

УДК 621.436.038

С.А. АЛЁХИН¹, А.В. ГРИЦЮК¹, А.Н. ВРУБЛЕВСКИЙ², Г.А. ЩЕРБАКОВ¹¹КП «Харьковское конструкторское бюро по двигателестроению», Украина²Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Украина

ЭТАПЫ ЭВОЛЮЦИИ ТОПЛИВОПОДАЮЩЕЙ АППАРАТУРЫ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ВЫСОКОБОРОТНОГО МАЛОЛИТРАЖНОГО ДИЗЕЛЯ

Представлен десятилетний опыт развития топливоподающей аппаратуры отечественного малолитражного дизеля от его вихрекамерной модификации до дизеля с непосредственным впрыскиванием топлива системой common rail. Показано, что при практически одинаковых габаритно-весовых характеристиках топливной аппаратуры диаметр плунжера увеличился с 6,5 мм до 8 мм, его максимальная скорость - с 1,64 м/с до 2,86 м/с, максимальное давление впрыскивания - с 35 до 120 МПа. Работы по совершенствованию процессов впрыскивания и распыливания топлива топливной аппаратурой малолитражного дизеля продолжаются.

Ключевые слова: высокооборотный малолитражный дизель, топливоподающая аппаратура, аккумуляторная топливная система, электрогидравлическая форсунка, электронное управление.

Введение

Задание на разработку семейства малолитражных тракторных дизелей КП ХКБД было выдано Министерством промышленной политики в 1998 году, а уже через год было получено задание на разработку автомобильных модификаций того же типоразмера. Базовым дизелем нового семейства стал двигатель серии ДТА (ЧН8,8/8,2). Опытные образцы дизеля ДТА различных модификаций успешно прошли испытания в качестве силовых установок тракторов, автомобилей, спецтехники [1]. На протяжении 10-ти лет постоянно ведутся работы по совершенствованию конструкции систем, технологии изготовления и повышению эксплуатационных характеристик дизелей данной серии [2].

Большое внимание было уделено разработке и исследованию топливоподающей аппаратуры (ТПА). Как известно, ТПА, которая оснащена соответствующими устройствами управления, является ключевой системой двигателя. Конструктивные особенности топливной аппаратуры и ее параметры определяют такие важные параметры работы двигателя, как максимальные мощность и крутящий момент, топливную экономичность и токсичность ОГ, динамические и пусковые свойства, показатели динамики процесса сгорания и теплонапряженность деталей двигателя. Поэтому при разработке и усовершенствовании систем топливоподачи и ее управления возникает проблема выбора их конструкции и расчета основных параметров и характеристик. Для дизеля ДТА в прошедшее десятилетие созданы образцы ТПА непосредственного действия, обеспечи-

вающие высокие параметры топливоподачи. Создан опытный образец аккумуляторной ТПА с электронным управлением впрыскивания. Многие конструктивные решения, впервые примененные и апробированные на высокооборотных малолитражных дизелях ДТ и ДТА, впоследствии внедрены на широкий спектр двигателей специального назначения различной размерности. Эффективность каждого предложения, направленного на улучшение процесса топливоподачи, проверялась в ходе математического и физического моделирования. Для этого использовались специально разработанные математические модели [3 – 5] и методики проведения экспериментов [6, 7].

Анализ публикаций. Анализ мероприятий [8] по совершенствованию высокооборотных малолитражных дизелей свидетельствует о том, что реализация принципиального преимущества дизельного двигателя невозможна без обеспечения оптимальных характеристик топливоподачи, которые целесообразно изменять в соответствии с режимом работы дизеля и условиями его эксплуатации. Поэтому ТПА оснащают отдельными устройствами или целыми системами управления впрыскиванием топлива, которые обеспечивают заданный характер протекания процесса топливоподачи, смесеобразования и сгорания на каждом эксплуатационном режиме работы дизеля.

Цель и постановка задачи

Цель данной работы – показать уже пройденные этапы развития ТПА высокооборотного малолитражного дизеля и представить намеченные перспективы её развития.

Для достижения данной цели необходимо выполнить обзор разработанных и внедренных конструктивных решений, направленных на совершенствование ТПА. Используя накопленный опыт и учитывая потенциал украинской школы двигателестроения, показать стратегическое направление развития ТПА отечественного малолитражного дизеля. Именно это является задачей данной работы.

Решение задачи

Повышение давления впрыскивания. В первом отечественном малолитражном дизеле серии ДТА использовалась разделенная камера сгорания. Топливо подавалось в вихревую камеру, для чего достаточным является давление впрыскивания 30 – 35 МПа (рис. 1). С внедрением на малолитражном дизеле ЧН8,8/8,2 неразделенной камеры сгорания остро стал вопрос о повышении давления впрыскивания. Для достижения данной цели на этапе перехода был предложен и впоследствии внедрен комплекс мероприятий, обеспечивающих интенсификацию впрыскивания ТПА непосредственного действия:

- увеличение скорости плунжера топливного насоса высокого давления (ТНВД) на участке активного хода до 2,86 м/с;
- увеличение диаметра плунжера ТНВД с 6,5 до 8 мм;
- размещение в линии высокого давления между штуцером ТНВД и карманом распылителя дополнительного объема, изменяемого при перемещении поршня, опирающегося на пружину [9, 10].

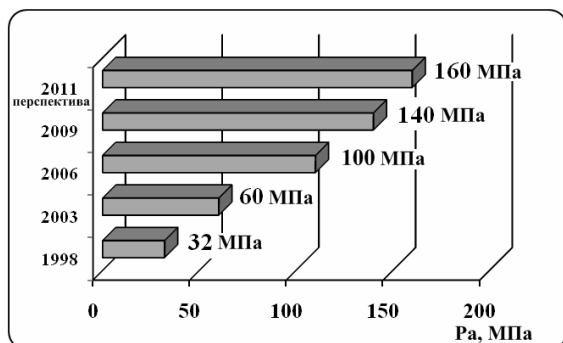


Рис. 1. Динамика увеличения давления впрыскивания Pa

В результате давление впрыскивания на режиме $n_{кв} = 4200 \text{ мин}^{-1}$ было увеличено до 100 МПа [6, 11]. Дальнейшее увеличение давления впрыскивания связано с внедрением аккумуляторной топливной системы с электронным управлением.

Использование специально спроектированного рядного ТНВД и гибкой двухканальной системы регулирования давления топлива в аккумуляторе

позволило увеличить давление впрыскивания до 140 МПа. Намечен комплекс мероприятий, который позволит в перспективе увеличить давление впрыскивания до 160 МПа. Очевидно, что улучшение условий топливоподачи в результате повышения давления впрыскивания возможно только при использовании соответствующей конструкции распылителя.

Повышение качества распыливания топлива за счет совершенствования конструкции распылителя является актуальным направлением. Известно [8], что на эффективность рабочего процесса, наряду с числом и положением распыливающих отверстий, большое влияние оказывает геометрия проточной части распылителя. Так, уменьшение подигольного объема распылителя, выход распыливающих отверстий на запорный конус способствует сокращению выбросов вредных веществ с отработавшими газами и расхода топлива, препятствует закоксовыванию отверстий распылителя. Увеличение давления начала впрыскивания, рост уровня средних и максимальных давлений впрыскивания приводит к увеличению скорости перемещения иглы форсунки. Следовательно, для предотвращения разрушения распылителя помимо поиска новых материалов иглы и распылителя, а также технологий их обработки, необходимо снижать массу иглы и перемещающихся с ней деталей.

Специально для высокооборотного малолитражного дизеля с непосредственным впрыскиванием разработана и внедрена в производство конструкция распылителя (рис. 2) со следующими параметрами:

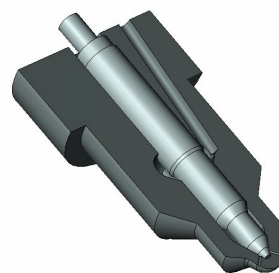


Рис. 2. Распылитель закрытой форсунки с улучшенной геометрией

- диаметр иглы 3,5 мм;
- уменьшенный с 0,35 мм до 0,20 мм диаметр и увеличенное с двух до шести количество распыливающих отверстий при сохранении суммарного эффективного проходного сечения распылителя на уровне $0,16 \text{ мм}^2$;
- минимизированный объем колодца распылителя (подигольной полости) 2 мм^3 ;
- сопловые отверстия между впрыскиваниями перекрываются запорным конусом;
- давление начала впрыскивания до 25 МПа.

Применение в форсунке системы внутреннего дренажа. В закрытой гидромеханической форсунке неизбежно происходит процесс перетекания топлива из кармана распылителя в пружинную полость по прецизионному зазору пары игла-распылитель. Для организации отвода данного топлива на форсунку устанавливают дополнительные трубопроводы, а в форсунках располагают каналы и штуцеры сбора дренажного топлива. В разработанной в КП ХКБД форсунке топливо из пружинной полости между впрыскиваниями через обратный клапан сливается в карман распылителя. В форсунке с дифференциальным поршнем с двумя прецизионными парами, применение данного конструктивного решения явилось одним из условий ее эффективной работы [6]. Решение по внутреннему дренажу внедрено в серийно выпускаемые форсунки для специальной техники.

Создание дизельных топливных систем с электронным управлением. Располагая описанным заделом, следующим этапом явилось выполнение задания на проектирование ТПА с электронным управлением топливоподачи. В 2006 году в КП ХКБД была испытана первая отечественная аккумуляторная топливная система с электронным управлением [7]. Эта топливная система (рис. 3) состоит из: ТНВД с регулируемой на входе подачей топлива; гидроаккумулятора; электрогидравлической форсункой (ЭГФ) с электромагнитным клапаном; регулятором давления в гидроаккумуляторе.

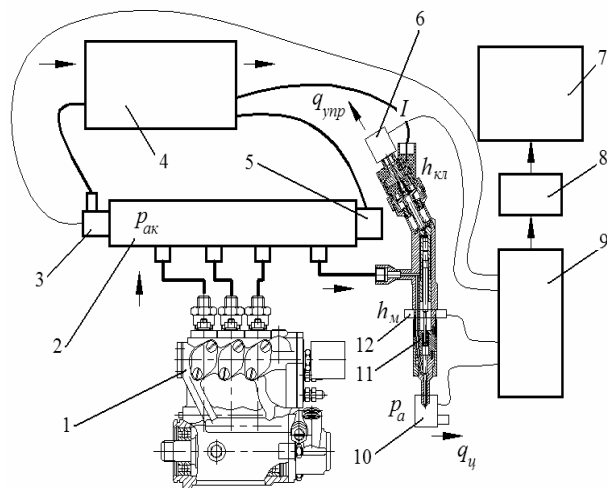


Рис. 3. Аккумуляторная ТПА и схема измерения:
 1 – ТНВД; 2 – гидроаккумулятор; 3 – датчик давления в гидроаккумуляторе; 4 – блок управления форсункой и давлением $p_{ак}$; 5 – регулятор давления; 6 – датчик хода клапана; 7 – компьютер; 8 – АЦП; 9 – блок усилителей; 10 – датчик давления впрыскивания; 11 – электрогидравлическая форсунка; 12 – датчик хода мультипликатора

Исполнительные устройства для ТПА с электронным впрыскиванием. В КП ХКБД, в сотрудничестве с академическими и учебными институтами Украины (ИОНХ им. Вернадского НАН Украины, ННЦ ХФТИ НАН Украины, ХНАДУ, НТУ «ХПИ», ООО «Элон-ТТ»), ведутся работы по созданию новых и усовершенствованию существующих устройств для привода клапанов управления топливоподающей аппаратуры. В этом направлении уже достигнуты определенные успехи в электромагнитных клапанах и параллельно ведутся работы по созданию пьезо- и магнестрикционных актюаторов для ТПА.

Электромагнитный клапан. Электромагниты зарекомендовали себя как надежные устройства, обеспечивающие необходимое быстродействие для привода управляющих клапанов ЭГФ, регуляторов давления.

Совместно с ННЦ УФТИ созданы электромагниты с такими параметрами:

максимальная магнитодвижущая сила на ходе 0,1 мм – 100 Н;

максимальная скорость перемещения якоря – 0,17 м/с;

коэрцитивная сила – 12 кА/м;

величина магнитной индукции в области насыщения – 1,9 Тл – достигается в магнитном поле $40 \div 100$ кА/м.

Работы над совершенствованием электромагнитов продолжают.

В результате исследований сделан вывод, что ограничивает применение электромагнитов быстродействие, а не развиваемая сила.

Данный подход получил развитие в создании образцов с повышенной скоростью перемещения якоря на усилия предварительного сжатия пружины клапана более 40 Н.

Использование таких образцов позволяет реализовать многофазную стратегию впрыска.

Изменение закона подачи. Возможность управлять законом топливоподачи является одним из критериев совершенства ТПА.

Однофазное, ступенчатое и двухфазное впрыскивание топлива было получено на опытных образцах топливоподающей аппаратуры непосредственного действия с применением двухпружинной форсунки [12], и форсунки с дифференциальным поршнем (рис. 4).

Первый отечественный образец аккумуляторной ТПА с электронным управлением позволил осуществить двухфазную топливоподачу (рис. 5) с минимальным количеством топлива, подаваемого в предварительную фазу 2 мм^3 и минимальным временем между предварительной и основной фазами 0,2 мс [7].

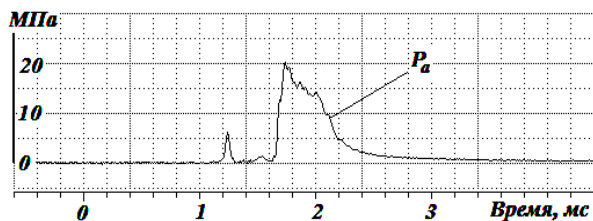


Рис. 4. Экспериментальная кривая изменения давления P_a в колодце распылителя форсунки с дифференциальным поршнем ($q_{ц} = 8,7 \text{ мм}^3$; $n_{дв} = 800 \text{ мин}^{-1}$) [11]

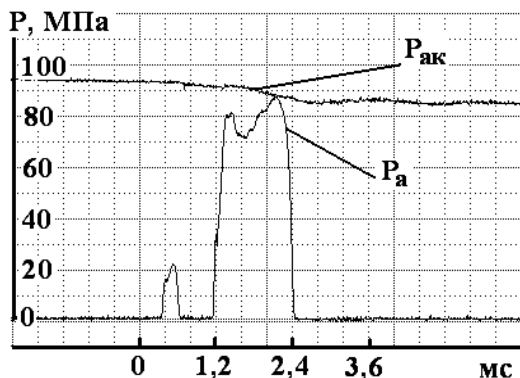


Рис. 5. Двухфазное впрыскивание ЭГФ ($P_{ак}$ — давление в гидроаккумуляторе; P_a — давление в колодце распылителя)

Выводы

Разработанная в КП ХКБД топливоподающая аппаратура непосредственного действия для высокооборотного малолитражного дизеля обеспечивает впрыскивание топлива с максимальным давлением до 100 МПа. С помощью данной ТПА возможно реализовать стратегию однофазного, ступенчатого и двухфазного впрыскивания. Данные показатели получены в результате внедрения следующих конструктивных решений:

- увеличение диаметра плунжера ТНВД с 6,5 до 8 мм;
- увеличения скорости перемещения плунжера ТНВД в период активного хода до 2,86 м/с;
- использования форсунки с дифференциальным поршнем для формирования необходимого закона топливоподачи и увеличения давления впрыскивания;
- использования двухпружинной форсунки;
- внедрения новой конструкции распылителя с диаметром иглы 3,5 мм и шестью распыливающими отверстиями диаметром 0,20 мм.

Для перспективного дизеля серии ДТНА2 создана топливная система с электронным управлением впрыскивания. Разработаны, изготовлены и прошли безмоторные испытания основные элементы данной

системы: электрогидравлическая форсунка с электромагнитным клапаном; топливный насос высокого давления; гидроаккумулятор. Аккумуляторная ТПА обеспечивает впрыскивание топлива под давлением от 18 до 140 МПа и гибкое, в зависимости от режима работы дизеля, изменение закона, начала и длительности топливоподачи.

Продолжаются работы, направленные на совершенствование ТПА. К таким работам относится: разработка новых устройств для привода управляющих клапанов, использующих обратный пьезоэффект и явление «гигантской» магнитострикции; разработка новых конструкций топливного насоса высокого давления и форсунки для аккумуляторной топливной системы.

Литература

1. Грицюк А.В. Основы создания отечественного малолитражного дизеля / А.В. Грицюк // Двигатели внутреннего сгорания. — Х.: ХПИ, 2007. — № 2. — С. 3-9.
2. Грицюк В.А. Совершенствование конструкции топливной системы автотракторного дизеля для улучшения ее работы в условиях зимней эксплуатации / В.А. Грицюк, В.Г. Кондратенко, Г.А. Щербаков // Двигатели внутреннего сгорания. — Х.: ХПИ, 2006. — № 1. — С. 109-114.
3. Врублевский А.Н. Многокритериальный синтез топливной системы с электронным управлением впрыскивания / А.Н. Врублевский, А.Л. Григорьев, А.В. Денисов // Двигатели внутреннего сгорания. — Х.: ХПИ, 2008. — № 1. — С. 91-98.
4. Врублевский А.Н. Принципы организации впрыскивания топлива при помощи электрогидравлической форсунки / А.Н. Врублевский, Ф.И. Абрамчук, Е.Ю. Зенкин // Автомобильный транспорт. — 2007. — № 21. — С. 119-124.
5. Особенности математического моделирования гидромеханических процессов ЭГФ / А.Н. Врублевский, А.Л. Григорьев, А.В. Грицюк, А.В. Денисов, Г.А. Щербаков // Двигатели внутреннего сгорания. — Х.: ХПИ, 2007. — № 1. — С. 44-52.
6. 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. — Х.: ХПИ, 2007. — № 2. — С. 43-47.
7. Результаты безмоторных испытаний дизельной электрогидравлической форсунки / А.В. Грицюк, Г.А. Щербаков, А.Н. Врублевский, А.В. Денисов // Двигатели внутреннего сгорания. — Х.: ХПИ, 2008. — № 2. — С. 91-97.
8. Грехов Л.В. Топливная аппаратура и системы управления дизелей: учебник для вузов / Л.В. Гре-

хов, Н.А. Иващенко, В.А. Марков. – М.: Легион – Автодата, 2004. – 344 с.

9. 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*. – Х., 2006. – Вып. 32. – С. 50-54.

10. 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*. – Х.: ХПИ, 2006. – № 2. – С. 97-101.

11. 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 международная науч.-практ. конф. Владим. гос. ун-т*. – Владимир, 2008. – С. 112-118.

12. 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*. – Х.: ХПИ, 2006. – № 2. – С. 79-84.

Поступила в редакцию 25.05.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Ф.И. Абрамчук, Харьковский национальный автомобильный университет, Харьков, Украина.

ЕТАПИ ЕВОЛЮЦІЇ ПАЛИВОПОДАЮЧОЇ АПАРАТУРИ ВІТЧИЗНЯНОГО ВИСОКОБОРОТНОГО МАЛОЛІТРАЖНОГО ДИЗЕЛЯ

С.О. Альохін, О.В. Грицюк, О.М. Врублевський, Г.О. Щербаков

Представлено десятирічний досвід розвитку паливоподаючої апаратури вітчизняного малолітражного дизеля від його вихорокамерної модифікації до дизеля з безпосереднім впорскуванням палива системою common rail. Показано, що при практично однакових габаритно-вагових характеристиках паливної апаратури діаметр плунжера збільшився з 6,5 до 8 мм, його максимальна швидкість – з 1,64 до 2,86 м/с, максимальний тиск впорскування – з 35 до 120 МПа. Роботи з удосконалювання процесів впорскування та розпилювання палива паливною апаратурою малолітражного дизеля продовжуються.

Ключові слова: високооборотний малолітражний дизель, паливоподаюча апаратура, акумуляторна паливна система, електрогідравлічна форсунка, електронне управління.

STAGES OF EVOLUTION FUEL-DELIVERY EQUIPMENT OF A DOMESTIC HIGH-SPEED LOW-CAPACITY DIESEL ENGINE

S.A. Alyokhin, A.V. Grytsyuk, A.N. Vrublevskij, G.A. Scherbakov

Ten years' experience of development of a fuel-delivery equipment of a domestic low-capacity diesel engine from its swirl-chamber modification to updating up to a diesel engine with a direct fuel injection by the system common rail is presented. It is shown, that at practically identical weight-dimension characteristics of the fuel equipment the plunger diameter increased from 6,5 up to 8 mm, its maximal speed – from 1,64 up to 2,86 m/s, the maximal injection pressure – from 35 up to 120 MPa. Works on improvement of processes of injection and atomization of fuel by the fuel equipment of a low-capacity diesel engine are being continued.

Key words: high-speed low-capacity diesel engine, fuel-delivery equipment, accumulator fuel system, electrohydraulic injector, electronic control.

Алехин Сергей Алексеевич - кандидат технических наук, Генеральный конструктор, Казённое предприятие "Харьковское конструкторское бюро по двигателестроению", Харьков, Украина, e-mail: hkbd@kharkov.ukrtel.net.

Грицюк Александр Васильевич - кандидат технических наук, заместитель Генерального конструктора по научно-исследовательской работе, Казённое предприятие "Харьковское конструкторское бюро по двигателестроению", Харьков, Украина, e-mail: hkbd@kharkov.ukrtel.net.

Врублевский Александр Николаевич - кандидат технических наук, доцент кафедры "ДВС" Харьковского национального автомобильного университета, Харьков, Украина

Щербаков Григорий Александрович - начальник отдела, Казённое предприятие "Харьковское конструкторское бюро по двигателестроению", Харьков, Украина, e-mail: hkbd@kharkov.ukrtel.net.