

ход топлива и другие индикаторные показатели двигателя в зоне режимов работы двигателя, соответствующих максимальным значениям индикаторного КПД при достигнутом уровне доводки рабочих процессов. Предлагаемый метод оценки индикаторных показателей может быть использован и в эксплуатации при стендовых испытаниях двигателя или автомобиля – для оценки технического состояния двигателя.

УДК 621.436.1

*А.В. Грицюк, канд. техн. наук, И.В. Парсаданов, д-р техн. наук*

## ВЫБОР ФОРМЫ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ДЛЯ ВЫСОКООБОРОТНОГО МАЛОЛИТРАЖНОГО ДИЗЕЛЯ

### Введение

Основным направлением развития высокооборотных малолитражных дизелей (ВМД) является повышение их литровой мощности и топливной экономичности при одновременном уменьшении токсичности и дымности отработавших газов. Продолжающаяся тенденция роста потребности в этих дизелях для автомобилей, тракторов, мототранспорта, различных сельскохозяйственных машин и электроагрегатов способствует постоянному решению задач совершенствования процессов смесеобразования и сгорания. Научный и технический интерес отечественных исследователей представляет решаемая КП ХКБД совместно с НТУ "ХПИ" и ХНАДУ задача удержания конкурентоспособного уровня ВМД многоцелевого назначения серии ДГА. Поэтому для постоянного улучшения их эксплуатационных показателей необходимо находить новые решения по совершенствованию рабочего процесса. После уже решённых для этих дизелей проблем создания эффективных систем воздухообеспечения [1] и топливоподдачи [2] улучшить процесс смесеобразования и сгорания можно за счёт выбора рациональной формы камеры сгорания (КС).

### Анализ публикаций

При отработке рабочего процесса вновь разрабатываемых дизелей главная цель сводится к определению оптимального компромисса между выбросами  $\text{NO}_x$  и топливной экономичностью при минимальном количестве выбросов продуктов неполного сгорания топлива – твёрдых частиц,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}$ . Исходя из рекомендации передовых зарубежных фирм [3, 4]

### Список литературы:

1. Сороко-Новицкий В.И. Испытания автотракторных двигателей / Сороко-Новицкий В.И. – М.: Машиз., 1955. – 532 с. – (изд. 4-е).
2. Райков И.Я. Испытания двигателей внутреннего сгорания / Райков И.Я. – М.: Высшая школа, 1975. – 320 с.
3. Ваншейдт В.А. Судовые двигатели внутреннего сгорания / Ваншейдт В.А. – Л.: Судпромгиз, 1958. – 455 с.
4. Разлейцев Н.Ф. Механические потери двигателя с высоким наддувом / Н.Ф. Разлейцев // Двигатели внутреннего сгорания. – 1966. – Вып. 3. – С. 9-12.

необходимыми мерами для этого являются следующие конструктивные решения:

- четырёхклапанная головка цилиндров с центральным расположением форсунок;
- центральное положение камеры сгорания в поршне и соответственно симметричное расположение струй впрыскиваемого топлива.

Вместе с тем, по данным источника [5] даже для вновь разрабатываемых передовыми зарубежными фирмами ВМД, только начиная с 2005 года количество четырёхклапанных конструкций механизмов газораспределения начало превышать двухклапанные. Использование таких новых решений в серийно выпускаемых отечественных дизелях в настоящее время полностью исключено, так как требует не только серьезного изменения конструкции, а и нового технологического оборудования. Поэтому интересным остаётся эволюционный путь развития двухклапанных конструкций отечественных дизелей и выработка соответствующих рекомендаций по их дальнейшему совершенствованию.

**Цель и постановка задачи.** Целью данного исследования является выбор формы и расположения камеры сгорания в поршне ВМД с непосредственным впрыскиванием топлива и двухклапанной головкой цилиндров. Для достижения поставленной цели разработаны опытные варианты камер сгорания, проведены экспериментальные исследования с оценкой эффективных и индикаторных показателей, токсичности и дымности отработавших газов.

### Объект и методика исследования

Экспериментальные исследования проведены

на одноцилиндровом отсеке дизеля ДТА с непосредственным впрыскиванием топлива и двухклапанной головкой цилиндра. Схемы расположения форсунки и направления осей распыливающих отверстий распылителя приведены на рисунках 1 и 2.

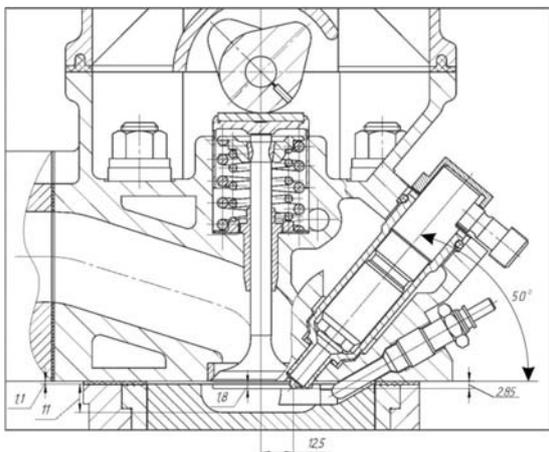
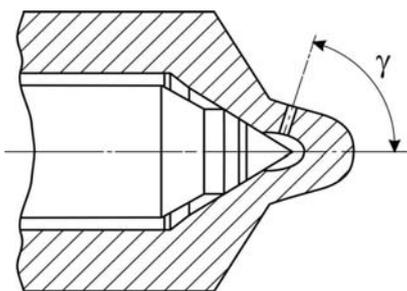


Рис. 1. Схема расположения форсунки дизеля



№ п/п	1	2	3	4	5
γ, град	40±2	54±2	97±2	97±2	54±2

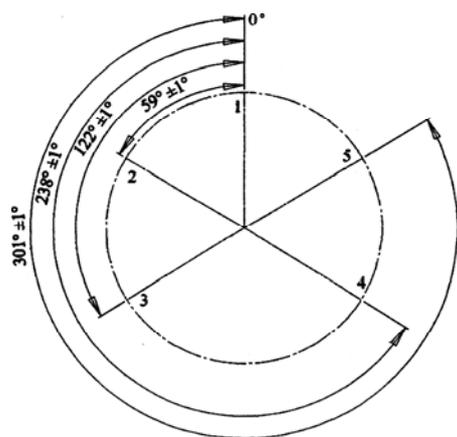


Рис. 2. Эскиз направления осей распыливающих отверстий распылителя

Разработка вариантов камер сгорания проведена с использованием опыта зарубежного и отечест-

венного двигателестроения и, в частности, опыта НТУ "ХПИ" и ХНАДУ по доводке и совершенствованию процесса смесеобразования дизелей СМД [6, 7].

Наибольшее распространение в современных высокооборотных дизелях получили полуразделённые камеры сгорания с отношением диаметров КС к диаметру цилиндра 0,5... 0,7. Процесс смесеобразования в этих камерах осуществляется с использованием организованного движения воздушного заряда.

Одноцилиндровый отсек оборудовался разделённой топливоподающей аппаратурой (ТПА) непосредственного действия, укомплектованной форсункой с дифференциальным поршнем и модулятором импульсов давления, распределительным валом механизма газораспределения с оригинальными безударными профилями впускного и выпускного кулачков и механизмом, позволяющим изменять угол опережения впрыскивания топлива на работающем дизеле.

Исследования вариантов камер сгорания проводились в составе испытательного стенда при частотах вращения коленчатого вала 2050 и 3000 мин<sup>-1</sup>, наиболее распространенных для эксплуатационных режимов работы ВМД многоцелевого назначения.

Эффективность вариантов исследований оценивалась по изменению эффективных и индикаторных показателей, температуры, токсичности и дымности отработавших газов. При исследованиях и испытаниях одноцилиндрового отсека кроме традиционно контролируемых параметров определялись: давление топлива перед форсункой, давление в цилиндре, положение отметки ВМТ, мгновенная температура отработавших газов.

Регистрация указанных параметров проводилась с использованием аналогово-цифрового преобразователя (АЦП) фирмы L-Card. Измерение давления топлива перед форсункой во время проведения моторных испытаний осуществлялось при помощи пьезодатчика Т6000, а давление в цилиндре дизеля определялось пьезодатчиком 8QP505cs фирмы AVL. Обработка, визуализация и анализ поступающих с пьезо- и тензодатчиков на АЦП сигналов проводилась при помощи лицензионной версии программы Power Graph, для чего плата L-783 устанавливалась непосредственно в системный блок персонального компьютера.

Критерием качества смесеобразования в цилиндре дизеля являлись его эффективные и индикаторные показатели. Обработка экспериментальных индикаторных диаграмм проводилась с помощью разработанного кафедрой ДВС НТУ "ХПИ" программного обеспечения Diesel Analiz. Для построения усреднённых индикаторных диаграмм согласно рекомендациям [8] выбиралось 110 рабочих циклов. Общий вид диалогового окна программы обработки индикаторных диаграмм дизельного отсека ДТА приведен на рис. 3.

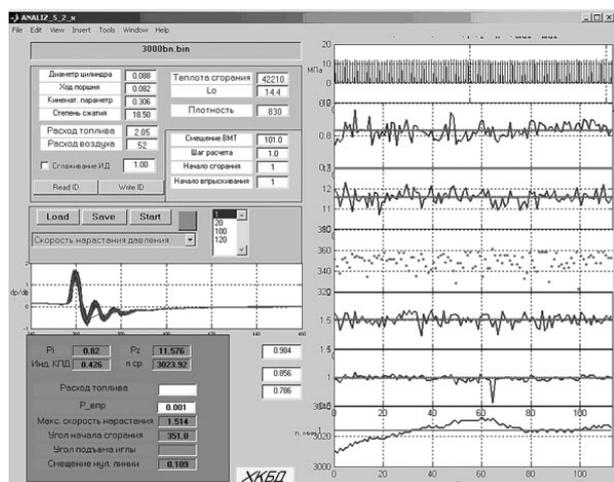


Рис. 3. Диалоговое окно программы обработки индикаторных диаграмм

### Результаты расчётно-экспериментального исследования.

Расчётный диаметр камеры сгорания был определен для скоростного режима  $n_{KB} = 3000 \text{ мин}^{-1}$ . Качественная оценка выбора конструктивных элементов дизеля, обеспечивающих максимальную теоретическую эффективность смесеобразования в цилиндре, проведена с помощью приведенного вихревого отношения [9]:

$$\delta = \omega_{KC} / \omega_D \cdot (d_{KC} / D)^2 = 1,$$

где  $\omega_{KC}$  - угловая скорость вращения заряда в камере сгорания в конце такта сжатия,  $\omega_D$  - угловая скорость коленчатого вала,  $d_{KC}$  - диаметр камеры сгорания,  $D$  - диаметр цилиндра.

На выбранном скоростном режиме близкую к 1 величину  $\delta \approx 0,9761$  обеспечивает  $d_{KC} = 50 \text{ мм}$ . При этом объём камеры сгорания определён из условия обеспечения степени сжатия  $\epsilon = 1,8,5$  ( $V_{KC} \approx 0,0205 \text{ дм}^3$ ).

Форсунка исследуемого ВМД (рис. 1) расположена наклонно к вертикальной оси камеры сгорания и смещена от неё на 12,5 мм. Такое расположение форсунки ограничивает возможность совершенствования процессов смесеобразования и сгорания ВМД с цилиндрической камерой сгорания из-за разных длин осей распыливающих отверстий до стенки камеры. Для улучшения смесеобразования в местах скопления топлива на стенках камеры сгорания рассмотрены оба направления возможного развития конструкций полуразделённых камер сгорания, а именно:

- локальная турбулизация заряда по способу, предложенному в работе [6], без смещения оси цилиндрической части формы КС от вертикальной оси цилиндра;

- смещение оси цилиндрической части КС от вертикальной оси цилиндра в сторону форсунки с одновременным изменением формы КС в зоне действия более коротких струй топлива.

При этом сохранение объёма камеры сгорания обеспечивалось незначительным изменением ее глубины. Варианты исследуемых КС представлены на рис. 4.

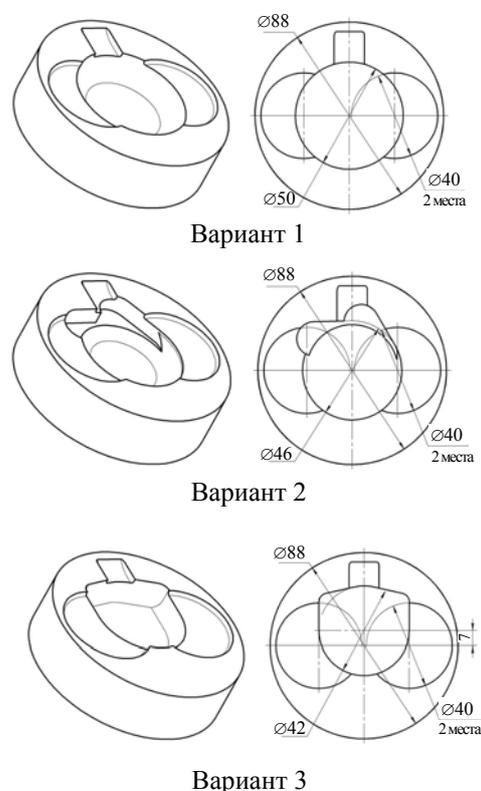


Рис. 4. Варианты исследуемых форм камер сгорания

Результаты экспериментально-расчётных исследований одноцилиндрового отсека дизеля ДТА с

тремя разработанными вариантами КС приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Результаты исследований отсека дизеля ДТА с различными формами КС при  $n_{KB} = 3000 \text{ мин}^{-1}$

№ п/п	Параметры	Камеры сгорания		
		вариант 1	вариант 2	вариант 3
1	Измеренная эффективная мощность, кВт	7,4	7,4	7,4
2	Удельный эффективный расход топлива, г/кВт·ч	248	241	265
3	Расход воздуха, кг/с	0,0131	0,0130	0,0127
4	Угол опережения впрыскивания топлива, град. п.к.в.	23,8	23,4	26,2
5	Максимальное давление топлива перед форсункой, МПа	63,9	63,6	72,1
6	Максимальное давление сгорания, МПа	11,8	11,6	12,3
7	Температура отработавших газов, К	753	726	783
8	Эффективный КПД, %	33,7	34,7	31,7
9	Индикаторный КПД, %	40,9	42,5	39,5
10	Механический КПД, %	82,4	81,7	80,3
11	Удельный выброс оксида азота, г/кВт·ч	10,1	9,7	10,5
12	Удельный выброс оксида углерода, г/кВт·ч	4,7	4,3	4,9
13	Удельный выброс углеводородов, г/кВт·ч	1,7	1,6	1,9
14	Дымность отработавших газов, %	36	32	41

Таблица 2. Результаты исследований отсека дизеля ДТА с различными формами КС при  $n_{KB} = 2050 \text{ мин}^{-1}$

№ п/п	Параметры	Камеры сгорания		
		вариант 1	вариант 2	вариант 3
1	Измеренная эффективная мощность, кВт	6,1	6,1	6,1
2	Удельный эффективный расход топлива, г/кВт·ч	265	258	282
3	Расход воздуха, кг/с	0,0093	0,009	0,0087
4	Угол опережения впрыскивания топлива, град. п.к.в.	21,5	21,0	24,1
5	Максимальное давление топлива перед форсункой, МПа	61,9	61,7	63,4
6	Максимальное давление сгорания, МПа	10,9	10,7	11,1
7	Температура отработавших газов, К	786	763	792
8	Эффективный КПД, %	31,8	32,5	30,2
9	Индикаторный КПД, %	38,5	39,6	37,1
10	Механический КПД, %	82,7	82,1	81,4
11	Удельный выброс оксида азота, г/кВт·ч	10,6	9,9	11,4
12	Удельный выброс оксида углерода, г/кВт·ч	6,5	6,0	6,9
13	Удельный выброс углеводородов, г/кВт·ч	2,6	2,4	2,9
14	Дымность отработавших газов, %	42	38	46

Как видно из приведенных данных использование камеры сгорания (вариант 2), обеспечивающей локальную турбулизацию заряда и адаптированной к распылителю с пятью распыливающими отверстиями форсунки, позволило получить наименьший удельный эффективный расход топлива дизелем – 241 г/кВт·ч, практически на уровне современного

мирового малолитражного двигателестроения [10]. При этом одновременно снижаются выбросы  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$  и  $\text{CH}$ . Эффект снижения выброса оксидов азота связан, в первую очередь, со снижением действительного угла опережения впрыскивания топлива.

При смещении КС от вертикальной оси цилиндра к форсунке (вариант 3) ухудшаются условия рав-

номерного распределения скорости воздушного заряда в объёме камеры сгорания и, как следствие, температуры верхней части поршня, что и привело к существенному ухудшению топливно-экологических показателей ВМД.

Не меньший интерес представляют и приведенные в табл. 1 и 2 значения эффективного, индикаторного и механического КПД. Сравнение этих показателей характеризует действительное улучшение или ухудшение рабочего процесса в цилиндре дизеля при изменении формы камеры сгорания. Так некоторое снижение механического КПД при использовании рациональной (вариант 2) камеры сгорания, связанное с созданием локальной турбулизации заряда, полностью компенсируется существенным улучшением рабочего процесса ( $\eta_i = 42,5\%$ ), что, в свою очередь, позволяет получить конкурентоспособные топливно-экономические и экологические показатели.

#### Выводы

1. Наилучшие показатели топливно-экологической эффективности высокооборотного малолитражного дизеля достигаются созданием локальной турбулизации заряда путём специального профилирования боковой поверхности полуразделённой камеры сгорания. Наиболее рациональной при специальном пятисопловом распылителе форсунки является цилиндрическая камера сгорания, выполненная соосно оси цилиндра, с двумя выемками в её боковой стенке (в местах контакта топливных струй наименьшей длины) глубиной 0,6 – 0,7 от глубины основной камеры.

2. Полученные при рациональной форме камеры сгорания эффективные и индикаторные показатели отечественного высокооборотного малолитражного дизеля многоцелевого назначения ( $\eta_i = 42,5\%$ ,  $\eta_e = 34,7\%$ ,  $\eta_M = 81,7\%$ ) соответствуют лучшим образцам зарубежных дизелей аналогичного назначения.

УДК 621.43.018.76: 621.435.8

**В.І. Пелепейченко, д-р техн. наук, А.О. Казраманян, канд. техн. наук**

### ПОКАЗНИКИ ТЕОРЕТИЧНОГО ЦИКЛУ ДВЗ З «ХІМІЧНИМ» НАДДУВОМ

#### Вступ

Останнім часом дослідники почали розглядати як можливу альтернативу паливу нафтового похо-

#### Список литературы:

1. Грицюк А.В. Исследование газодинамических характеристик впускных каналов дизеля при его разработке / А.В. Грицюк, С.А. Алёхин, В.А. Опалев, В.Г. Солодов, А.А. Хандримайлов // *Фундаментальные и прикладные проблемы совершенствования поршневых двигателей: X международ. науч.-практ. конф.*, 27 - 29 июня 2005 г. – Владимир, 2005. – С. 72 - 73.
2. Врублевский А.Н. Результаты безмоторных испытаний форсунки для двухфазного впрыскивания топлива / А.Н. Врублевский, А.В. Грицюк, Г.А. Щербаков, А.В. Денисов, С.Б. Сафонов // *Двигатели внутреннего сгорания*. – 2007. – №2. – С.43–47.
3. Современные подходы к созданию дизелей для легковых автомобилей и малотоннажных грузовиков / [Блинов А.Д., Голубев П.А., Драган Ю.Е. и др.]; под. ред. В.С. Папонова, А.М. Минеева. – М.: НИЦ "Инженер", 2000. – 332 с.
4. Эфрос В.В. Актуальные проблемы совершенствования быстроходных поршневых двигателей / В.В. Эфрос // *Фундаментальные и прикладные проблемы совершенствования поршневых двигателей: IX международ. науч.-практ. конф.*, 27 - 29 мая 2003 г. – Владимир, 2003 – С. 19-25.
5. Драгомиров С.Г. Основные тенденции развития двигателей легковых автомобилей за последнее десятилетие (1996 - 2005 г.г.) / С.Г. Драгомиров, М.С. Драгомиров // *Фундаментальные и прикладные проблемы совершенствования поршневых двигателей: X международ. науч.-практ. конф.*, 27 - 29 июня 2005 г. – Владимир, 2005. – С. 80-81.
6. Парсаданов И.В. Повышение качества и конкурентоспособности дизелей на основе комплексного топливно-экологического критерия / И.В. Парсаданов – Харьков: Издательский центр НТУ «ХПИ», 2003. – 244 с. – (Монография).
7. Абрамчук Ф.И. Улучшение технико-экономических и экологических показателей высокооборотных дизелей малой мощности путём изменения условий смесеобразования / Ф.И. Абрамчук, Д.И. Тимченко // *Двигатели внутреннего сгорания*. – 2006. – № 1. – С. 86-88.
8. Прохоренко А.А. Выбор рационального количества рабочих циклов для усреднения индикаторной диаграммы / А.А. Прохоренко, Д.В. Мешков // *Двигатели внутреннего сгорания*. – 2006. – № 2. – С. 95-96.
9. Камфер Г.М. Анализ взаимосвязи диаметра камеры сгорания и интенсивности движения воздушного заряда в дизеле / Г.М. Камфер, В.Н. Семёнов // *Двигателестроение*. – 1983. – №10. – С. 3-5.
10. Системы управления дизельными двигателями / За рулём; [Перевод с немецкого]. – Первое русское издание. – 2004. – 480 с.

дження, так звані, азотні палива (АП) і монопалива (МП) [1, 2].

Характерною рисою МП є те, що вони містять