

УДК 621.436.03

А.В. Грицюк, канд. техн. наук

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ РАЗДЕЛЕННОЙ ТОПЛИВНОЙ СИСТЕМЫ НЕПОСРЕДСТВЕННОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МАЛОЛИТРАЖНОГО ДИЗЕЛЯ

Введение

Достижение высоких топливно-экономических и экологических показателей в высокооборотном дизеле с непосредственным впрыскиванием топлива возможно только при обеспечении целого ряда обязательных условий. Подача и распыливание топлива в объеме камеры сгорания за ограниченное время, составляющее менее 0,001 секунды. Данное требование можно выполнить только при условии достижения высоких давлений впрыскивания на всех режимах работы дизеля [1]. С другой стороны, организация ступенчатого или двухфазного впрыскивания топлива позволяет снизить температуру рабочего тела в период сгорания, а также уменьшить скорость нарастания давления в цилиндре дизеля [2, 3].

Анализ публикаций

Наиболее эффективно поставленные задачи решаются при помощи топливной аппаратуры с электронным управлением [1 – 3]. Вместе с тем, разработан целый ряд конструкций и гидравлических схем топливных систем непосредственного действия, применение которых обеспечивает ступенчатую или двухфазную подачу топлива с давлением 80 МПа и выше [4 – 6].

В КП ХКБД применительно к ВМД серии дизелью4С88/82 (4ДТНА1) с непосредственным впрыскиванием топлива разработана новая разделенная топливная аппаратура (ТА), которая включает топлив-

ный насос высокого давления (ТНВД) с диаметром плунжера 8 мм и максимальной скоростью плунжера 2,86 м/с и форсунку для двухфазного впрыскивания. В работах [7, 8] приведены результаты расчетного и экспериментального исследования данной ТА. На следующем этапе опытная ТА была испытана на одноцилиндровом дизельном отсеке 1ДТА.

Цель и постановка задачи

Цель данной работы – определить влияние увеличения давления впрыскивания, и изменения закона подачи топлива на показатели работы высокооборотного малолитражного дизеля.

Для достижения данной цели предложена методика и проведены испытания одноцилиндрового отсека дизеля с модернизированной и штатной топливной аппаратурой. Именно это является задачей данной работы.

Объект и методика исследования

Одноцилиндровый дизельный отсек 1ДТА (параметры приведены в таблице 1) с непосредственным впрыскиванием топлива, оснащенный разделенной топливной аппаратурой, в состав которой входят топливный насос высокого давления с двумя вариантами профилей кулачковой шайбы, двумя вариантами диаметра плунжера, закрытые форсунки трех конструктивных схем: однопружинная, двухпружинная [6], форсунка с дифференциальным поршнем [7, 8].

Таблица 1. Параметры дизельного отсека

Тип двигателя	Четырехтактный с непосредственным впрыскиванием, исследовательский, без наддува
Диаметр цилиндра,	88 мм
Ход поршня	82 мм
Степень сжатия	18,5
Рабочий объем	$0,498 \times 10^{-3} \text{ м}^3$
Механизм газораспределения	2-х клапанный
Топливная аппаратура	Непосредственного действия: - с штатной закрытой однопружинной форсункой; - с двухпружинной форсункой; - с форсункой с дифференциальным поршнем
Привод оборудования, ТНВД	От дизеля

В период испытаний регистрировалось изменение давления в цилиндре дизеля и давления топлива P_ϕ на входе в форсунку, определялось положение верхней мертвой точки.

Как правило, определение действительного угла начала подачи и продолжительности впрыскивания топлива в цилиндр дизеля во время моторных испытаний производится при помощи регистрации перемещения иглы форсунки. Измерение перемещения иглы форсунки с дифференциальным поршнем (см. работу [7]) задача трудно выполнимая. Момент начала подачи топлива, а также продолжительность впрыскивания, возможно определить в процессе измерения давления топлива у штуцера форсунки P_ϕ . Расчетное исследование показало (см. рис. 1), что погрешность определения начала перемещения иглы форсунки по кривой давления топлива P_ϕ составляет не более 2 градусов п.к.в. Погрешность определения максимального давления впрыскивания P_a (давление в подигольной полости распылителя) составит при этом до 10 %. В дальнейшем, в ходе безмоторных испытаний, результаты расчета подтвердились [5].

Измерение давления P_ϕ во время проведения моторных испытаний осуществлялось при помощи пьезодатчика Т6000, установленного в специальный адаптер. Увеличение объема топлива в линии высокого давления при этом составило 47 мм^3 или 18 %. Давление в цилиндре дизеля определялось пьезодатчиком фирмы AVL.

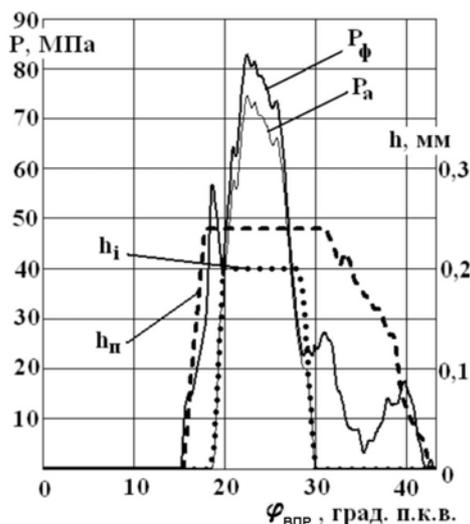


Рис. 1. Расчетная оценка достоверности определения характеристик топливоподачи форсунки с дифпоршнем ($n_{KB} = 3000 \text{ мин}^{-1}$, $q_c = 25 \text{ мм}^3$): h_i , h_n – перемещение иглы и поршня

Результаты экспериментальных исследований

Реализуемый при использовании штатной ТА дизеля серии 4ДТНА уровень давления впрыскивания (рис. 2 кривая А) удовлетворяет условиям смесеобразования двигателя с разделенной камерой сгорания. При переходе на непосредственное впрыскивание топлива необходимо равномерно распределять топливо по объему камеры сгорания, улучшать качество распыливания топлива, ликвидировать локальные зоны с низким коэффициентом избытка воздуха и повышенными температурами сгорания, в которых происходит интенсивное образование оксидов азота. Поэтому вместе с оптимизацией камеры сгорания, положения и количества сопловых отверстий распылителя, впускной системы и др. необходимо повышать давление впрыскивания. Для обеспечения данного требования традиционной модернизации ТНВД – увеличения диаметра плунжера $d_{пл}$, увеличения скорости плунжера в период активного хода – явно недостаточно (см. рис. 2 кривая Б). Применение форсунки с дифференциальным поршнем обеспечивает увеличение давления P_ϕ до 87 МПа (см. рис. 2 кривая В) и сокращение впрыскивания с 22 до 15 градусов п.к.в.

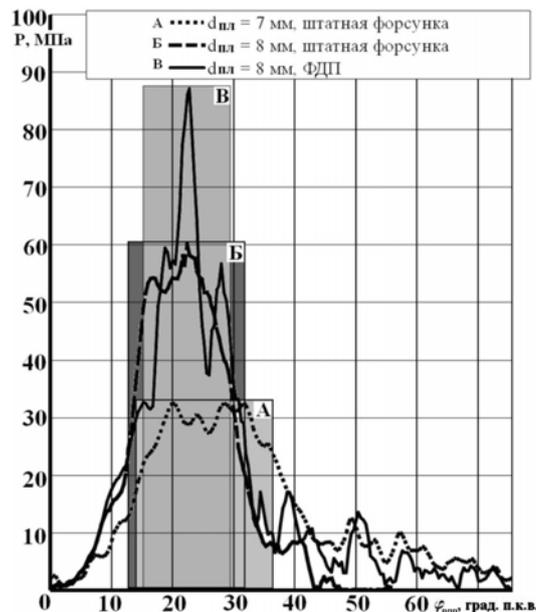


Рис. 2. Изменение давления P_ϕ в штатной и модернизированной ТА на режиме ($n_{KB} = 3000 \text{ мин}^{-1}$, $p_e = 0,66 \text{ МПа}$)

Зависимости на рис. 3 показывают изменение параметров дизеля при увеличении давления P_ϕ от 32

до 87 МПа на режиме $n_{КВ} = 3000 \text{ мин}^{-1}$, $p_e = 0,6 \text{ МПа}$. При этом при росте P_{ϕ} наблюдается сокращение продолжительности впрыскивания (рис. 2). Приведенные данные показывают, что с ростом давления P_{ϕ} наблюдается монотонное снижение расхода топлива g_e с 300 до 250 г/кВт ч, температура отработавших газов снижается с 570 до 475° С, максимальное давление сгорания p_z сначала растет с 10 до 12,4 МПа ($P_{\phi} = 60 \text{ МПа}$), а затем снижается, и при $P_{\phi} = 87 \text{ МПа}$ составляет 11,2 МПа.

Очевидно, что данное снижение давления p_z связано с полученным на данном режиме ступенчатым законом подачи топлива. Аналогичный характер изменения параметров при повышении давления P_{ϕ} получен и на других режимах работы дизеля без наддува.

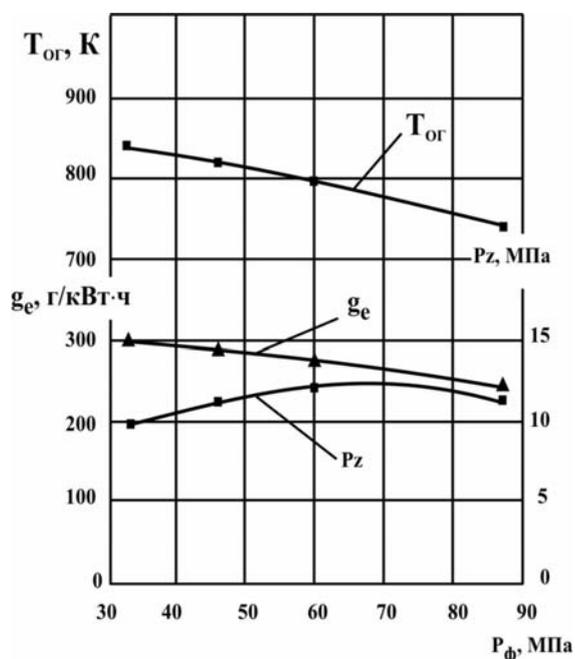


Рис. 3. Изменение параметров дизельного отсека ИДТА на режиме ($n_{КВ} = 3000 \text{ мин}^{-1}$, $p_e = 0,66 \text{ МПа}$) в зависимости от максимального давления P_{ϕ}

Дополнительным преимуществом применения форсунки с дифференциальным поршнем является увеличение давления впрыскивания без увеличения затрат мощности на привод топливного насоса высокого давления. В данном случае увеличение давления впрыскивания получено за счет использования волновых явлений в линии высокого давления ТА.

Сочетание конструктивных и регулировочных параметров форсунки для двухфазного впрыскива-

ния, применяемой во время моторных испытаний, по данным безмоторных испытаний обеспечивает двухфазную или ступенчатую подачу топлива на режимах холостого хода. Результаты моторных испытаний подтвердили эти данные. При работе дизеля без нагрузки в диапазоне частот вращения коленчатого вала n от 2000 мин^{-1} и менее форсунка с дифференциальным поршнем обеспечивает двухфазную подачу топлива (см. $\Theta_{ВПР1}$ и $\Theta_{ВПР2}$ на рис. 4). Причем с уменьшением $n_{КВ}$ наблюдается увеличение паузы между предварительной и основной подачей. При $n_{КВ} = 1200 \text{ мин}^{-1}$ эта пауза составляет 3,4 градуса п.к.в (см. рис. 5). Впрыскивание топлива при $n_{КВ} > 2000 \text{ мин}^{-1}$ осуществляется при ступенчатом переднем фронте нарастания давления впрыскивания.

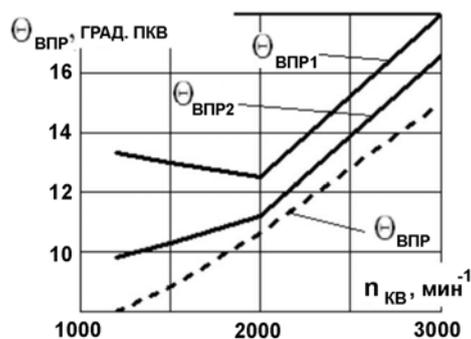


Рис. 4. Изменение действительного угла опережения впрыскивания топлива на холостом ходу: сплошная - модернизированная ТА; пунктирная - штатная ТА

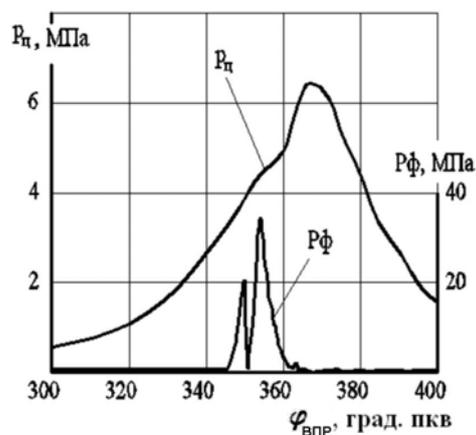


Рис. 5. Изменение давления P_{ϕ} и в цилиндре дизеля на режиме ($n_{КВ} = 1200 \text{ мин}^{-1}$, $q_{ц} = 9,5 \text{ мм}^3$)

Изменение закона подачи топлива и повышение давления впрыскивания на холостом ходу приводит к снижению температуры отработавших газов $T_{ог}$ с 440 до 410 К, уменьшению расхода топлива с 12 до $8,5 \text{ мм}^3/\text{цикл}$ (см. рис. 6).

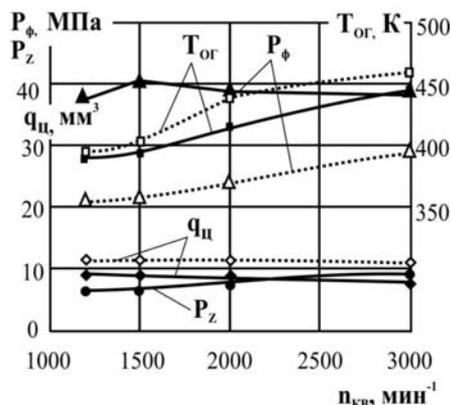


Рис. 6. Изменение параметров дизеля на холостом ходу:

сплошная – модернизированная ТА;
пунктирная – штатная ТА

Выводы

1. Исследования подтвердили эффективность предложенного способа модернизации топливной аппаратуры высокооборотного малолитражного дизеля путем установки форсунки с дифференциальным поршнем. На всех исследуемых режимах работы дизеля зафиксировано увеличение давления впрыскивания и изменение закона подачи топлива (однофазный на ступенчатый или двухфазный). Результаты данного исследования являются очередным шагом к внедрению электронного впрыскивания топлива на отечественном малолитражном дизеле серии 4ДТНА2 (ЧН8,8/8,2).

2. Повышение давления впрыскивания с 32 до 87 МПа за счет применения в топливной аппаратуре непосредственного действия форсунки с дифферен-

циальным поршнем обеспечивает снижение удельного эффективного расхода топлива одноцилиндровым дизелем с непосредственным впрыскиванием на 18,9 % на режиме ($n_{кв} = 3000 \text{ мин}^{-1}$, $p_e = 0,66 \text{ МПа}$).

3. На режимах холостого хода в диапазоне частот вращения коленчатого вала дизеля 800 – 3000 мин^{-1} и цикловых подач 8 – 12 мм^3 форсунка с дифференциальным поршнем обеспечивает двухфазную подачу топлива в цилиндр дизеля и повышение давления впрыскивания с 21 МПа (штатная топливная аппаратура) до 36,5 МПа.

Список литературы:

1. Грехов Л.В. Топливная аппаратура и системы управления дизелей: Учебник для вузов. / Л.В. Грехов, Н.А. Иващенко, В.А. Марков. - М.: Легион-Автодата, 2004. - 344 с.
2. Системы управления дизельными двигателями / Перевод с немецкого. - М.: ЗАО "КЖИ "За рулем", 2004. - 480 с.
3. Грехов Л.В. Топливная аппаратура дизелей с электронным управлением / Л.В. Грехов. - М.: Легион - Автодата, 2007. - 176 с.
4. Грицюк А.В. Результаты разработок топливоподающей аппаратуры для высокооборотного дизеля / А.В. Грицюк, А.Н. Врублевский, А.В. Денисов // Фундаментальные и прикладные проблемы совершенствования поршневых двигателей: Материалы XI междунар. науч.-практ. конф., 27 - 29 мая 2008 г.: Владимир. гос. ун-т. - Владимир, 2008. - С. 112 - 118.
5. Повышение давления впрыскивания в топливной системе высокооборотного дизеля при помощи МИД / А.Н. Врублевский, А.В. Денисов, А.Л. Григорьев, А.В. Грицюк, Г.А. Щербаков // Вестник ХНАДУ. - 2006. - Вып. 32. - С. 50 - 54.
6. Оценка возможности ступенчатого впрыскивания топлива в цилиндр дизеля 4ДТНА с помощью двухпружинной форсунки / А.Н. Врублевский, А.В. Денисов, А.Л. Григорьев, А.В. Грицюк, Г.А. Щербаков // Двигатели внутреннего сгорания. - 2006. - №2. - С. 79 - 84.
7. Разработка и исследование форсунки для двухфазного впрыскивания топлива в цилиндр высокооборотного дизеля / А.Н. Врублевский, А.В. Грицюк, Г.А. Щербаков, А.В. Денисов // Двигатели внутреннего сгорания. - 2006. - №2. - С. 97 - 101.
8. Результаты безмоторных испытаний форсунки для двухфазного впрыскивания топлива / А.Н. Врублевский, А.В. Грицюк, А.В. Денисов, Г.А. Щербаков, С.Б. Сафонов // Двигатели внутреннего сгорания. - 2007. - №2. - С. 43 - 47.

УДК 629.5.03-8

Р.А. Варбанец, канд. техн. наук

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ В СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА D4.0H

Введение

Эффективная эксплуатация судовых двигателей внутреннего сгорания (СДВС) базируется на посто-

янном эксплуатационном контроле основных, наиболее значимых параметрах рабочего процесса (ПРП). Под рабочим процессом подразумеваются