

Мешков Д.В., аспирант, Прохоренко А.А., к.т.н.

НТУ «ХПИ», г. Харьков

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ОПЫТНОЙ АККУМУЛЯТОРНОЙ ТОПЛИВНОЙ СИСТЕМЫ

В статье рассматривается структура и элементы автоматизированного комплекса для исследования аккумуляторной топливной системы типа Common Rail, разрабатываемой в настоящее время на кафедре ДВС НТУ «ХПИ». Описывается алгоритм работы и концепция интерфейса программного обеспечения автоматизированного комплекса для безмоторного испытательного стенда.

Введение

Вступление в силу на территории Украины европейских норм токсичности вредных выбросов (ВВ) с отработавшими газами (ОГ) двигателей внутреннего сгорания (ДВС) вынуждает отечественные двигателестроительные предприятия искать возможность значительного улучшения экологических и экономических показателей выпускаемых двигателей. Одним из наиболее эффективных мероприятий по значительному снижению ВВ с ОГ дизелей, уменьшению расхода топлива и шума работы двигателя является использование аккумуляторной топливной аппаратуры (АТА) с электронным управлением. Достоинствами данной системы является возможность значительного улучшения характеристик дизеля за счет повышенного давления впрыскивания топлива, оптимального управления работой топливной аппаратуры (ТА) в зависимости от режима работы двигателя, а также возможность осуществления многофазного впрыскивания топлива [1].

На кафедре ДВС Национального технического университета «ХПИ» с 2004 года ведутся работы по созданию оригинальной конструкции АТА с электронным управлением [2]. Отличительной особенностью данной ТА является использование в качестве исполнительного механизма быстродействующего линейного пьезодвигателя, что позволяет значительно снизить энергопотребление и повысить точность позиционирования исполнительного механизма при относительной простоте управляющих элементов и их конструкции.

В настоящее время работоспособность опытной АТА проверена с помощью математической модели, разработанной учеными кафедры ДВС НТУ «ХПИ» [3]. По результатам моделирования работы АТА и на основе результатов испытаний автотракторного дизеля 4СН12/14, полученных при помощи автоматизированного исследовательского комплекса для испытаний ДВС [4], выбраны рациональные значения конструктивных и регулировочных параметров опытной АТА с электронным управлением.

Для проверки адекватности выбранных конструктивных и регулировочных параметров, а также для дальнейшего совершенствования конструкции опытной АТА с электронным управлением, необходимо создание безмоторного комплекса для ее испытаний. Так как гидравлические и механические процессы в АТА протекают с большой скоростью, то одним из основных требований к исследовательскому комплексу является необходимость применения быстродействующей регистрирующей аппаратуры с возможностью получения результатов регистрации в виде многомерных массивов значений.

Анализ литературы показал, что существует два основных типа испытательных комплексов для дизельной АТА: диагностические и исследовательские.

Диагностические комплексы предназначены для диагностики и ремонта эксплуатируемых образцов АТА и выпускаются, главным образом, для оснащения станций технического обслуживания [5]. Достоинством данных комплексов является универсальность, т.е. возмож-

ность диагностики и регулировки практически всех образцов ТА ведущих производителей. Недостатки: невозможность проведения с помощью таких стендов исследовательской работы, получение только нескольких, фиксированных параметров работы ТА, высокая стоимость.

Исследовательские комплексы получили свое распространение по большей части в научно-исследовательских центрах ведущих производителей дизельной ТА, университетах, специализированных фирмах [6]. Признанным лидером среди производителей исследовательского оборудования является австрийская фирма AVL. По своей структуре данные комплексы, в зависимости от целей исследований, могут иметь различное исполнение. Несмотря на это, можно выделить несколько основных элементов, которые присутствуют во всех подобных исследовательских испытательных комплексах: топливный насос высокого давления (ТНВД), аккумулятор топливный (АТ), топливные форсунки с электронным управлением, соединительные трубопроводы, электронный блок управления, датчики, усилители сигналов, аналого-цифровой преобразователь (АЦП). Основными задачами такого комплекса является: определение дифференциальной характеристики впрыскивания и получение зависимости величины впрыскиваемого топлива от продолжительности управляющего импульса. Исследовательские комплексы выпускают также такие фирмы, как Denso (Япония), Siemens (Германия), Bosch (Германия). Основное применение данные комплексы находят в научно-исследовательских отделах этих же фирм, и поэтому их свободное приобретение является порой невозможным. Университеты, которые работают в направлении исследования АТА с электронным управлением, создают такие комплексы самостоятельно, приобретая отдельно лишь некоторые, стандартно выпускаемые, элементы. При всех достоинствах зарубежных исследовательских комплексов они обладают одним существенным недостатком – чрезмерно высокой стоимостью, что делает их применение на предприятиях и в научно-исследовательских частях университетов Украины практически невозможным.

Цель статьи – рассмотреть структуру и элементы автоматизированного комплекса для исследования АТА и сформировать структуру, алгоритм работы и концепцию интерфейса программного обеспечения (ПО).

Описание состава комплекса

Схема стенда представлена на рис. 1. Предлагаемый комплекс комплектуется на отдельной сварной раме, которая должна быть надежно заземлена. На рисунке позициями обозначено: 1 – топливный бак; 2 – ТНВД; 3 – электропривод ТНВД; 4 – аккумулятор топливный; 5 – топливная форсунка; 6 – управляющий клапан с пьезоприводом; 7 – датчик давления топлива; 8 – регулятор давления в дренажной полости; 9 – датчик давления топлива в аккумуляторе; 10 – регулировочный клапан давления топлива в аккумуляторе; 11 – линия высокого давления; 12 – дренажная полость; 13 – линия низкого давления; 14 – топливоподкачивающий насос; 15 – топливный фильтр; 16 – стеклянная колба для визуализации процесса распыливания топлива; 17 – аккумуляторная батарея; 18 – электронный блок управления (ЭБУ); 19 – тахограф; 20 – датчик частоты вращения; 21 – задатчик частоты вращения коленчатого вала; 22 – реостат регулировочный; 23 – блок усилителей; 24 – АЦП; 25 – компьютер; 26 – манометр; 27 – охладитель дренажного топлива.

Как было указано выше, для создания данного комплекса использованы некоторые серийно выпускаемые детали и узлы ТА ведущих мировых производителей. Это ТНВД, топливная форсунка, датчик давления топлива, регулировочный клапан давления топлива в аккумуляторе, ЭБУ, топливные фильтры и трубопроводы высокого давления. Кроме того, серийно выпускаемыми элементами являются электродвигатели, аккумуляторная батарея, кабели и соединительные клеммы.

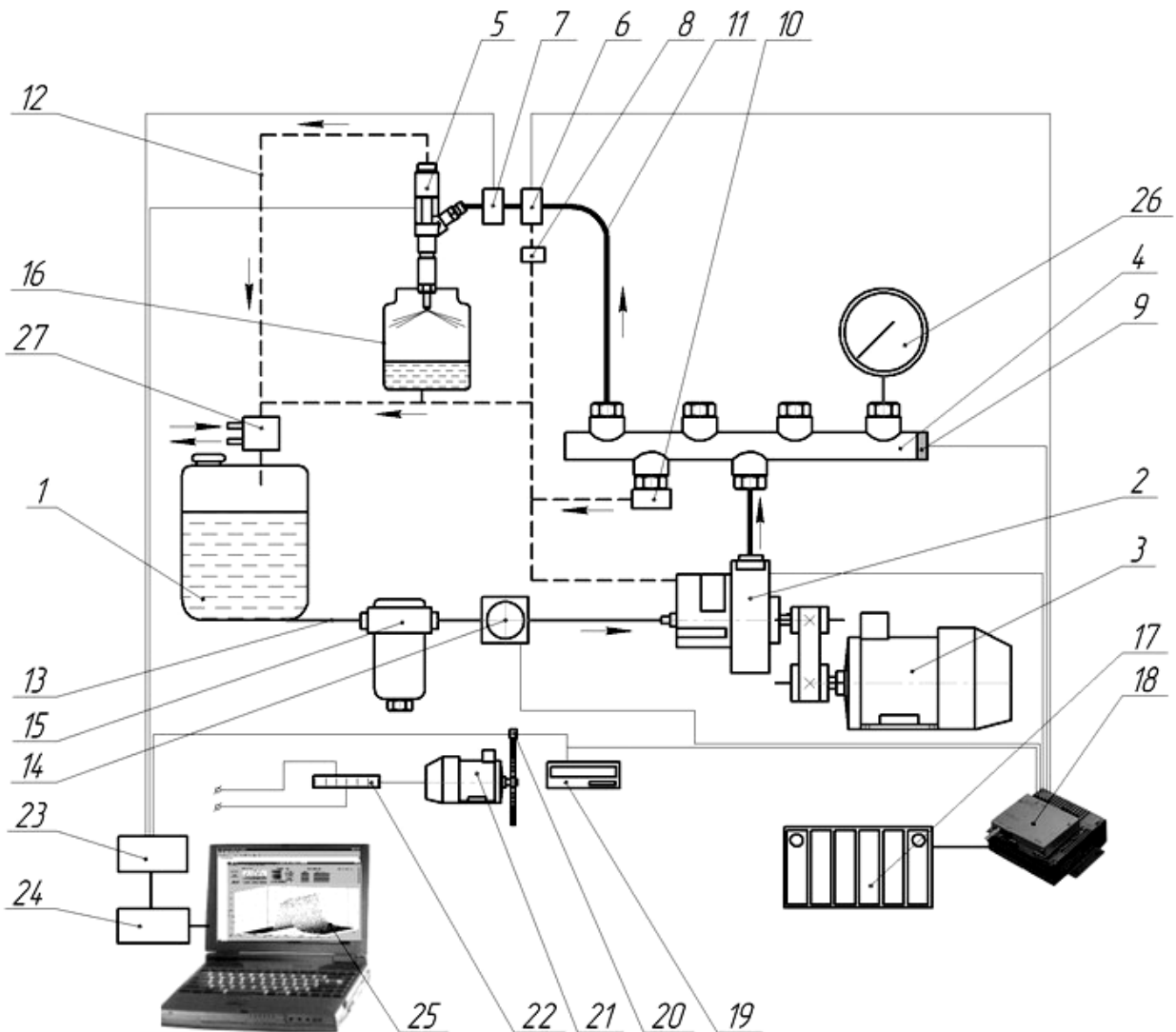


Рис.1. Схема автоматизированного комплекса

Комплектующие элементы комплекса

ТНВД предназначен для подачи топлива в аккумулятор под заданным давлением, на всех режимах работы дизеля. В данной системе насос постоянно нагнетает топливо под высоким давлением. В современных аккумуляторных системах для этих целей в основном используется радиально-плунжерный ТНВД. В данном комплексе ТНВД приводится во вращение с помощью электродвигателя через ременную передачу. Передаточное отношение выбирается таким образом, чтобы обеспечить $1/2 \dots 1/3$ частоты вращения коленчатого вала [1]. На начальном этапе создания опытной АТА автотракторного дизеля будет использован серийный радиально-плунжерный ТНВД производства фирмы Bosch.

Топливная форсунка. В опытной АТА используется серийно выпускаемая гидромеханическая форсунка ФД-22 с установленным быстродействующим управляющим клапаном с пьезоприводом.

Датчик давления топлива предназначен для измерения давления топлива в аккумуляторе высокого давления. Точное поддержание заданного давления имеет большое значение для электронного управления топливоподачей и соблюдения уровня выбросов ВВ с ОГ. Точность регистрации значений давления топлива в области основных режимов работы дизеля составляет не более 2% от диапазона измерений.

Клапан регулирования давления устанавливает заданную величину давления топлива в аккумуляторе высокого давления в зависимости от режима работы двигателя. В случае превышения допустимого значения давления топлива для данного режима работы дизеля либо при изменении режима работы клапан используется для резкого стравливания давления и слива топлива через магистраль обратного слива в топливный бак. При падении давления в аккумуляторе клапан закрывается и размыкает полости высокого и низкого давления. В комплексе использован датчик давления топлива и клапан регулирования давления производства фирмы Bosch от серийного двигателя Mercedes Benz E320 CDI (OM613).

ЭБУ представляет собой печатную плату с электронными компонентами, помещенными в металлическом корпусе. Необходимым условием является наличие в ЭБУ модуля программируемой Flash-памяти.

Работа комплекса

Комплекс работает следующим образом. Топливо забирается из топливного бака 1 топливоподкачивающим насосом 14 и, проходя через фильтр тонкой очистки 15, подается под давлением 0,15...0,25 МПа во внутренние полости ТНВД 2. Привод ТНВД осуществляется с помощью электродвигателя с электропитанием от постороннего источника. В ТНВД производится повышение давления топлива до заданной величины (40...140 МПа), под которым топливо затем подается в топливный аккумулятор 4, откуда по линиям высокого давления 11 распределяется к топливным форсункам 5 с управляющими клапанами 6. Топливо впрыскивается в специальную стеклянную колбу 16, что позволяет визуализировать процесс топливоподачи и оценить качество распыливания. Из колбы 16 топливо поступает обратно в топливный бак.

В силу того, что не поданное через форсунку топливо, проходя через полости ТНВД и топливной форсунки, значительно нагревается, в дренажной полости предусмотрено охлаждение сливаемого топлива 27 для исключения влияния температуры подаваемого топлива на характеристику впрыскивания.

Так как в опытной АТА предусмотрена резкая отсечка впрыскиваемого топлива, в дренажной полости топливной форсунки 5 установлен регулятор давления в полости 8. Изменением силы предварительной затяжки пружины регулятора варьируется величина остаточного давления топлива в отечной магистрали.

Регистрация данных осуществляется с помощью следующих датчиков:

1. Датчик давления топлива на входе в топливную форсунку производства австрийской фирмы AVL 5QP6002. Данный датчик применяется специально для точного измерения давления в ТА дизелей и гидросистемах. Отличительной особенностью данного датчика являются небольшие размеры, простота конструкции, минимальное мерное пространство и высокая стабильность характеристик чувствительности. Краткая характеристика данного датчика представлена в табл. 1, внешний вид на рис. 2.

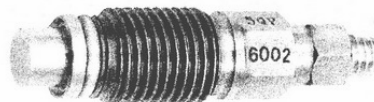


Рис.2. Датчик давления топлива AVL 5QP6002

2. Индукционный датчик движения иглы распылителя топливной форсунки, смонтированный непосредственно в корпусе форсунки. Сигнал датчика усиливается при помощи промышленного усилителя 8АНЧ-23.

3. Датчик давления топлива в топливном аккумуляторе. Сигнал с этого же датчика используется микроконтроллером для выработки оптимальной продолжительности управляющего воздействия.

4. Оптический либо индуктивный датчик углового положения коленчатого вала и положения вала в верхней мертвой точке (ВМТ).

Также как и сигнал датчика давления топлива в аккумуляторе, сигнал с датчика углового положения коленчатого вала подается и на вход ЭБУ для дальнейшей обработки. При исследованиях его сигнал используется для синхронизации момента начала и продолжительности топливоподачи относительно ВМТ. Данный датчик вырабатывает сигнал при взаимодействии с зубчатым колесом, приводимым во вращение электродвигателем 21, что моделирует вращение коленчатого вала дизеля. На начальном этапе решено осуществлять отдельный привод ТНВД и зубчатого колеса. Данное мероприятие позволит в дальнейшем выработать комплекс рекомендаций относительно рационального соотношения частот вращения коленчатого вала и вала ТНВД.

Таблица 1

Характеристики датчика AVL 5QP6002

Параметр	Значение
Динамический диапазон измерений, МПа	0...140
Чувствительность, нК/бар	0,23
Разрешающая способность, МПа	0,002
Внутренняя емкость, нФ	1,5
Собственная частота, кГц	220
Затухание, Δ	1,1
Чувствительность к ускорениям, МПа/g	0,01
Линейность, %	<± 0,8
Вес, г	13,5
Внутреннее сопротивление, Ом	> 10 ¹³
Максимально допустимая температура, °С	200
Изменение чувствительности, %/°С	± 0,01

Преобразование сигналов из аналоговой в цифровую форму осуществляется с помощью АЦП. В качестве АЦП использована плата L-Card 783-86 производства фирмы L-Card (Россия). Значения некоторых параметров АЦП приведены в таблице 2.

Наиболее важным параметром является значение величины максимальной частоты преобразования платы, т.к. при данной конфигурации схемы АЦП при увеличении числа подключаемых каналов частота обработки каждого сигнала значительно уменьшается [4]. Поэтому для гарантированной регистрации параметров при номинальной частоте вращения коленчатого вала $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ при обработке сигналов четырех каналов требуется частота преобразования не менее 100 кГц/канал.

Работа опытной АТА осуществляется под управлением ЭБУ. Первичная матрица управляющих значений сформирована по результатам стендовых испытаний двигателя 4ЧН 12/14. Исходными данными для определения значения управляющего воздействия являются сигналы от датчиков: углового положения коленчатого вала и ВМТ, давления топлива в аккумуляторе и сигнал о массовом расходе воздуха, который задается программно.

Запись сигналов производится с помощью лицензионного программного обеспечения PowerGraph версии 3.2 Professional. Кроме того, применение PowerGraph позволяет визуализировать измеряемый процесс.

ПО InjectorAnalyse, разработанное учеными кафедры ДВС НТУ «ХПИ», используется для обработки результатов измерений. ПО имеет следующую структуру алгоритма: сбор дан-

ных, обработка и сохранение результатов работы программы в виде многомерных массивов данных, пригодных для последующего анализа и обработки в математическом пакете Matlab.

Таблица 2

Характеристики платы L-Card 783-86

Параметр	Значение
Количество каналов	16/32
Разрядность АЦП	12 бит
Эффективная разрядность (вх. сигнал – синус 10 кГц / 4,9 В)	11,7 бит (частота преобразования - 2,8 МГц)
Входное сопротивление при одноканальном вводе	не менее 1 МОм
Диапазон входного сигнала	$\pm 5 В, \pm 2,5 В, \pm 1,25 В, \pm 0,6 В$
Максимальная частота преобразования	3 МГц
Синхронизация	внешний синхросигнал, по уровню аналогового сигнала
Защита входов	$\pm 25 В$ (питание вкл.) $\pm 10 В$ (питание выкл.)
Межканальное прохождение	-62 дБ (входной сигнал – синус / 100 кГц)

Выводы

1. Выполнен выбор и дано обоснование структуры и элементов автоматизированного комплекса для исследования АТА, в котором для регистрации и обработки данных используется быстродействующее исследовательское оборудование;
2. Даны рекомендации относительно компоновки стенда и его элементов;
3. Сформирована структура, алгоритм работы и концепция интерфейса программного обеспечения InjectorAnalyse, интегрированного в математический пакет Matlab.

Список литературы

1. Грехов Л.В. Топливная аппаратура дизелей с электронным управлением: Учебно-практическое пособие. – М.: Легион-Автодата, 2003.-176 с.
2. Пат. 9799 У Украина, F02M51/06, F02M47/00. Паливний інжектор / Коваль В.С., Лаврінченко В.В., Марченко А.П., Мешков Д.В., Хорунжий В.М. – № u200503134; Заявл. 05.04.2005; Опубл. 17.10.2005, Бюл. № 10.
3. Марченко А.П., Прохоренко А.А., Мешков Д.В., Математическое моделирование процессов в электрогидравлической форсунке системы Common Rail в среде MATLAB/Simulink // Двигатели внутреннего сгорания. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. – №1. – С.98-101.
4. Марченко А. П., Прохоренко А.А., Мешков Д. В., Универсальный автоматизированный стенд для испытаний ДВС // Вісник Національного технічного університету „Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ „ХПІ”. – 2006. – С.119-126.
5. Diesel-Speichereinspritzsystem Common Rail. Technische Unterrichtung. Gelbe Reihe Bosch. Robert Bosch GmbH. -2002. - 49 с.
6. Pischinger R. Indizieren am Verbrennungsmotor // Anwenderhandbuch // Institutes für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik der Technischen Universität Graz. – 2000. – 108 S.

Стаття надійшла до редакції 18.04.07
© Мешков Д.В., Прохоренко А.О., 2007