

ОСОБЕННОСТИ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ДИЗЕЛЯ 4ЧН12/14 С ПОВЫШЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ СТЕНОК КАМЕРЫ СГОРАНИЯ

Введение

Повышение удельной мощности двигателей является одной из основных тенденций развития современного дизелестроения. При форсировании ДВС по среднему эффективному давлению актуальным является решение следующих проблем:

- оптимизации смесеобразования и сгорания увеличенных порций топлива при ограничениях по механической и тепловой напряженности двигателя.
- оптимизации процессов тепловыделения при применении теплозащитных материалов и покрытий.

Формулирование проблемы

Анализ научно-технической литературы показывает, что при значительном форсировании дизелей в ряде случаев применяют тепловую защиту деталей камеры сгорания (КС). Известно, что теплоизоляция деталей КС приводит к повышению температуры поверхностей, образующих КС, что ухудшает динамику тепловыделения, в особенности значительно снижается скорость сгорания в диффузионном периоде [1]. Причиной этого является значительное влияние температуры поверхностей, образующих КС, на режимы испарения топлива и диффузии его паров в пристеночной области. Скорость испарения вблизи стенок КС увеличивается по степенному закону в зависимости от температуры и приводит к образованию переобогащенных топливом зон. Возможен также режим испарения с образованием паровой прослойки. Известно, что скорость молекулярной диффузии паров топлива и кислорода пропорциональна примерно первой степени температуры. Отставание скорости диффузии от скорости испарения приводит к увеличению продолжительности основной фазы сгорания, уменьшению полноты выгорания топлива в переобогащенных пристеночных

зонах.

Таким образом, основными факторами, определяющими протекание пристеночного смесеобразования, являются температура стенки и газодинамические характеристики заряда. Имеющиеся данные по рабочему процессу в высокотемпературных КС недостаточны для расчетной оценки показателей двигателя. Для совершенствования процессов сгорания в дизелях с ограниченным теплоотводом необходимы специальные мероприятия, определяемые при использовании физических и математических методов моделирования.

Результаты экспериментальных исследований дизеля

В данной работе рассматриваются результаты цикла экспериментальных работ целью, которых являлось повышение эффективности тепловыделения в дизеле с повышенной температурой стенок КС. Для рационального смесеобразования в исследуемом дизеле необходимо повысить скорость процессов переноса в основной фазе сгорания, что позволяет уменьшить переобогащение пристеночных зон. Эта техническая проблема аналогична совершенствованию смесеобразования при повышении частоты вращения дизеля.

Для дизелей с камерой в поршне задача рационализации пристеночного смесеобразования может быть решена путем увеличения воздушного заряда при соответствующем росте коэффициента избытка воздуха α и доли объемного смесеобразования, а также повышением эффективности использования воздушного заряда в пристеночных зонах. Для повышения эффективности использования воздушного заряда в данном исследовании использовалась опытная ТА, позволяющая улучшить качество распыли-

вания топлива и конструкция КС

Для повышения скорости сгорания топлива в исследуемом двигателе на первом этапе было проведено экспериментальное исследование с использованием таких факторов, как коэффициент избытка воздуха и параметры топливоподачи.

В экспериментальном исследовании увеличение α достигалось повышением давления наддува при варьируемых параметрах: эффективной мощности поршневого двигателя N_e и температурой газов перед турбиной t_T , при этом был проведен полный факторный эксперимент вида:

$$y_i = f(N_e, t_T).$$

Эксперимент был выполнен по плану—матрице приведенной в таблице 1. Регулирование t_T достигалось за счет изменения p_s при имитации системы турбонаддува, это сопровождалось соответствующим изменением коэффициента избытка воздуха при сгорании.

Таблица 1. План-матрица эксперимента на двигателе с теплоизолированными деталями КС

Уровни факторов	Параметры	
	N_e , кВт	t_T , °C
-1	75	600
0	88,3	650
+1	100	700

Увеличение α при снижении температуры t_T составило 25...35 %, что положительно влияет на динамику максимальной скорости тепловыделения и полноту сгорания топлива в дизеле с ограниченным отводом теплоты. Применение тепловой изоляции приводит к перераспределению тепловых потоков. Потери в стенки камеры сгорания снижаются. В серийном двигателе в систему охлаждения с маслом и лучистым теплообменом теряется 25,9 %, а в двигателе с теплоизолированными деталями эти потери составляют 18,8 %. На рис. 1 представлены зависимости параметров рабочего процесса двигателя от коэффициента избытка воздуха α и давления наддува при трёх значениях мощности. Из анализа зависимостей видно, что рост η_i с повышением α примерно аналогичен во всем диапазоне исследуемых режимов работы двигателя. Относительная скорость тепловы-

деления в районе второго максимума повысилась на 10-30 %, однако, повышение α свыше 1,9 почти не влияет на динамику тепловыделения.

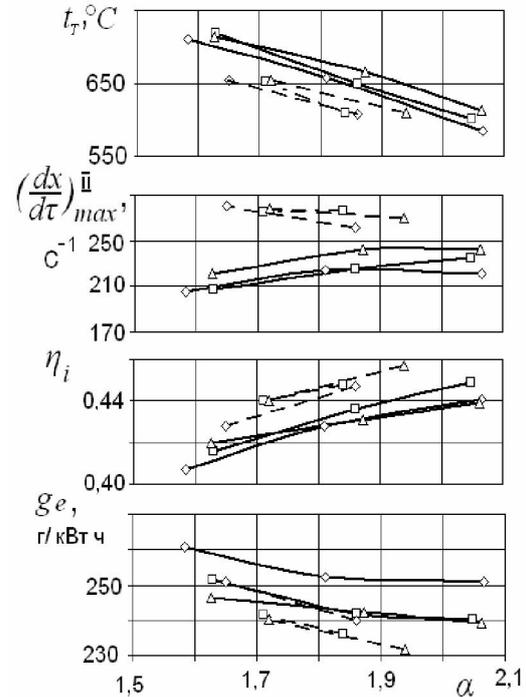


Рис. 1. Параметры рабочего процесса двигателя с повышенной температурой стенок КС при $n = 1600 \text{ мин}^{-1}$
 \diamond - $N_e = 75 \text{ кВт}$; \square - $N_e = 88,3 \text{ кВт}$; \triangle - $N_e = 100 \text{ кВт}$;
 - - - - - опытная ТА

При исследованиях был использован насос ЛСТНФ410012, имеющий опытные кулачки с вогнутым профилем и увеличенную скорость плунжера. Сравнительную информацию о влиянии параметров впрыскивания и коэффициента избытка воздуха α на изменение скорости сгорания можно получить по данным рис. 1. При использовании форсированной топливной аппаратуры требуемое сочетание мощности и уровня температуры выпускных газов t_T были получены при меньших значениях α , увеличение α при этом не изменяет величину второго максимума скорости тепловыделения $(dx/dt)_{\text{max}}^{\text{II}}$.

Анализ характеристик тепловыделения на сравниваемых режимах работы двигателя, показывает, что скорости сгорания после ВМТ в двигателе с опытной ТА выше на 25...30% (см. рис.2).

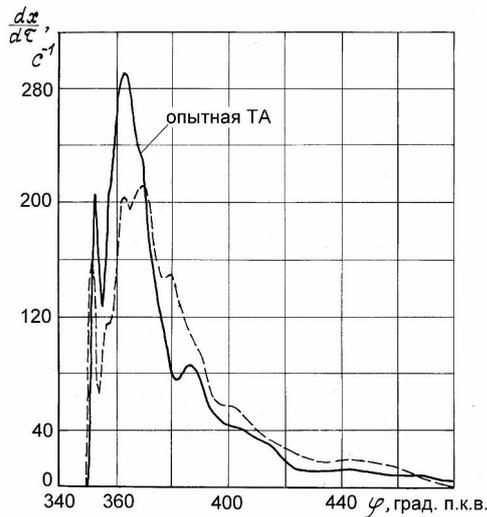
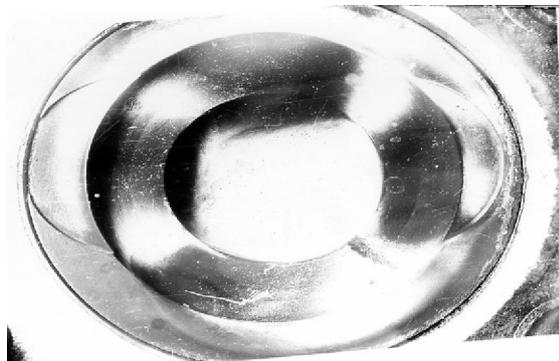


Рис. 2. Относительная скорость тепловыделения в двигателе с цилиндрической КС и ограниченным отводом теплоты

Таким образом, интенсификация топливоподачи, повышение давления наддува и введение охлаждения воздушного заряда в условиях стесненной цилиндрической КС с повышенной температурой стенок позволило повысить долю объемного смесеобразования и увеличить скорость диффузионного сгорания вблизи ВМТ. Эти мероприятия устранили негативные явления, связанные с существенным повышением температуры стенок камеры сгорания и обеспечили индикаторный КПД на уровне исходного варианта.



а)



б)

Рис. 3. Следы выгорания топливных струй в цилиндрической (а) и двухъярусной (б) КС

Анализ приведенных данных позволил сделать вывод, что для увеличения доли объемного смесеобразования необходимо изменение формы КС.

Разработка конструкции КС произведена с целью обеспечения увеличенного свободного пути то-

Целью следующего этапа работы являлось усовершенствование пристеночного смесеобразования в исследуемом дизеле при изменении формы КС. Особенности серийной цилиндрической КС для дизелей СМД изучались с помощью расчетных [2] и экспериментальных [3] методов. Экспериментальные исследования, результаты которых отражены в работах [3] показали, что наиболее информативным методом является способ определения следов выгорания топлива на стенках КС. В данной работе, с помощью этого метода исследовали взаимодействие топливных струй со стенками серийной и опытной КС.

В работе [2] приведены результаты расчетного исследования распространения топливных струй в серийной КС для различных вариантов ТА. Анализ этих результатов показывает, что существенная часть топливных струй достигает стенок КС. Длина коротких струй до стенки равна 29,24мм, учитывая, что длина начального участка струи равна 26 – 31мм, то со стенкой взаимодействуют крупные капли топлива. Углы встречи топливных струй со стенками КС острые, что приводит к движению массы топлива к доньшку КС. Это подтверждают данные работы [3] и фотографии следов выгорания топливных струй на стенках КС, приведенные на рис.3.

пливной струи, зависящего от расстояния между сопловым отверстием и стенкой КС и от величины смещения топливной струи при впрыскивании. Вблизи дна КС интенсифицировать смесеобразование возможно при увеличении поверхности КС,

для свободного развития пристеночного слоя топлива, повышении скорости движения воздушного заряда. В соответствии с этими требованиями на кафедре ДВС к.т.н. Копыловым М.Л. была спроектирована двухъярусная КС в поршне. Эскиз поршня с двухъярусной КС в стальной накладке представлен на рис.4.

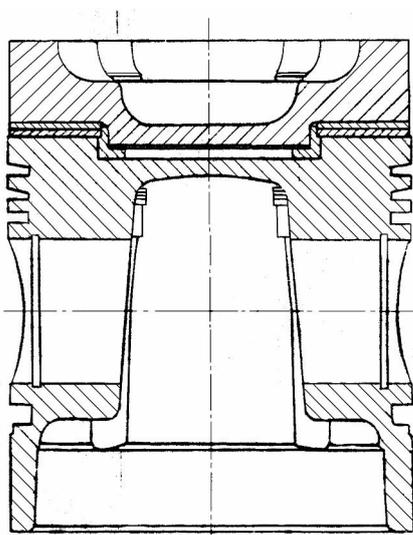


Рис.4. Поршень с двухъярусной КС в стальной накладке

Уменьшение диаметра нижнего яруса способствует повышению скорости вихря у доньшка КС. Таким образом, увеличено соотношение диаметра КС к диаметру цилиндра и сохраняется необходимая по конструктивным соображениям толщина днища КС.

Для определения возможностей улучшения рабочего процесса исследуемого двигателя и выявления степени влияния таких факторов, как форма КС и параметры топливной аппаратуры на кафедре ДВС были проведены экспериментальные исследования дизеля с ограниченным отводом теплоты. Исследование дизеля с ограниченным отводом теплоты было проведено с двумя видами КС в накладке поршня. Поршни дизеля имели алюминиевый тронк и стальную накладку, отделенную от тронка пластинами для повышения термического сопротивления. Сравнимые КС имели $d_{кс}/D_{ц} = 0,558$ – для серийной КС и $d_{кс}/D_{ц} = 0,758$ – для двухъярусной КС.

Исследования дизеля с опытной двухъярусной КС выполненной в стальной накладке поршня были проведены с использованием моделирования турбонаддува по методике изложенной в [1].

На рис. 5 приведены соответствующие характеристики относительной скорости тепловыделения. Анализ динамики тепловыделения на режимах работы дизеля с различными формами КС позволяет сделать следующие выводы. Скорость тепловыделения на начальной стадии сгорания в двухъярусной КС значительно выше, чем в серийной камере и разница эта увеличивается с понижением мощности.

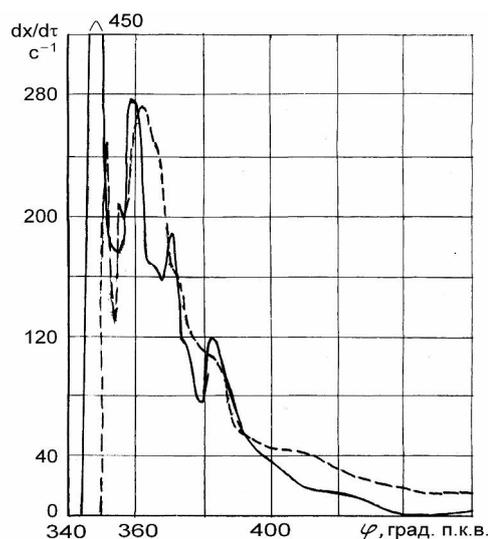


Рис. 5. Относительная скорость тепловыделения в двигателе с ограниченным отводом теплоты
 - - - - - цилиндрическая КС
 ————— двухъярусная КС

На сравниваемых режимах работы были примерно одинаковы степень сжатия, плотность воздушного заряда и дисперсность распыливания топлива. Соответственно мало отличались и условия прогрева и испарения впрыскиваемого топлива. Поэтому подготовка более значительного количества смеси к сгоранию в двухъярусной КС объясняется возросшей скоростью диффузии паров топлива с воздухом за счет большей доли объемного смесеобразования.

В двухъярусной КС больше длина свободного развития топливных струй и больше поверхность стенок, по которым растекается топливо при взаимо-

действию струй со стенками. Применяемая ТА обеспечила интенсификацию впрыскивания топлива, что повысило количество топлива подготовленного к сгоранию в начальной стадии. Приведенные факторы способствовали интенсификации тепловыделения в первой фазе сгорания – значительному росту по величине и продолжительности первого пика скорости тепловыделения. При этом сократилась продолжительность сгорания, повысился коэффициент эффективного использования теплоты. Протекание начальной фазы сгорания в двухъярусной КС характерно для процессов с объемным смесеобразованием: максимальная скорость нарастания давления по углу п.к.в. увеличилась в 1.3...1.5 раза, но осталась в пределах допускаемых значений для быстроходных дизелей (0,6 – 0,8МПа/град.). Максимальное давление сгорания p_z возросло на 7–8%. Для двигателя с двухъярусной КС доля располагаемой теплоты x_i выделившийся при сгорании топлива к моменту достижения максимального давления цикла p_z составляет 45–50%. При серийной форме камеры соответственно 36–39%. И хотя на сравниваемых режимах работы суммарная доля теплоты выделившийся к моменту открытия выпускных клапанов x_i , практически одинакова, индикаторный КПД двигателя с двухъярусной КС увеличился примерно на 2%. Это также сказалось и на уменьшении температуры t_T .

Заключение

Выполненные исследования позволили раскрыть пути улучшения рабочего процесса в теплоизолированном двигателе с цилиндрической КС, и с открытой двухъярусной КС.

Испытания двухъярусной КС в стальной накладки показали, что на индикаторные показатели, прежде всего, влияет энергия впрыскиваемого топлива и смесеобразование за период задержки воспламенения. Двухъярусная КС, при увеличенном отношении $d_{кс}/D_{ц}$ имеет развитую поверхность стенок, по которым распространяются топливные струи. Повышенное отношение $d_{кс}/D_{ц}$ в опытной двухъярусной КС при неизменной ТА способствует увели-

чению рационального по экономичности угла опережения впрыскивания топлива. Большая часть топлива испаряется и выгорает до ВМТ, при этом скорость тепловыделения в фазе диффузионного сгорания не увеличилась. Известно, что для снижения скорости выделения окислов азота необходимо уменьшать первую фазу сгорания [4]. В связи с этим, для совершенствования процесса сгорания необходимо уменьшение угла опережения впрыскивания топлива, что при сокращении продолжительности впрыскивания топлива и соответствующем уменьшении продолжительности первой и второй фаз сгорания может повысить эффективность рабочего процесса.

Проведенные исследования показали необходимость комплексного решения проблемы рациональной организации смесеобразования и сгорания в теплоизолированной КС. Эта проблема может быть решена за счет следующих основных факторов: применения ТА, имеющей повышенную интенсивность впрыскивания; согласования параметров топливоподдачи, воздушного заряда и формы КС.

Список литературы:

1. Разлейцев Н.Ф., Копылов М.Л., Карягин И.Н. Изменение показателей процесса сгорания в дизеле с повышенной температурой стенок рабочей полости цилиндра //Двигатели внутр. сгорания 1986, Вып.44, С.70—77.
2. Копылов М.Л., Разлейцев Н.Ф., Васильченко И.Д., Карягин И.Н. Влияние характеристик впрыскивания топлива на показатели смесеобразования в дизеле с повышенной температурой стенок камеры сгорания //Двигатели внутр. сгорания 1987, Вып.45, С.7—15.3.
3. Быков В.И., Парсаданов И.В. и др. Экспериментальный метод оценки взаимодействия топлива со стенками камеры сгорания дизеля //Двигатели внутр. сгорания 1987, Вып.46, С.48—52.
4. Возможности сокращения выброса окислов азота с ОГ быстроходного форсированного дизеля при сохранении высокой топливной экономичности / Б.Н. Семенов, В.И. Смайлис, В.Ю. Быков и др. // Двигателестроение. – 1986 – № 9 – с. 3 – 6.