

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ГАЗОВОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ

Шибанов А.В., Савченков Д.А.¹, Гайворонский А.И.¹

МГТУ им Н.Э. Баумана, ¹ВНИИГАЗ, г.Москва

Топливо-энергетическая и экологическая ситуация, складывающаяся в Российской Федерации и в мире, свидетельствуют о том, что природный газ, используемый в качестве моторного топлива, является реальной единственной альтернативой жидким углеводородным топливам. В условиях конвертации находящихся в эксплуатации двигателей внутреннего сгорания для работы на природном газе, т.е. для так называемого вторичного рынка газоиспользующей техники выбор способа организации рабочего процесса ограничивается технологическими возможностями ремонтных подразделений транспортных предприятий. Поэтому самым распространенным является увеличение камеры сгорания под степень сжатия, исключаящую появление детонации в цилиндре двигателя, с последующей организацией процессов подачи и воспламенения топливно-воздушной смеси. При этом на конфигурацию камеры сгорания, как правило, не обращают никакого внимания. Однако образование токсичных компонентов в продуктах сгорания во многом определяется характером распространения фронта пламени, что в свою очередь, зависит от геометрии впускных органов и камеры сгорания. Имея ввиду выше сказанное, во ВНИИГАЗе и в МГТУ им Н.Э. Баумана проводятся исследования рабочих процессов газовых двигателей, направленные на совершенствование камеры сгорания с целью улучшения, в первую очередь, экологических характеристик конвертированных двигателей.

В представленной статье приведены результаты расчетно-теоретической работы по совершенствованию камеры сгорания газового двигателя транспортного назначения, созданного на базе надвального дизельного двигателя КамАЗ-740 (таблица 1). Целью такого исследования являлось получение качественных показателей, подтверждающих значительное влияние геометрии камеры сгорания на протекание термодинамических процессов в цилиндре газового двигателя. Основное содержание работы включает задачи по проектированию и оптимизации камеры сгорания, определению и оценке факторов, оказывающих влияние на процессы смесеобразования, воспламенения и сгорания топливовоздушной смеси, а также образование токсичных основных компонентов в цилиндре газового двигателя размерностью 120x120.

В рамках данной работы были проведены исследования с камерами сгорания цилиндрического типа и камерой ω -образной формы, имеющими одинаковое значение степени сжатия 11,5.

Таблица 1. Характеристика базового и конвертированного двигателя

Модель	КамАЗ-740	Конвертированный
Тип	дизельный с турбонаддувом	газовый с турбонаддувом
Номинальная мощность, брутто, кВт	191	176
при частоте вращения коленчатого вала, мин ⁻¹	2200	2200
Максимальный крутящий момент, Нм	931	864
при частоте вращения коленвала, мин ⁻¹	1300 - 1500	1300 - 1500
Расположение и число цилиндров	V - образное , 8	V – образное, 8
Рабочий объем, л	10,85	10,85
Диаметр цилиндра и ход поршня, мм	120/120	120/120
Степень сжатия	17	11,3

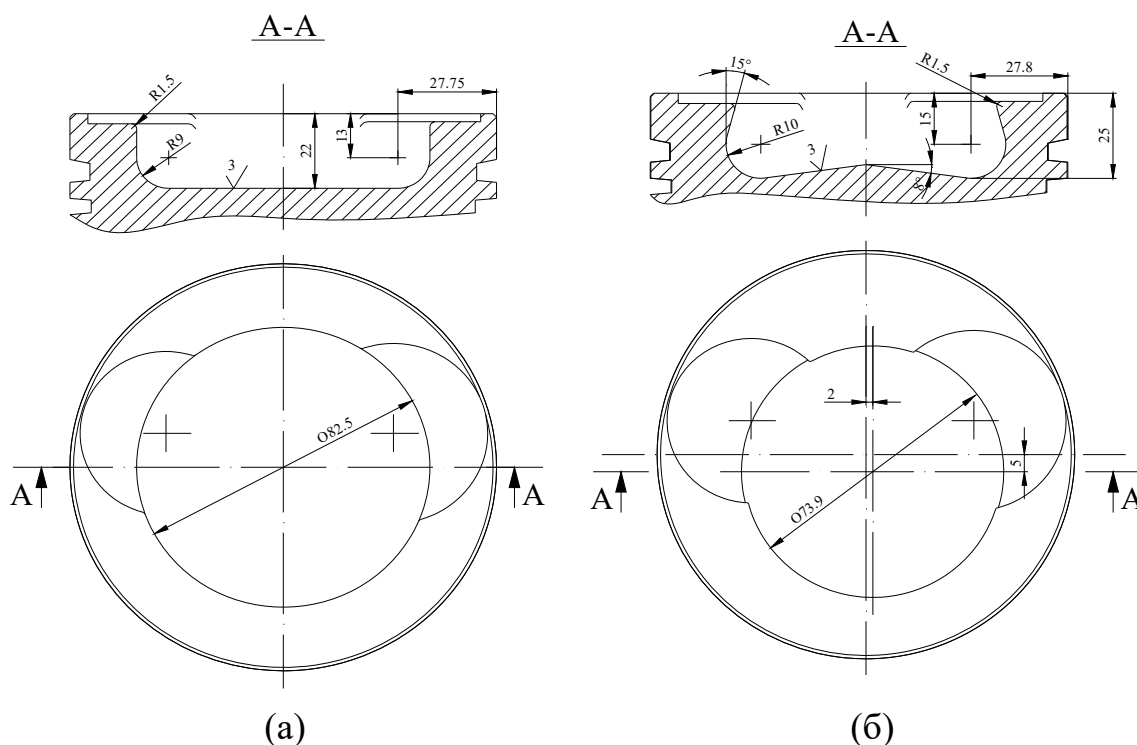


Рис. 1. Камеры сгорания цилиндрической (а) и ω -образной формы (б)

После проведенного анализа работ ведущих зарубежных фирм и исследовательских институтов, работающих в данной области, для исследования были выбраны две различные формы камер сгорания (рис.1).

Далее на основе трехмерного твердотельного описания каждой камеры были созданы, конечно-элементные, модели исследуемых цилиндров. Для

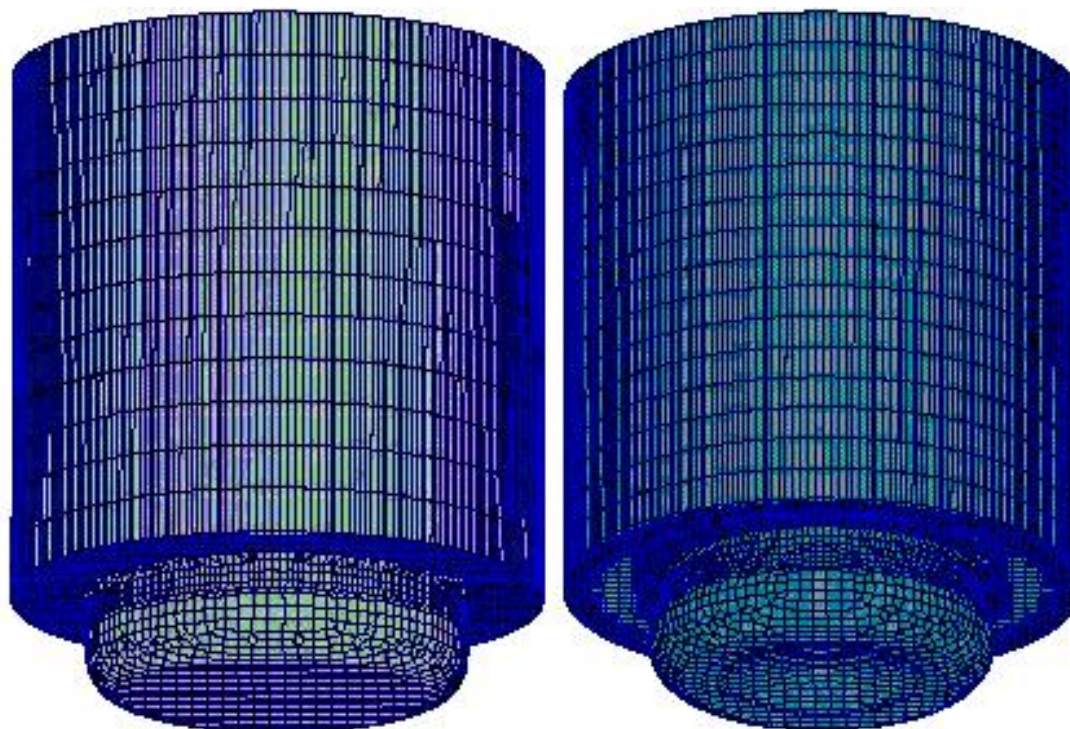


Рис. 2. Разбивка трехмерной твердотельной модели на контрольные объемы

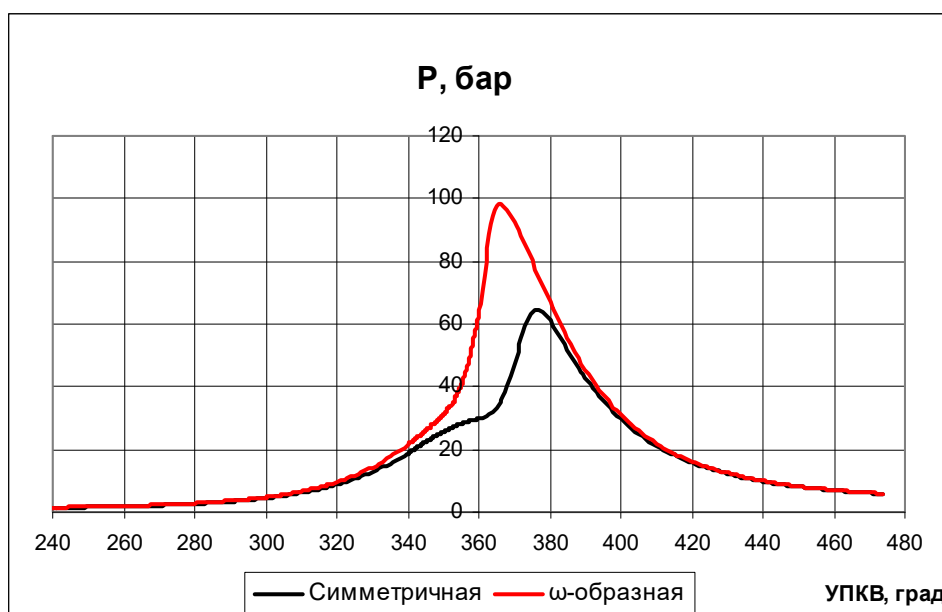


Рис. 3. Давление внутри цилиндра

этого твердотельная модель всего рабочего объема цилиндра была разбита на конечное число ячеек маленького размера (не более 2 мм).

Для расчета рабочего процесса, использовался программный комплекс “FIRE”, разработанный фирмой AVL (Австрия). В основе математи-

ческой модели которого, лежит метод контрольных объемов Патанкара-Сполдинга. Сумма таких ячеек для каждой камеры равна приблизительно 80 000 (рис. 2). Время генерирования трехмерной сетки и подготовка расчета составило 8 часов, время расчета – 24 часа.

В исследовании важное значение имел выбор модели турбулентности. Критерием выбора являлись, хорошая точность результатов при

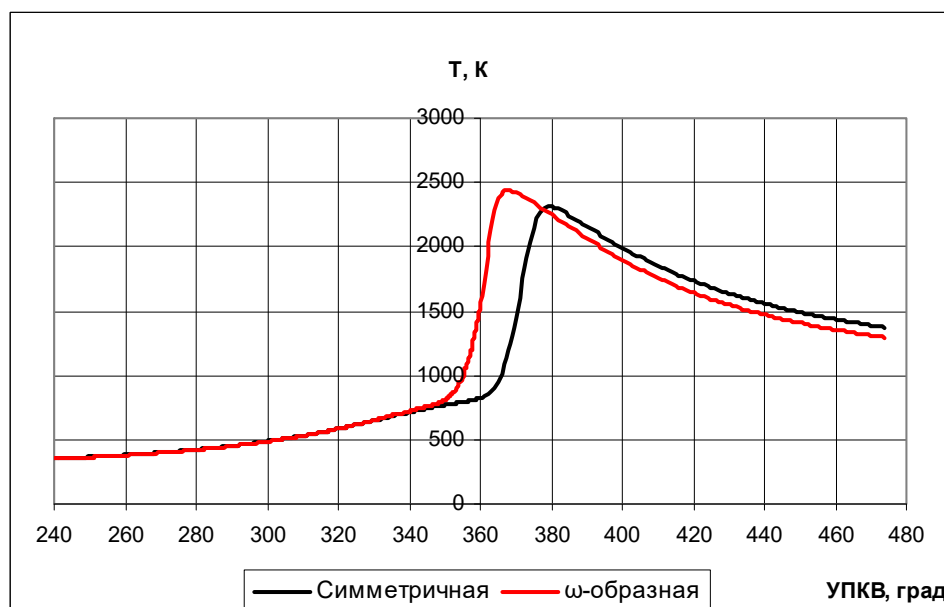


Рис. 4. Температура внутри цилиндра

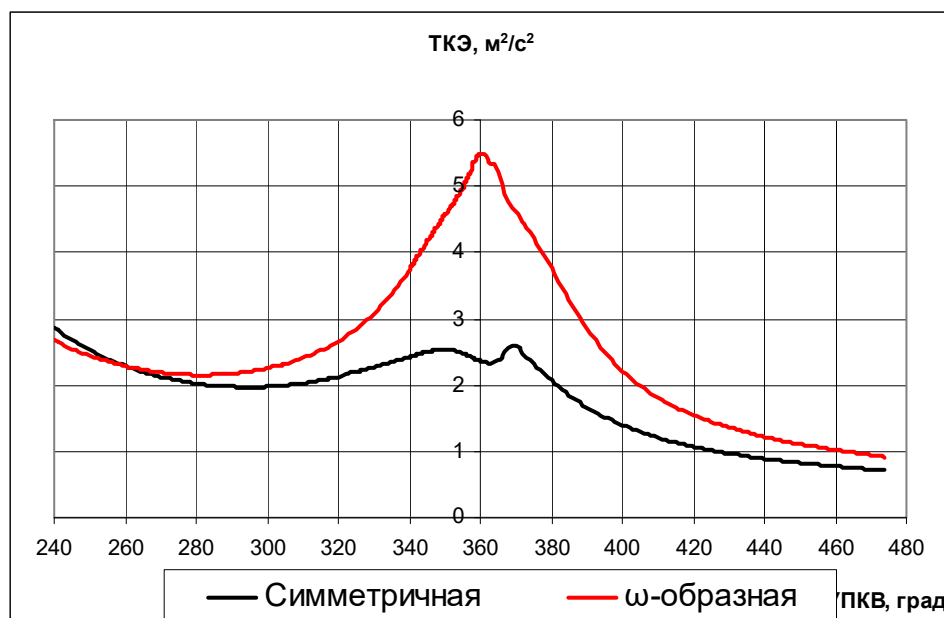


Рис. 5. Турбулентная кинетическая энергия

достаточно не большом времени расчета. Таким образом, была выбрана стандартная модель к-ε.

На рис. 3-7 показаны интегральные значения основных параметров рабочего процесса в цилиндре для двух конфигураций камер.

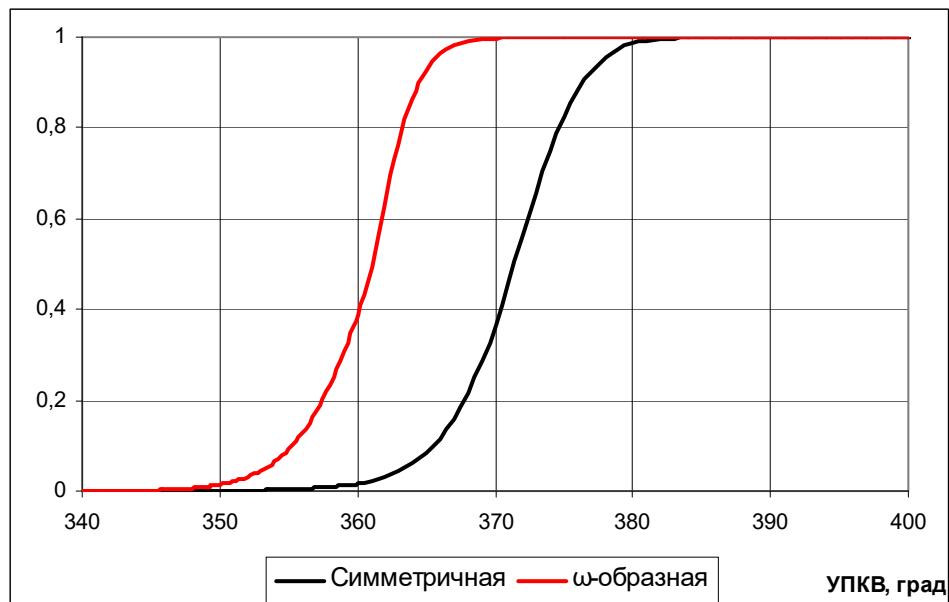


Рис. 6. Доля выгоревшего топлива

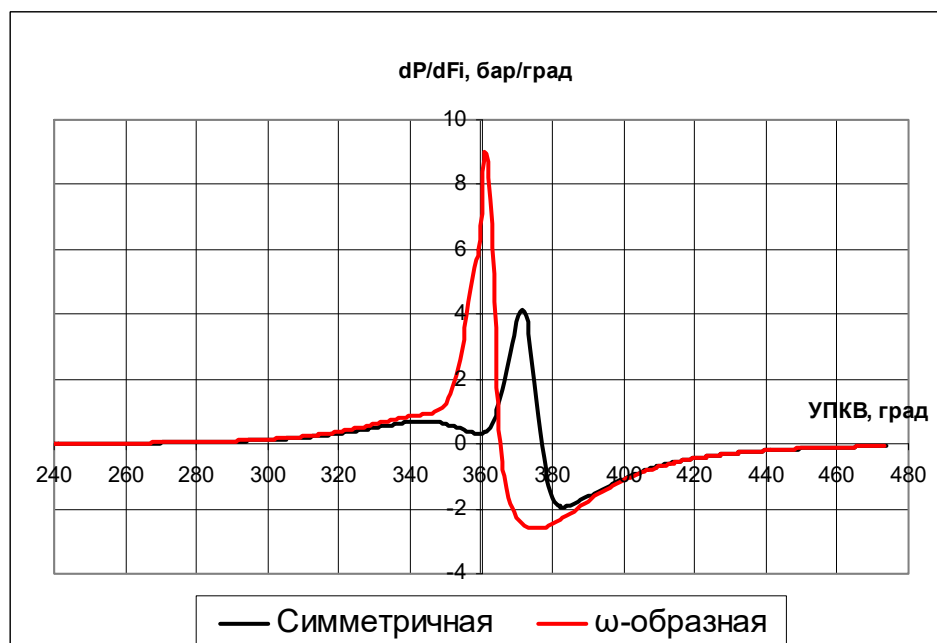


Рис. 7. Жесткость рабочего процесса

Хорошо видно, что в цилиндре с ω -образной камерой процесс сгорания проходит быстрее, и соответственно сопровождается большими локальными температурами (рис. 8) и скоростью нарастания давления. Это можно объяснить тем, что в момент начала воспламенения, турбулентная кинетическая энергия в ω -образной камере выше (более чем в 2 раза), что приводит к интенсификации начальной стадии сгорания и увеличению турбулентной скорости пламени во всем объеме. В свою очередь высокие значения локальных температур способствуют к образованию окислов азота NOx (рис. 9).

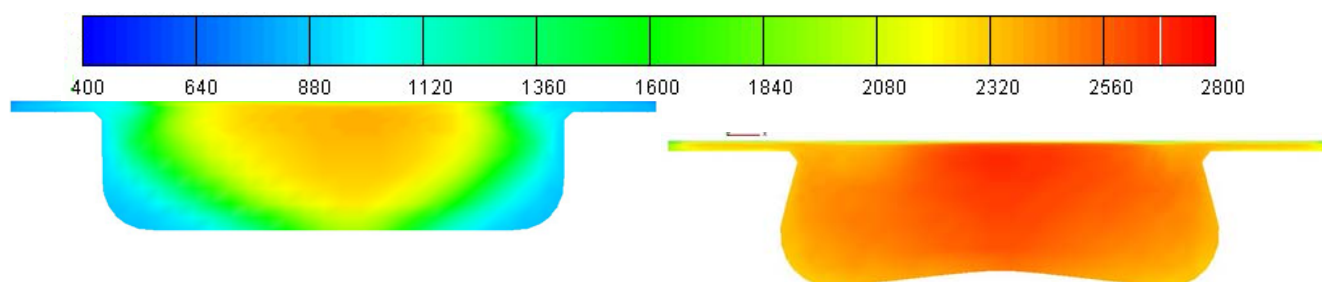


Рис. 8. Локальные значения температур (К).

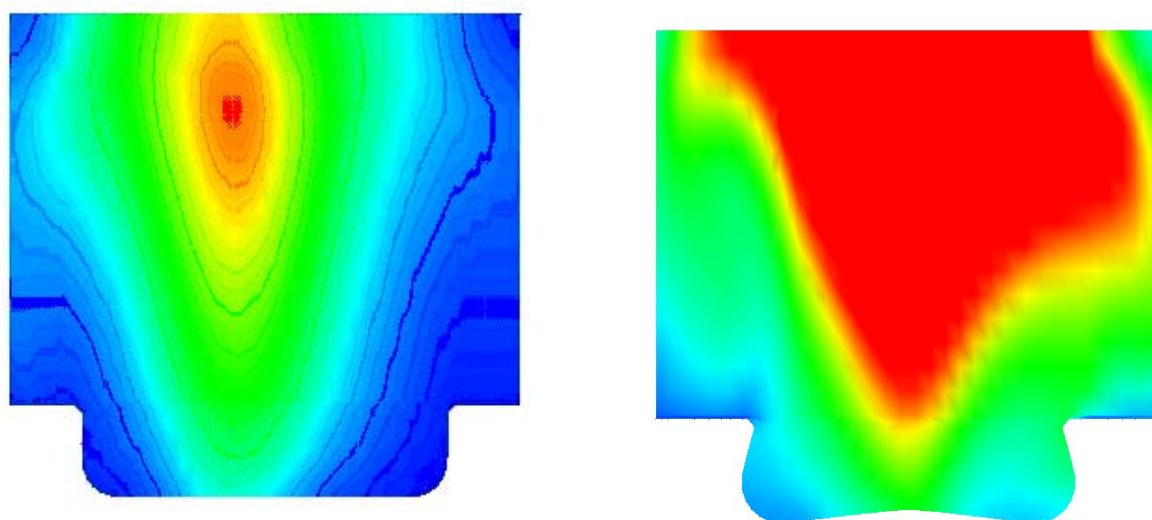


Рис. 9. Локальные значения NOx (диапазон 0 – $0,06 \cdot 10^{-3}$ гр)

Проведенная работа наглядно подтверждает, что геометрия камеры сгорания оказывает определяющее влияние на процесс сгорания, характеризуемый скоростью протекания, распределением температур и образованием токсичных компонентов. Представленные результаты дают возмож-

ность провести качественную и количественную оценку основных показателей рабочего процесса и позволяют сделать следующие выводы:

- цилиндрическая камера обладает более низкой скоростью нарастания давления (снижение шумности);
- величина и характер распределения температур цилиндрической камеры свидетельствуют о менее интенсивном образовании оксидов азота, по сравнению с ω -образной камерой.
- низкое теплонапряженное состояние двигателя с использованием цилиндрической камеры благоприятно влияет на надежность и долговечность его эксплуатации.

Кроме того, в данной работе был освоен хороший инструмент для описания внутрицилиндровых процессов газового двигателя, использование которого может значительно сократить временные и финансовые затраты на многократное проведение экспериментальных исследований, а также дать достаточно точную предварительную оценку на этапах проектирования и доводки двигателей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Development of a low emission Volvo 9.6 liter natural gas fueled bus engine. – Kevin D. Beaty, Southwest Research Institute, SAE 1992.
2. Combustion chambers for natural gas SI engines part 1: fluid flow and combustion.- Bengt Johansson and Krister Olsson, Lund Institute of Technology, SAE 1995.
3. Combustion chambers for natural gas SI engines part 2: combustion and emissions.- Bengt Johansson and Krister Olsson, Lund Institute of Technology, SAE 1995.
4. An experimental and numerical study of combustion chamber design for lean-burn natural gas engines. – R.L. Evans, J. Blaszczyk, P. Matys, University of British Columbia, SAE 1996.
5. An exploratory study on combustion modeling and chamber design of natural gas engines. – Keh C. Tsao and Zhiyu Han, University of Wisconsin-Milwaukee, SAE 1993.
6. Development of a cng engine, - Roy C. Meyer, James J. Cole, Southwest Research Institute, SAE 1991.
7. Fire_v83_combustion. – Manual, 2004.