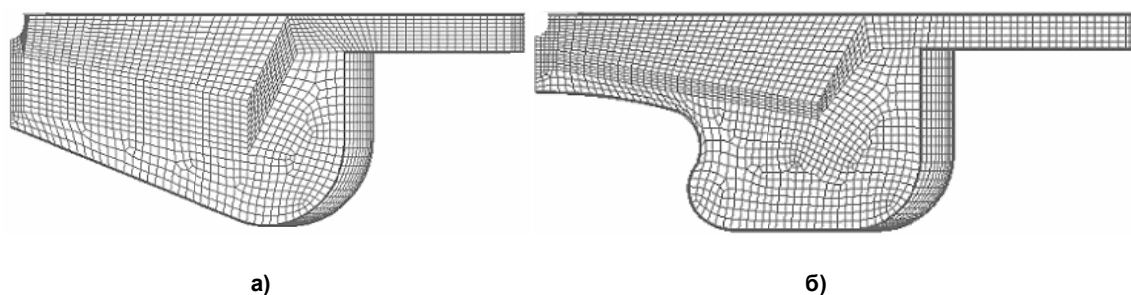


Рис. 2. Фрагменты пространственных конечно-объемных моделей сегментов камер сгорания внутри цилиндра дизеля: а – открытая камера сгорания; б – камера сгорания с отклоняющим выступом

Состояние рабочего тела в цилиндре и камере сгорания дизеля оценивалось преимущественно в процессах сжатия, впрыскивания топлива, смесеобразования, сгорания и совмещенного с последними расширения. Анализ температурного состояния рабочего тела выполнялся в плоскости, близкой к плоскости оси топливной струи в процессе ее развития.

Результаты расчетного анализа. Температурное состояние рабочего тела в камерах сгорания представлено в совмещенном виде с индикаторной диаграммой давления P газов в цилиндре дизеля на рис. 3. Здесь же приведена зависимость усредненной по объему внутрицилиндрового пространства температуры T газа в функции от угла поворота коленчатого вала α .

Рассмотрим температурное состояние газовой среды в открытой камере сгорания дизеля. При перемещении поршня к ВМТ в процессе сжатия давление и температура рабочего тела растут, причем распределение температуры по объему внутрицилиндрового пространства, включая объем камеры сгорания, относительно равномерное. Положение поршня на слайде 1 соответствует углу поворота коленчатого вала 300 град ПКВ. При перемещении поршня к ВМТ (слайды 2 и 3) температура рабочего тела возрастает, сохраняя относительно равномерное распределение ее по объему внутрицилиндрового пространства.

Положение поршня на слайде 2 совмещено с продолжающимся впрыскиванием топлива, на слайде видно истечение топливной струи из распыливающего отверстия распылителя топливной форсунки. После впрыскивания топлива происходит самовоспламенение и начало выгорания топливных паров. Температурное состояние рабочего тела характеризуется появлением локальной (очаговой) области с повышенной (до 1900–2200 К) температурой (слайд 3).

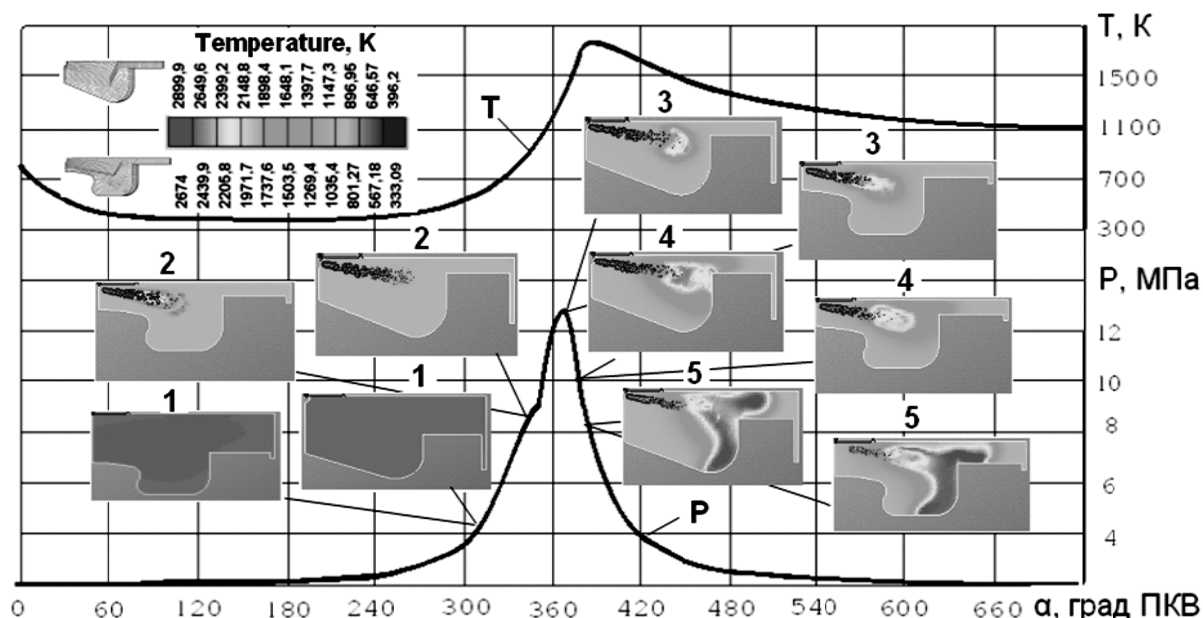


Рис. 3. Изменение давления, температуры в цилиндре и температурное состояние смеси в камерах сгорания в зависимости от угла поворота коленчатого вала дизеля ($P_e = 1,34$ МПа, $n = 2100$ мин $^{-1}$)

По мере распада топливной струи и развития процесса ее выгорания очаговая область повышенной температуры трансформируется, приобретая серповидную форму, и развивается вдоль вертикальной стенки (слайд 4) под действием слабой радиальной составляющей вихревого движения рабочего тела, направленного внутрь камеры сгорания. При дальнейшем перемещении поршня (слайд 5) температура очаговой области продолжает непрерывно расти и достигает максимального значения на поверхности вертикальной стенки камеры сгорания. Затем очаговая область распространяется в увеличивающемся надпоршневом зазоре между дном поршня и поверхностью головки блока. При дальнейшем движении поршня к НМТ область повышенной температуры достигает внутренней поверхности гильзы цилиндра.

Интересно проследить развитие топливной струи и изменение газодинамической обстановки в камере сгорания в процессе впрыскивания топлива, продолжительность которого на режиме номинальной мощности исследуемого дизеля составляет 30 град ПКВ (рис. 4, а). Для более различимой визуализации процесса развития топливной струи при впрыскивании размер капель топлива на приведенных слайдах условно увеличен в 10 раз.

Через 8 градусов ПКВ после начала впрыскивания (слайд 1) струя топлива проходит почти половину расстояния до вертикальной поверхности камеры сгорания в поршне. Затем струя топ-

Расчет и конструирование

лива начинает распадаться на отдельные капельки, интенсивно прогреваясь и испаряясь (слайд 2). Нагретые пары топлива образуют след области повышенной температуры в объеме камеры сгорания с образованием зарождающегося высокотемпературного очага (слайд 3).

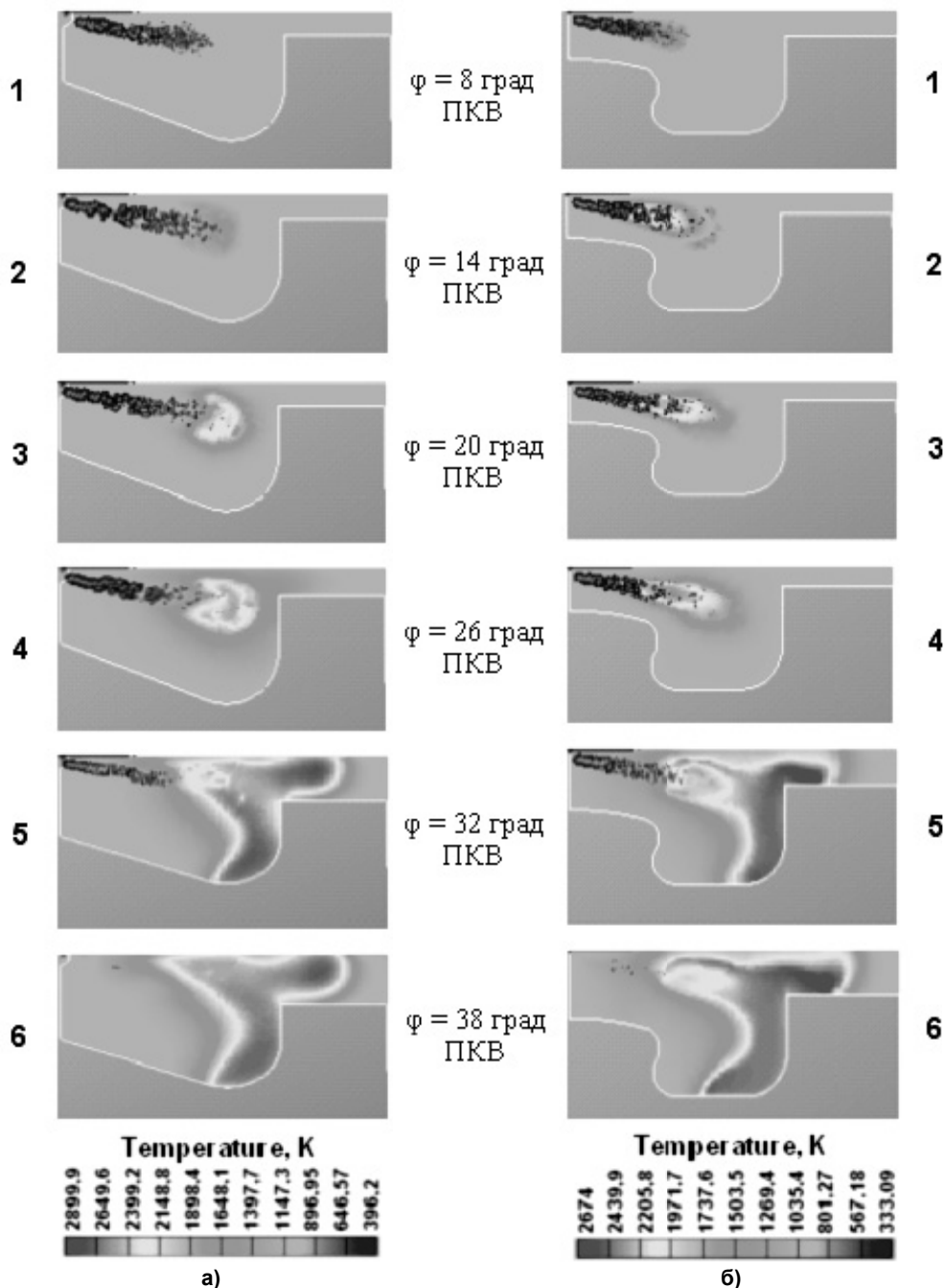


Рис. 4. Изменение температурного состояния рабочего тела в камерах сгорания в зависимости от угла поворота коленчатого вала дизеля за период впрыскивания топлива: а – открытая камера сгорания; б – камера сгорания с отклоняющим выступом ($P_e = 1,34$ МПа, $n = 2100$ мин⁻¹)

Продолжающийся распад все возобновляемой топливной струи, вследствие поступления новых порций топлива из распыливающего отверстия, увеличивает объем паровой фазы топлива, охватываемый областью повышенной температуры. При движении поршня к НМТ вдоль вертикальной стенки камеры сгорания наблюдается увеличение очагового повышения температуры (слайд 5). К моменту окончания процесса впрыскивания топлива высокотемпературная область расширяется вдоль надпоршневого зазора к поверхности гильзы цилиндра, одновременно опускаясь вглубь камеры сгорания и охватывая ее днище (слайд 6).

На рис. 4, б видно, что топливная струя в камере сгорания с отклоняющим выступом на днище развивается аналогично таковой в открытой камере (слайды 1–4). Замечено, что движение воздушного вихря оказывает несущественное влияние на развитие топливной струи при впрыскивании топлива, лишь незначительно отклоняя ее вглубь камеры сгорания.

Несколько иная картина температурного состояния газовой среды наблюдается в камере сгорания с отклоняющим выступом после появления высокотемпературного очага. Зона повышенной температуры газового потока, истекающего из камеры сгорания и отклоняющегося выступом на ее днище, отжимается в периферийные области к вертикальной стенке камеры (слайд 5). При этом область повышенной температуры в районе огневого днища головки блока перемещается от оси цилиндра в сторону гильзы (слайд 6), снижая таким образом температуру газового потока, омывающего выступающую часть корпуса распылителя. Снижение температуры газового потока в районе распылителя составляет 85–90 °С.

Выводы. В результате проведенного исследования установлено, что:

- формирование и особенно развитие области с повышенной температурой рабочего тела находятся в тесной зависимости от направления газового потока;
- область повышенной температуры рабочего тела концентрируется в районе вертикальной стенки камеры сгорания, что интенсифицирует процесс теплообмена в этой зоне поршня;
- распределение температур внутри камеры сгорания определяется характером движения газового потока;
- размещение отклоняющего выступа на днище камеры сгорания позволяет направить газовый поток в периферийные зоны и снизить его температуру в области размещения распылителя на 85–90 °С.

Представленная работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках программы развития Южно-Уральского государственного университета на 2010–2019 годы по направлению «Современные технологии компьютерного моделирования рабочих процессов и проектирования основных механизмов и систем в дизелестроении» госконтракт № 11-0520-НИУ от 22.06.2011 г., методической и научной поддержке фирмы AVL (г. Грац, Австрия) (Agreement for Use of Simulation Software AVL BOOST, AVL CRUISE, AVL EXCITE and AVL FIRE between SUSU (Chelyabinsk, Russia) and AVL LIST GmbH (Graz, Austria).

Литература

1. Лазарев, Е.А. Основные принципы, методы и эффективность средств совершенствования процесса сгорания топлива для повышения технического уровня тракторных дизелей: моногр. / Е.А. Лазарев. – Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2010. – 289 с.
2. Семенов, Б.Н. Рабочий процесс высокооборотных дизелей малой мощности / Б.Н. Семенов, Е.П. Павлов, В.П. Котцев. – Л.: Машиностроение, 1990. – 240 с.

Поступила в редакцию 14 августа 2012 г.

Лазарев Евгений Анатольевич. Доктор технических наук, профессор кафедры «Двигатели внутреннего сгорания», Южно-Уральский государственный университет. Область научных интересов – расчет и моделирование рабочего цикла, впрыскивание топлива и тепломеханическая нагруженность дизелей. Тел.: 8 (351) 267-94-31; e-mail: lea2@mail.ru

Evgeny A. Lazarev. Doctor of engineering science, professor of the Internal Combustion Engines department, South Ural State University. Professional interests – research and modeling of piston internal combustion engines processes, injection and burning of fuel, thermal and mechanical loadings of diesel engines. Tel.: 8 (351) 267-94-31; e-mail: lea2@mail.ru

Лазарев Владислав Евгеньевич. Доктор технических наук, профессор кафедры «Двигатели внутреннего сгорания», Южно-Уральский государственный университет. Область научных интересов – снижение тепломеханической нагруженности и повышение ресурса прецизионных сопряжений топливной аппаратуры дизелей. Тел.: 8 (351) 267-90-98; e-mail: power_engine@mail.ru

Vladislav E. Lazarev. Doctor of engineering science, professor of the Internal Combustion Engines department, South Ural State University. Professional interests – decreasing of heat mechanic load and increase of resource of precision integration of components of diesel engine fuel equipment of. Tel.: 8 (351) 267-90-98; e-mail: power_engine@mail.ru