

АНАЛИЗ КАМЕР СГОРАНИЯ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В СОВРЕМЕННЫХ ВЫСОКОБОРОТНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ

**Ф.И. Абрамчук, профессор, д.т.н, А.И. Воронков, доцент, к.т.н.,
С.И. Отченашко, аспирант, ХНАДУ**

***Аннотация.** Проведен анализ камер сгорания используемых в современных высокооборотных дизельных двигателях с непосредственным впрыском. Описаны преимущества и недостатки камер сгорания различных конструкций. Оценены преимущества камер сгорания с вытеснителем.*

***Ключевые слова.** высокооборотный автомобильный дизель, рабочий процесс, камера сгорания, усовершенствование смесеобразования*

Введение

В настоящее время увеличивается производство автомобилей с дизельными двигателями ведущими автомобилестроительными фирмами. Особенно четко данная тенденция прослеживается для автомобилей с высокооборотными двигателями, в которых рабочий объем одного цилиндра находится в пределах 0,27–0,5 л. Причина такого интереса потребителя к данным двигателям ясна – расход топлива составляет от 3,5 до 7 литров на 100 км и с учетом более низкой стоимости по сравнению с бензином «евросупер» (аналог АИ-98) расходы на топливо для данных транспортных средств снижаются.

На протяжении длительного времени автомобили с дизельными двигателями использовались лишь как транспортные средства для перевозки грузов, так как обладали высокой шумностью, большей удельной массой, худшей динамикой и большей токсичностью отработавших газов в сравнении с автомобилями, работающими на бензине. Однако благодаря совершенствованию рабочего процесса, использованию регулируемого турбонаддува и более совершенной топливной аппаратуры удельные показатели дизельных и

бензиновых двигателей сравнивались. Как мы видим из табл., удельная мощность современных дизелей доходит до 50 кВт/л. Все больше производителей автомобилей используют дизели в гамме моторов устанавливаемых на автомобиль. Дизели появляются на автомобилях представительского класса, таких как Ягуар, Мерседес, БМВ, Ровер, Ауди А6-А8 где они ранее не использовались. [1]

К сожалению дизелестроение в Украине не получило должного развития. И если в области создания двигателей для большегрузных автомобилей и тракторов имеется опыт, то в создании малолитражных двигателей для легковых и малотоннажных автомобилей, на долю которых приходится большая часть городских и пригородных перевозок, наблюдается особенно большое отставание от лидеров мирового автомобилестроения. Ликвидировать данное отставание не представляется возможным без анализа современного мирового автомобилестроения. С этой целью авторами работы [2] был проделан обширный обзор по сопоставлению конструктивных параметров и показателей перспективных и существующих образцов, в результате которой были спрогнозированы показатели отечественного высокооборотного двигателя с одновременной оценкой возмож-

ности обеспечения этих показателей в конструкциях высокооборотных дизелей серии 4ДТНА. Результаты анализа параметров выпускаемых современных дизельных двигателей и параметры перспективного отечественного дизеля на примере двигателя 4ДТНА2 [2] приведены в табл. 1.

Как мы видим из табл. 1, параметры отечественного двигателя 4ДТНА уступают параметрам зарубежных двигателей, особенно явно это отставание выражено по экономичности, удельной мощности и удельному крутящему моменту. Используя на двигателе регулируемый турбонаддув, охладитель надувочного воздуха можно в некоторой степени улучшить показатели двигателя. Однако создание со-

вершенного рабочего процесса (РП), возможно на использовании оптимального подбора камеры сгорания (КС), воздушного вихря и топливной аппаратуры с повышенным высоким по сравнению с исходным давлением впрыска.

Цель работы

К настоящему моменту предложено большое количество КС различной формы. Однако сложности, связанные с протеканием РП в дизелях, не позволяют совершить прямой перенос форм данных КС на двигатели другой размерности без учета специфики эксплуатации и размеров дизеля. Целью данной работы является выбор формы КС, позволяющей получить наилучшие экологические и экономи-

Таблица 1 Основные технические характеристики высокооборотных двигателей

Марка Параметры,	БМВ	ФИАТ 1,9 JTD	Форд Эндур- ра-DI	Смарт OM660	4ДТНА ХКБД	4ДТНА ХКБД (перспек- тивный)	Современный дизель (фактический диапазон)
	Гер- мания	Ита- лия	США	Герма- ния	Украина	Украина	
Мощность, номинальная кВт (л.с.)	100 (136)	77 (105)	66 (90)	30(40,8)	55,1 (75)	80,9 (110)	50-121
Частота вращения, мин ⁻¹	4500	4000	4000	4200	4000	4200	3500-4500
Тип КС, расположе- ние цилиндров	КС в по- ршне	КС в порш- не	КС в поршне	КС в поршне	Вихревая КС	КС в поршне	Разделенная и не- разделенная КС
Диаметр цилиндра, мм	84	82	82,5	65,5	88	88	73-99
Ход поршня, мм	88	90,4	85	79	82	82	79-105
Рабочий объем ци- линдра, см ³	1950	1909,6	1753	799	1990	1990	799-3200
Удельный расход то- плива, г/кВт ч	225	230	230	230	272	245	220-290
Среднее эффективное давление, МПа	НД	1,68	1,43	НД	0,83	1,16	0,75-1,7
Вихревое отношение, Ω	2,2	2,5	2,37	4,2	НД	2,16	НД
Кол-во сопловых от- верстий распылителя	6	6	6	5	2	6	4-6
Диаметр соплового отверстия, мм	0,17	0,18	0,17	0,121	Н.Д.	0,20	0,12-0,18
Давление впрыска, МПа	175	135	135	Н.Д.	Н.Д.	100	100-215

НД – нет данных

ческие показатели, на базе использования опыта создания и эксплуатации высокооборотных дизелей.

Анализ камер сгорания

Одним из наиболее существенных показателей дизельного двигателя являются параметры КС. Без согласования размеров и формы КС, движения воздушного заряда и топливной аппаратуры не представляется возможным создать эффективный РП. В автотракторных дизелях применяют следующие типы КС в поршне:

1. Открытые КС с отношением $d_{kc}/D=0,7-0,85$ (рис. 1, а). Такие КС применяются в основном при диаметре цилиндра свыше 150 мм. При рациональном подборе впускной системы и топливной аппаратуры они обеспечивают высокий индикаторный КПД за счет достаточно полного сгорания топлива и невысоких потерь теплоты в стенки. Смесеобразование в камерах такого типа является объемным и осуществляется в основном за счет энергии топливных факелов, количество которых достигает 8 – 10. В автомобильных дизелях близкой к исследуемому размерности КС с таким отношением не применяются.

2. Полузакрытые КС с отношением $d_{kc}/D=0,3-0,5$ (рис. 1, б). Такие КС широко применяются в дизелях при диаметре цилиндра до 150 мм. В зависимости от формы и конструктивных размеров КС обеспечивается пленочное, пристеночное, либо объемно-пленочное смесеобразование.

Так, КС «МАН» (М-процесс, рис.1,б) с пленочным смесеобразованием обеспечила не только снижение расхода топлива, но и очень "мягкий" процесс сгорания. КС имеет форму усеченного шара, впрыскивание топлива осуществляется через однодырчатый распылитель на стенку камеры сгорания. За счет умеренных максимальных значений давлений сгорания 5,4 – 5,6 МПа и умеренной скорости нарастания давления, не превосходящей 0,25 – 0,45 МПа/ п.к.в., двигатель имеет невысокие показатели по шуму. Однако ДВС с такой КС имеет ряд недостатков: плохой запуск, дымление при малых нагрузках, невозможность значительного форсирования по мощности за счет наддува.

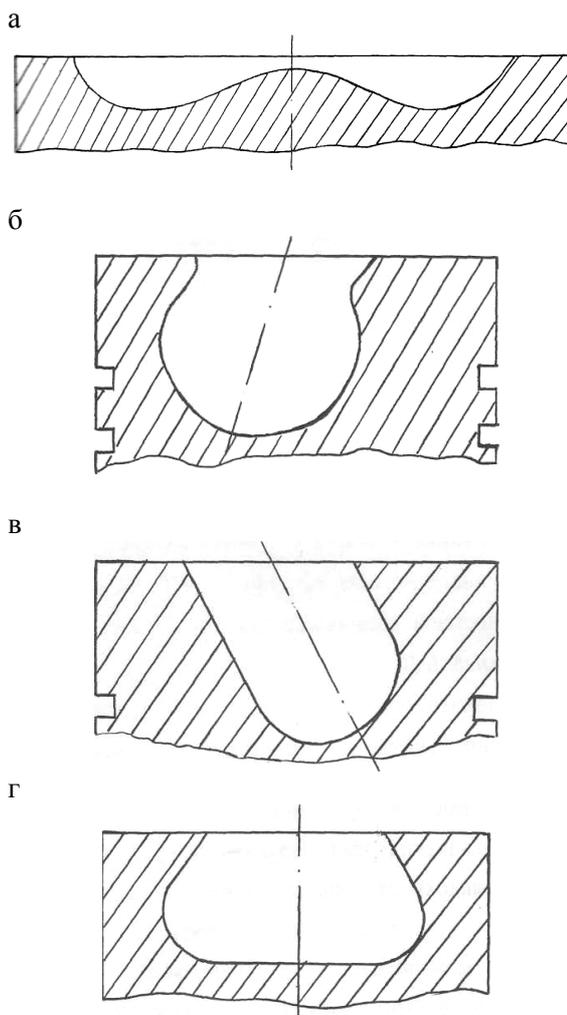


Рис. 1. Типы камер сгорания: а – КС типа «Гесельман»; б – КС типа «МАН»; в – КС типа «Пишингер2»; г – КС типа «ЦНИДИ»

Изобретение, защищенное охранными документами Германии, принадлежащее фирме КХД, позволило ликвидировать некоторые недостатки КС с М-процессом и развернуть в 70-х годах производство дизелей с «пристеночным» смесеобразованием с КС типа «Пишингер» (рис. 1, в) [3]. Фирмой запатентована цилиндрическая КС с полусферическим дном, расположенная наклонно в поршне. Диаметр камеры примерно равен ее глубине. При движении поршня во время впуска создается интенсивное вихревое движение воздуха. Топливо подается через два сопловых отверстия, параллельно стенке и по оси КС. Смесеобразование в такой камере происходит во вращающемся вблизи стенок воздушном потоке. Для создания интенсивного воздушного заряда применяются тангенциальные и винтовые впускные каналы,

которые уменьшают количество входящего в цилиндр воздуха из-за высокого сопротивления каналов. Однако КС типа «Пишингер» имеют практически те же недостатки, что и камеры с «М-процессом», которые были описаны выше.

В отличие от камер с преобладающим тангенциальным направлением движением заряда в КС ЦНИДИ (рис. 1, г) используется интенсивное радиальное и осевое движение воздуха, которые способствуют растеканию топлива по наклонной стенке, попадающему туда через многодырчатый распылитель. Однако острые кромки КС имеют особенно при форсировании наддувом, высокую теплонпряженность при приемлемых расходах топлива, показателях дымности и шума. В работе [4] описаны результаты сравнительных исследований дизелей с камерой ЦНИДИ и цилиндрической КС, по результатам которых делается вывод, что камера типа ЦНИДИ практически исчерпала себя по совершенствованию и перспективнее выглядит цилиндрическая КС в поршне. Учитывая необходимость форсирования дизеля 4ДТНА наддувом, полузакрытые КС выглядят для него малоперспективными.

3. Открытые КС с отношением $d_{kc}/D=0,5-0,7$. Такие КС являются наиболее распространенными для транспортных дизелей исследуемой размерности (рис. 2). Смесеобразование в камерах данного типа является объемно-пленочным. Степень пленочности зависит от организации рабочего процесса организованного в конкретной камере, который осуществляется за счет рационального сочетания формы и размеров КС, направленного воздушного вихря и параметров топливной аппаратуры.

Наибольшее распространение получила КС, имеющая конический выступ на днище (рис. 2. а, б, г, ж). Объясняется это стремлением придать заряду направленное движение, сосредоточив при этом большую часть заряда в периферийной зоне, где он движется с наибольшими скоростями. Такие камеры применяются на двигателях ЯМЗ, СМД, «Лейланд», «Скания-Вабис», «Кейс», «ДжонДир» и др. Некоторые КС выполняются с зауженной горловиной (рис. 2. г, е, ж), которая незначительно улучшает топливную экономичность. Однако, при форсировании наддувом, как в камерах ЦНИДИ, значительно возрас-

тают термические нагрузки в области кромки КС, что может вызвать ее разрушение.

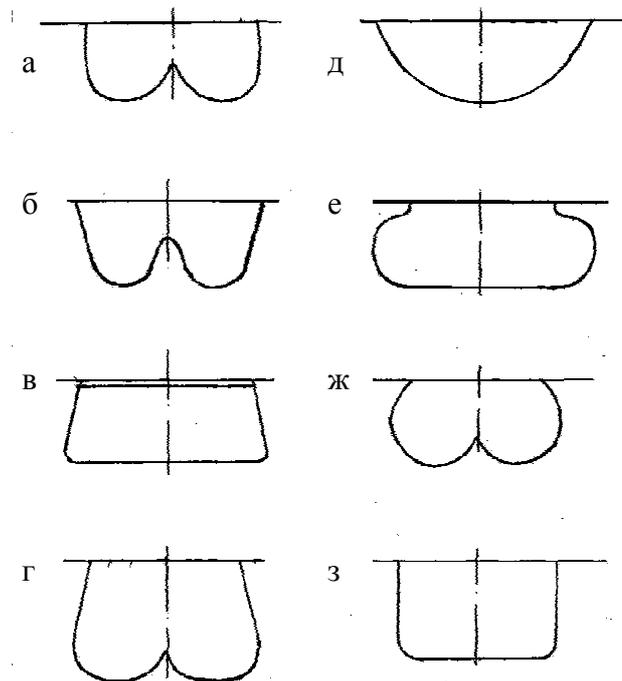


Рис. 2. Формы открытых камер сгорания: а – КС типа «Лейланд»; б – КС типа «Скания»; в – КС типа «Мерседес Бенц»; г – КС типа «Ивеко»; д – КС типа «Альбион»; е – КС типа «Перкинс»; ж – КС типа «Зауэр»; з – КС типа «КамАЗ»

Обычно такие КС, расположенные в поршне, выполняются в форме различных тел вращения для обеспечения требуемой интенсивности тангенциального и осевого вихрей, однако есть и четырех-, пяти-, шестиугольные КС со сложным профилем.

Для улучшения перемешивания топлива и воздуха на кромках камеры выполняются различные углубления, выступы, ребра, ступеньки, т. е. организуется локальная турбулизация заряда.

Японская дизелестроительная Фирма «Исузи Мотор» [5] разработала тороидально-квадратную КС. Ось камеры смещена относительно оси цилиндра. Оси топливных факелов направлены так, что при повышении частоты вращения двигателя факелы сносятся в углы КС квадратной формы лучше работают и на больших оборотах вращения коленчатого вала. Квадратная форма КС оказывает малое влияние на снижение выхода оксидов азота. Шум в квадратной камере меньше на 2 – 3 ДБ при $n = 3200 \text{ мин}^{-1}$, при

этом дымность снижается на 0,5 ед.по. BOSH, эффективный расход топлива снижается на 2 – 3 %, Снижение частоты вращения коленчатого вала до $n = 1000 \text{ мин}^{-1}$ нивелирует преимущества квадратной формы КС, однако, содержание углеводородов в отработавших газах возрастает на 10 %.

Авторы работы [6] провели исследование шести форм цилиндрических КС в поршне и пришли к выводу, что лучшей оказалась КС цилиндрической формы без вытеснителя с небольшим наклоном стенок во внутрь.

Работы, проведенные в НАТИ по оценке влияния формы КС (плоская, с выступом или полусферическая), практически не установили различий в протекании процессов смесеобразования и сгорания [7].

Принимая во внимание опыт доводки РП в вышеупомянутых камерах сгорания, следует заметить, что данные КС не подходят для двигателя 4ДТНА, поскольку они были разработаны для двигателей с диаметром цилиндра более 100 мм и не обеспечивают требуемых показателей по удельной мощности и расходу топлива в двигателях диаметром цилиндра 80 – 90 мм. Для подбора КС наиболее оптимальной формы была проделана работа по изучению форм КС зарубежных и отечественных двигателестроителей. Результаты анализа литературных источников и образцов аналогов показали, что наиболее распространенной являются ω -образные КС различной формы с центральным вытеснителем наиболее типичные их представители представлены на рис. 3. Как было сказано выше, форма КС должна быть согласована с топливной аппаратурой. Для улучшения экологических и экономических показателей двигателя, конструкторы уменьшают отверстие распылителей форсунки при одновременном повышении давления впрыскивания топлива. Так диаметры сопловых отверстий составляют от 0,12 до 0,2 мм, а давления впрыска доходят до 200 МПа и выше. Наибольшее распространение в последнее время получили системы впрыска типа Common Rail, которые не только имеют высокое давление впрыска, но и позволяют осуществлять гибкую подачу топлива. Перспективным выглядит использование насос-форсунок, которые имеют еще большее давление впрыска, однако сложности связанные с компоновкой двигателя при их использовании ограничивает применение данных систем.

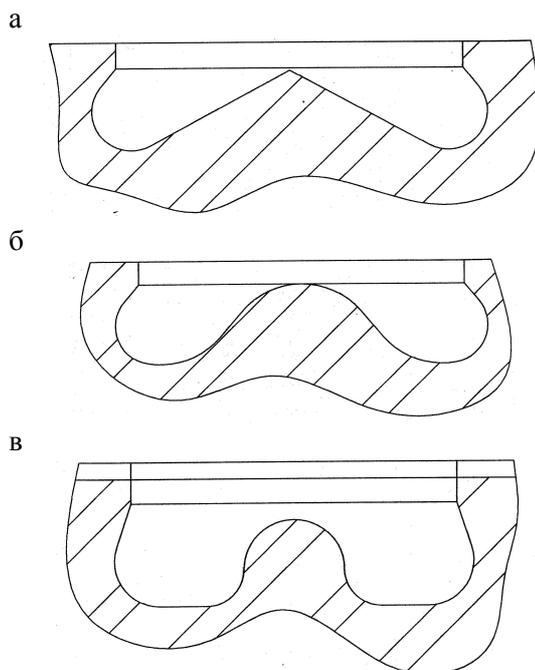


Рис. 3. Камеры сгорания современных быстроходных дизелей: а – Мерседес Вито, б – БМВ, в – Фольксваген

Как показывают результаты экспериментов наличие вытеснителя не ухудшает показатели РП, и вместе с тем способствует вытеснению воздуха из застойной центральной части КС на периферию камеры, где потребность в нем наиболее высока, так как именно там происходят наиболее интенсивно процессы испарения топлива и перемешивание его с воздухом. Таким образом развитый центральный вытеснитель позволяет повысить однородность распределения топлива и воздуха по объему КС, что важно для организации качественного РП. Кроме этого наличие вытеснителя позволяет либо увеличить диаметр КС при заданной степени сжатия, либо увеличить степень сжатия при заданном диаметре КС, что важно для микролитражных двигателей, так как появляется возможность, сохраняя исходную степень сжатия, изменять свободную часть топливного факела до контакта со стенкой КС.

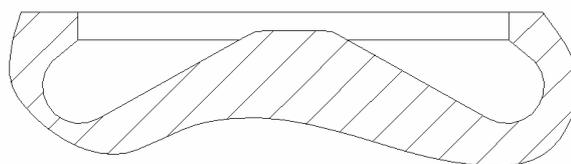


Рис. 4. Экспериментальная камера сгорания

Вывод

В результате проведенного анализа камер сгорания различных форм используемых в современных высокооборотных дизелях, исходя из опыта создания и эксплуатации высокооборотных дизелей, на данном этапе работы предложен экспериментальный вариант камеры сгорания (рис. 4). Выбранная центрально расположенная ω -образная КС с вытеснителем позволяют получить наилучшие экологические и экономические показатели. Использование такой камеры сгорания в двигателе с 4-х клапанной головкой, позволяющей вертикально расположить форсунку, и тем самым не прибегать к смещению оси КС относительно оси цилиндра, обеспечивает максимальную длину топливных факелов при сохранении исходной степени сжатия.

Литература

1. Каталог автомобилей. Автомобиль ревью, 2007.
2. Грицюк А.В., Куценко А.С., Грицюк О.А. Математический анализ перспективности отечественных малолитражных автомобильных дизелей серии 4ДТНА на

этапе их проектирования // Двигатели внутреннего сгорания – Харьков. – 2007. – №1. – С. 3 – 10.

3. Патент Японии, кл. 51В31 (F 02В 23/06) N 49-38209, заявлено 10. 07. 73, опубликован 16.10.74.
4. Быков В.И. Разработка рационального способа смесеобразования для форсированного двигателя СМД-ЧН12/14: Реферат дис. канд. тех. наук: – Харьков, 1988. – 19 с.
5. Tsunemoto H., Ishitani H., Yamada T., Murayama T. Spray Motion on the Walls combustion Chambers of various Shapes in Direct Injection Diesel Engines// JSAE Review. – November, 1984. – P. 16 – 23.
6. Авторское свидетельство СССР, кл. F 02В 23/06, № 374025 заявлено 29. 12. 70, №1603735, опубликовано 18.11.76.
7. Тракторные дизели. Справочник / Под общ. ред. Взорова; Машиностроение, 1981. – 535 с.

Рецензент

Статья

