

скими показателями, механической, тепловой нагруженностью и дымностью отработавших газов лежат в диапазоне 66-81 °С.

Список литературы:

1. Автомобильные двигатели с турбонаддувом / Н.С. Ханин и др. - М.: Машиностроение, 1991. - 336 с. 2. Кукис В.С. Ю.Л. Попов, Г.А. Берестнев. Обеспечение оптимальной температуры свежего заряда в комбинированных ДВС при их работе на неустановившихся режимах, режимах малых нагрузок и холостого хода. Актуальные проблемы теории и практики современного двигателестроения // Тр Между-

народной науч.-техн. конф. - Челябинск, 2006. - С 207-280. 3. Разношинская А.В. Повышение эффективности утилизации теплоты и нейтрализации отработавших газов поршневых ДВС путем демпфирования колебаний их температуры: Дис. ...канд. техн. наук. - Челябинск, 2005. - 158 с. 4. Нефедов Д.В. Использование теплоты отработавших газов для снижения токсичности поршневых двигателей внутреннего сгорания. Дис. ...канд. техн. наук. - Рязань, 2003. - 127 с. 5. Романов В.А. Обеспечение оптимальной температуры наддувочного воздуха при работе дизеля на различных режимах // Транспорт Урала. - №3. - 2007. - С. 17-21.

УДК 621.436.038

А.Н. Врублевский, канд. техн. наук, А.В. Грицюк, канд. техн. наук, Г.А. Щербаков, инж., А.В. Денисов, инж., С.Б. Сафонов, инж.

**РЕЗУЛЬТАТЫ БЕЗМОТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ ФОРСУНКИ
ДЛЯ ДВУХФАЗНОГО ВПРЫСКИВАНИЯ ТОПЛИВА**

Введение

Наряду с внедрением топливных систем аккумулярующего типа, остается актуальным вопрос создания и модернизации дизельных систем непосредственного действия. Данная статья описывает некоторые этапы создания топливной аппаратуры непосредственного действия для высокооборотного дизеля серии 4ДТНА.

Анализ публикаций

С каждым годом требования к таким системам ужесточаются. И можно утверждать, что резервы их совершенствования почти исчерпаны. Так, макси-

мальное давление впрыскивания топлива у лучших мировых образцов составляет 100 МПа и более, а целый ряд конструктивных решений [1, 2] позволяет без использования электроники получить различные законы топливоподачи. К сожалению, обеспечение оптимального закона подачи для каждого режима работы автотракторного высокооборотного дизеля – сложная задача. Поэтому разработчики, как правило, оптимизируют топливоподачу на определенном режиме (например, холостого хода [2]) и при этом стараются не ухудшить показатели в остальном рабочем диапазоне дизеля. В [3] предложено для обеспечения двухфазного впрыскивания использовать форсунку с

дополнительным поршнем. Ожидаемый от использования данной форсунки эффект заключается в разделении цикловой порции топлива на две части - предварительную и основную. Численное моделирование показало, что данная форсунка может быть настроена на двухфазную подачу топлива на холостом ходу. При этом на режиме номинальной мощности характер нарастания давления примет ступенчатый вид, а максимальное давление впрыскивания увеличится на 20 – 30 %. Такие характеристики впрыскивания способствуют уменьшению шума работы дизеля, а также снижению вредных выбросов с отработавшими газами.

Цель и постановка задачи

Цель данной работы – определить эффективность применения форсунки с дифференциальным поршнем для организации двухфазной подачи топлива на основных режимах работы дизеля 4ДТНА. А также уточнить конструктивные и регулировочные параметры данной форсунки. Для достижения данной цели необходимо разработать методику и провести безмоторные испытания опытного образца топливной системы. Именно это является задачей данной работы.

Объект исследования

В работе [3] описаны принцип действия и результаты расчетного исследования, которое являлось первым этапом разработки форсунки для двухфазного впрыскивания. Согласно полученным рекомендациям разработана конструкторская документация и изготовлен опытный образец форсунки (рис. 1).

Описание методики эксперимента

Оценить эффективность предложенного способа организации двухфазного впрыскивания, уточнить конструктивные и регулировочные параметры опытной форсунки, а также обеспечить ее стабиль-

ную работу возможно по результатам безмоторных испытаний. Для проведения экспериментального исследования топливная система (ТС) была укомплектована топливным насосом высокого давления (ТНВД) с нагнетательным клапаном двойного действия, диаксиальным приводом плунжерной пары с диаметром плунжера 8 мм. Топливопровод высокого давления, соединяющий ТНВД и форсунку, имел длину 420 мм и внутренний диаметр 1,1 мм. ТС установлена на стенде КИ 22206-02 лаборатории топливной аппаратуры КП ХКБД. Измерительная схема стенда представлена на рис. 2.



Рис. 1. Форсунки для двухфазного впрыскивания топлива

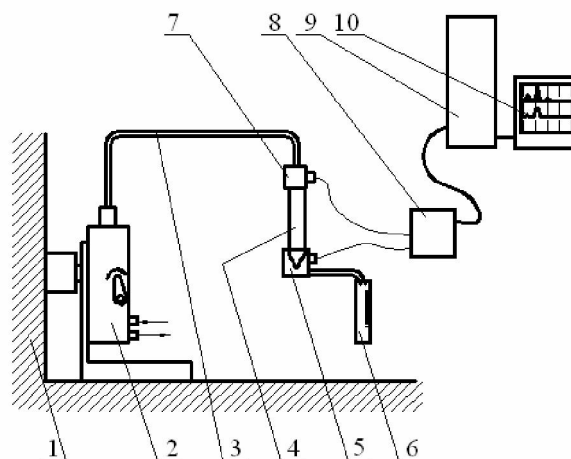


Рис. 2. Измерительная схема:

1 - топливный стенд; 2 - ТНВД; 3 - топливопровод высокого давления; 4 - форсунка; 5 - датчик давления топлива после распылителя; 6 - мерный стакан; 7 - датчик давления топлива; 8 - блок усилителей; 9 - системный блок с АЦП; 10 - дисплей

Электрическая измерительная схема состоит из датчиков давления 5, 7, соединенных при помощи кабелей с усилителем 8 и осциллографом 9, 10. Для регистрации параметров топливоподачи использовался аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) L-783 фирмы L-Card (г. Москва) [4].

Плата L-783 устанавливается в системный блок компьютера. Обработка поступающего с АЦП сигнала производилась при помощи лицензионной версии программы PowerGraph 3.1 [5].

При проведении исследований характеристика впрыскивания определялась по осциллограммам давления P_a . Измерение давления P_a производилось при помощи пьезоэлектрического датчика T6000, установленного в специальный адаптер 5 (рис. 3). Основным условием успешного применения такого решения является минимизация объема канала 4. В данном случае объем канала 4 составил 18 мм^3 . Проведенные расчеты показали, что такое увеличение объема приводит к занижению действительной величины P_a на 3 – 5 % и не искажает характер изменения данного давления. Следует отметить, что впрыскивание топлива при измерении осуществляется через штатные сопловые отверстия 3.

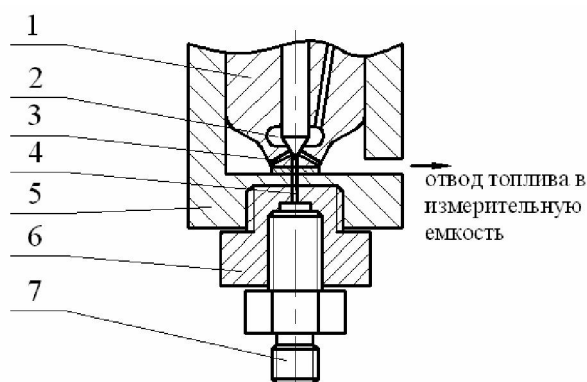


Рис. 3 Схема установки датчика давления впрыскивания:

1 - распылитель, 2 - карман распылителя, 3 - сопловые отверстия, 4 - колодец распылителя, 5 - адаптер, 6 - штуцер, 7 - пьезодатчик T6000.

Объёмный расхода топлива, выходящего в единицу времени из сопловых отверстий распылителя, определялся с помощью выражения (1), полученного из уравнения Бернулли для несжимаемой жидкости.

$$Q = \mu F_c \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_a - P_y)}, \quad (1)$$

где μ - коэффициент расхода;

F_c - суммарная площадь поперечных сечений сопловых отверстий;

ρ - плотность топлива;

P_a - давление впрыскивания;

P_y - давление среды, в которую впрыскивается топливо.

Величина μF_c принималась постоянной, по результатам проливки распылителя равной $0,141 \text{ мм}^2$. Плотность ρ топлива, входящая в уравнение (1), в зависимости от уровня давления P_a определялась по известным эмпирическим соотношениям [6].

Результаты эксперимента

Результаты обработки осциллограммы – характеристика впрыскивания, для режима холостого хода дизеля 4ДТНА2 (частота вращения вала ТНВД $n = 400 \text{ мин}^{-1}$) представлены на рис. 4-а.

Анализ осциллограмм (рис. 4) показывает, что на режиме холостого хода применение форсунки с дифференциальным поршнем позволяет разделить процесс топливоподачи на две фазы.

Предварительную – с величиной запальной дозы топлива около 2 мм^3 и, следующую через $1,1^\circ$ поворота кулачкового вала ТНВД, основную подачу.

На режимах частичной нагрузки, например $n = 1000 \text{ мин}^{-1}$ (см. рис. 4-б) основная фаза топливоподачи следует после предварительной без разрыва. Продолжительность предварительной фазы составляет от $1,5^\circ$ поворота кулачкового вала ТНВД на $n = 1000 \text{ мин}^{-1}$ до $1,8^\circ$ на $n = 1500 \text{ мин}^{-1}$.

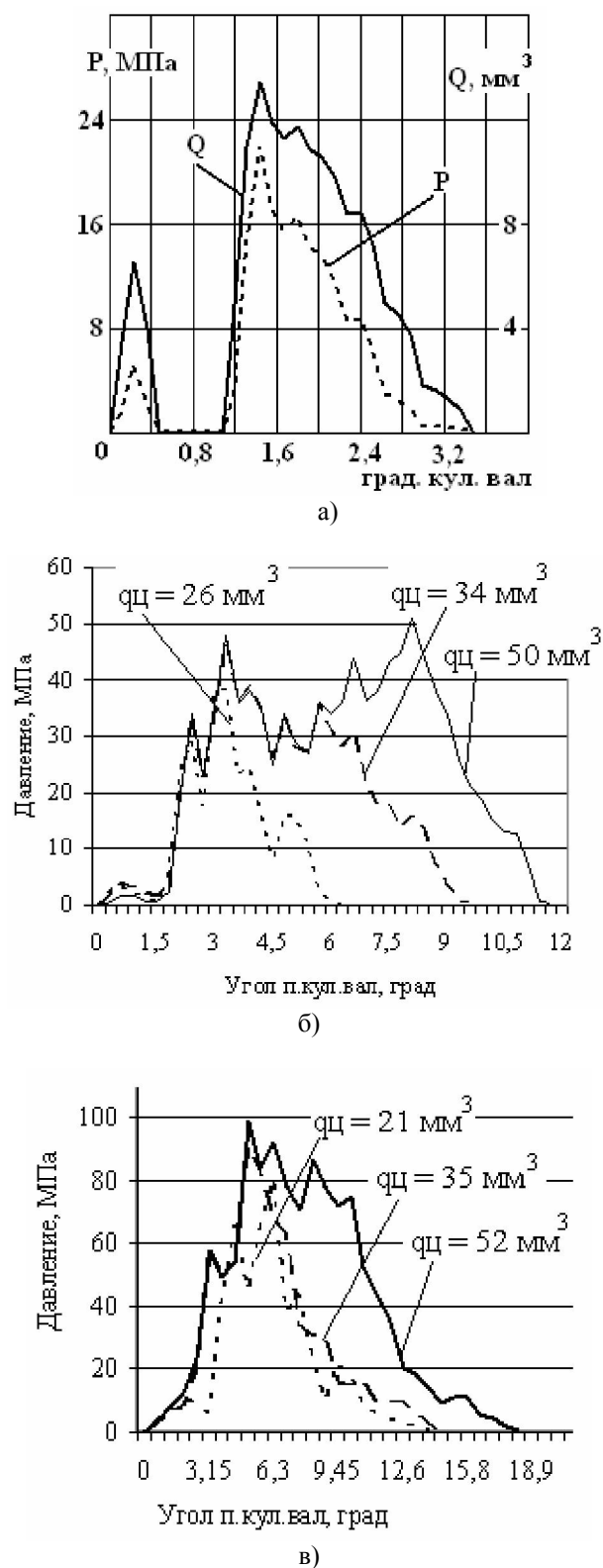


Рис. 4 Осциллограммы изменения давления P_a на режимах:
 а) $n = 400 \text{ мин}^{-1}$; б) $n = 1000 \text{ мин}^{-1}$; в) $n = 2100 \text{ мин}^{-1}$.

Характерными особенностями протекания процесса топливоподачи на режимах номинальной частоты вращения ТНВД $n = 2100 \text{ мин}^{-1}$ является переход ступенчатого переднего фронта впрыскивания при цикловых менее 30 мм^3 в пологий при больших величинах цикловых.

По сравнению со штатной, в исследуемой ТС уровень максимального и среднего давления впрыскивания на всех режимах увеличивается на 10 – 30 %.

Так, например, если для штатной ТС при $n = 1500 \text{ мин}^{-1}$ характерная величина максимального P_a равна 45 МПа [3], то для модернизированной – до 78 МПа.

На режиме $n = 2100 \text{ мин}^{-1}$, $q_{ц} = 52 \text{ мм}^3$ применение форсунки с дифференциальным поршнем позволяет увеличить максимальное давление впрыскивания с 82 МПа (штатная ТС) до 100 МПа, при этом среднее давление впрыскивания увеличивается с 55 до 78 МПа.

Усовершенствование конструкции форсунки

При математическом моделировании (и эксперимент это подтвердил) выяснилось, что оптимальная величина диаметра $d_{оиф}$ поперечного сечения дифференциальной площадки поршня находится в малых допусках. Так, отклонение от оптимального размера $d_{оиф}$ на величину более $\pm 0,15 \text{ мм}$ приводит к потере ожидаемого эффекта разделения подачи на предварительную и основную. В связи с этим возникает две проблемы. Первая - технологическая - точность изготовления прецизионной пары поршень-корпус. Вторая – изменение диаметра $d_{оиф}$ по мере износа во время эксплуатации. Для решения данных проблем предложено запорную часть поршня вы-

полнять аналогично игле распылителя [7] из двух конусов (рис. 5).

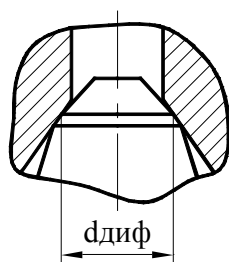


Рис. 5. Запорный конус.

Такое исполнение обеспечит постоянную площадь запорного конуса в процессе износа.

Заключение

На безмоторной установке проведено экспериментальное исследование форсунки с дифференциальным поршнем.

Показано, что применение разработанной форсунки обеспечивает двухфазную топливоподачу на частичных режимах и режиме холостого хода дизелей серии 4ДТНА, а также пологий передний фронт нарастания давления на номинальном режиме.

Испытания подтвердили, что применение форсунки с дифференциальным поршнем обеспечивает увеличение максимального давления впрыскивания

на 10 – 30 %. Для стабилизации характеристики впрыскивания запорную часть поршня форсунки предложено изготавливать из двух конусов.

Список литературы:

1. Пат. RU 2196246 Система впрыскивания топлива. 10.01.2003 Никол Стьюарт-Уилльям. Роберт Бош ГМБХ.
2. Врублевский А.Н., Денисов А.В., Григорьев А.Л., Грицюк А.В., Щербаков Г.А. Оценка возможности ступенчатого впрыскивания топлива в цилиндр дизеля 4ДТНА с помощью двухпружинной форсунки // Двигатели внутреннего сгорания. ХПИ – 2006. - №2. – с. 79 – 84.
3. Врублевский А.Н., Грицюк А.В., Щербаков Г.А., Денисов А.В. Разработка и исследование форсунки для двухфазного впрыскивания топлива в цилиндр высокооборотного дизеля // Двигатели внутреннего сгорания. ХПИ – 2006. - №2. – стр. 97 – 101.
4. Платы L-761, L-780 и L-783. Техническое описание и руководство программиста. ЗАО “Л-Кард”. 2003. 113 с.
5. Электронная система помощи программы PowerGraph 3.1.
6. Фомин Ю.Я. Гидродинамический расчет топливных систем дизелей с использованием ЭЦВМ. – М.: Машиностроение, 1973. – 144 с.
7. Грехов Л.В., Иващенко Н.А., Марков В.А. Топливная аппаратура и системы управления дизелей: Учебник для вузов. – М.: Легион - Автодата, 2004. – 344 с.