

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ И ДОВОДКИ ГАЗОВОГО МАЛОЛИТРАЖНОГО БЫСТРОХОДНОГО ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

**А.Н. Туренко, профессор, д.т.н., Ф.И. Абрамчук, профессор, д.т.н.,
А.Н. Пойда, профессор, д.т.н., А.А. Дзюбенко, А.П. Кузьменко,
Г.В. Майстренко, аспиранты, ХНАДУ**

***Аннотация.** Рассмотрены вопросы создания автоматизированного стенда для проведения работ по исследованию рабочих процессов двигателя, направленных на создание малолитражного экологически чистого двигателя внутреннего сгорания (ДВС). Используются принципы построения ранее разработанной автоматизированной системы исследования, с рядом дополнительных устройств для управления подачей топлива и углом опережения зажигания (УОЗ).*

***Ключевые слова:** испытательный стенд, автоматизированная система, газовый двигатель, блок управления зажиганием.*

Введение

Истощение нефтяных месторождений, повышение мировых цен на нефть, постоянное ужесточение требований к экологическим показателям транспортных средств вынуждают искать замену традиционному нефтяному топливу. Сжатый природный газ является одним из наиболее эффективных альтернативных видов топлива [1]. Во всем мире происходит перевод парка двигателей, работающих на жидком нефтяном топливе, на сжатый природный газ [2 – 4]. Для исследования и доводки параметров рабочего процесса двигателя и систем его управления необходим специальный стенд, который позволит измерять все необходимые параметры, определяющие индикаторные и эффективные показатели работы двигателя.

Прогресс в области электроники, появление многоканальных быстродействующих аналого-цифровых преобразователей (АЦП) значительно расширили возможности современных аппаратных средств. Особенно большой толчок в исследовательских работах дало использование автоматизированных систем на базе персональных компьютеров (ПК). Открылись большие возможности в оперативной регистрации и обработке быстроизменяющихся процессов поршневых ДВС.

Анализ публикаций

В настоящее время накоплен значительный опыт создания специальных стендов для доводки газовых двигателей [5 – 7]. Такие стенды рассчитаны на испытания ДВС, оборудованы классическими системами топливopодачи и зажигания, которые дают возможность ручного управления параметрами при снятии регулировочных характеристик. При создании газового ДВС с микропроцессорным управлением возникают дополнительные проблемы со снятием регулировочных характеристик. Микропроцессорные системы управления, которыми оснащены современные двигатели, не позволяют изменять коэффициент избытка воздуха и угол опережения зажигания (УОЗ) в ручном режиме. Поэтому поставлена задача дополнительно разработать ряд устройств, которые позволят изменять количество топлива и УОЗ в широком диапазоне, не изменяя характеристических карт микропроцессорной системы управления.

Цель и постановка задачи

Серийно выпускаемый в настоящее время ХРП «АвтоЗАЗ-Мотор» ЗАО «ЗАЗ» и устанавливаемый на автомобили Sens двигатель МеМЗ-307 эксплуатируется на бензине

АИ-95. В серийном исполнении: диаметр цилиндра – 75 мм; ход поршня – 73,5 мм; степень сжатия – 9,8; эффективная мощность – 51,5 кВт при частоте вращения 5200 мин⁻¹. Микропроцессорная система управления двигателем «Микас 10.3».

В данной работе поставлена задача создания автоматизированного стенда для исследования рабочего процесса двигателя, который конвертирован для работы на сжатом природном газе. Для выбора и обоснования параметров рабочего процесса необходим полный комплекс измерительной аппаратуры, удовлетворяющий следующим требованиям:

- возможность работы на бензине и на сжатом природном газе;
- возможность управления составом рабочей смеси, как при работе на бензине, так и на природном газе;
- возможность принудительного управления величиной угла опережения зажигания;
- измерение момента сопротивления на валу двигателя во всем диапазоне изменения частоты вращения ($n = 800 \dots 5590 \text{ мин}^{-1}$);
- регистрация давления в цилиндре двигателя (индикаторная диаграмма) с последующим определением индикаторных показателей;
- регистрация расхода воздуха и топлива;
- поддержание стабильного температурного режима двигателя.

Кроме того, автоматизированная система исследования должна обеспечивать сбор экспериментальных данных для оперативной обработки и набора базы данных.

Структурная схема стенда

Для возможности плавного изменения момента сопротивления на валу двигателя при проведении испытаний стенд оборудован электрическим нагрузочным устройством МПБ-100 1 (рис. 1). Для передачи мощности от двигателя к балансирной машине используется механическая коробка передач ВА3- 2103, которая позволяет работать в широком диапазоне частот вращения коленчатого вала двигателя, а также карданной передачи. Стенд оборудован дополнительным воздушным вентилятором 15, а также дополнительным теплообменником 7, при помощи которых можно моделировать температурный режим, максимально приближенный к реальным условиям эксплуатации. С той же целью на стенде установлен глушитель шума

и резонатор от штатной системы выпуска отработавших газов автомобиля Sens. Для изменения сопротивления выпускной системы предусмотрена заслонка 33.

Для исследования работы двигателя на альтернативных газообразных видах топлива стенд оборудован газовой системой 4-го поколения, которая включает в себя: каскад баллонов 5 с запасом газа, двухступенчатый газовый редуктор 10, магистраль высокого и низкого давления, газовую рампу с форсунками 16, блок управления газовой системой 18. Для выбора вида топлива на панели пульта управления 22 предусмотрен переключатель 31.

Исследования в области эргономики рабочего места оператора [9] показывают, что наибольшую информативность для человека несет визуальное наблюдение за низкочастотным процессом, поэтому в качестве регистрирующих приборов используются демпфированные стрелочные измерители (8, 11, 13, 30, 39), а также светоизлучающие цифровые индикаторы (23 – 28).

Синтез системы автоматического сбора данных

Основной задачей системы автоматического сбора данных (САСД) является обеспечение исследования набором данных, характеризующих ход протекания эксперимента. Для экспериментов различного рода необходимо охватить достаточно много параметров. А построение многоканальной измерительной системы для сигналов различного рода является трудоемкой и дорогостоящей работой. Поэтому, используя опыт, полученный при построении автоматизированной системы исследования двигателей [8], для построения САСД было решено использовать альтернативные функции электронного блока управления (ЭБУ).

На двигателе МеМЗ-307 установлен ЭБУ «Микас-10.3», который, кроме основной функции управления, имеет встроенные функции мониторинга и диагностики. Используя ПК со специальным программным обеспечением (ПО) и устройство связи (K-line адаптер) (рис. 2), производится опрос ЭБУ, получая текущие значения сигналов датчиков и управляющих воздействий.

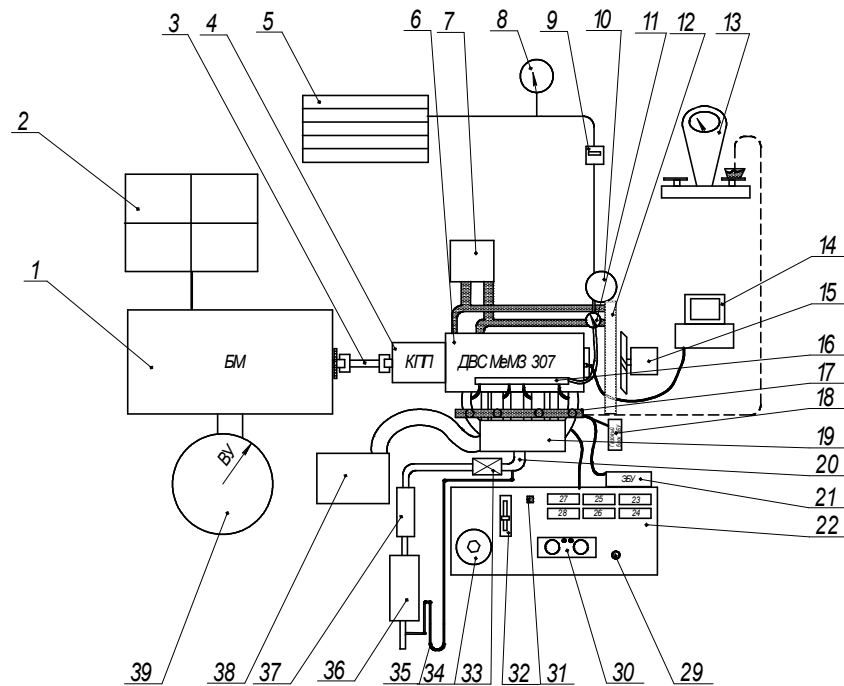


Рис. 1. Структурная схема моторного стенда на базе двигателя MeMZ-307: 1 – балансирная машина; 2 – набор сопротивлений; 3 – карданная передача; 4 – коробка передач ВА3-2103; 5 – запас газового топлива; 6 – двигатель MeMZ-307; 7 – водяной теплообменник; 8 – манометр; 9 – расходомер газа; 10 – двухступенчатый газовый редуктор; 11 – манометр; 12 – радиатор двигателя; 13 – весы для измерения расхода жидкого топлива; 14 – измерительно-вычислительный комплекс; 15 – вентилятор; 16 – газовая рампа с форсунками; 17 – бензиновая рампа с форсунками; 18 – ЭБУ газовой системы; 19 – впускной коллектор; 20 – выпускной коллектор; 21 – ЭБУ двигателя; 22 – пульт управления; 23 – прибор для измерения температуры ОЖ; 24 – прибор для измерения температуры масла; 25 – прибор для измерения температуры ОГ; 26 – прибор для измерения давления масла в системе смазки; 27 – прибор для измерения частоты вращения коленчатого вала; 28 – прибор для измерения частоты вращения ротора балансирной машины; 29 – замок зажигания; 30 – приборная панель автомобиля; 31 – переключатель вида топлива; 32 – рукоятка для управления дроссельной заслонкой; 33 – устройство для изменения сопротивления выпускной системы; 34 – устройство для управления нагрузкой на ДВС; 35 – прибор для измерения сопротивления выпускной системы; 36 – глушитель шума; 37 – резонатор; 38 – расходомер воздуха; 39 – весовое устройство для измерения нагрузки

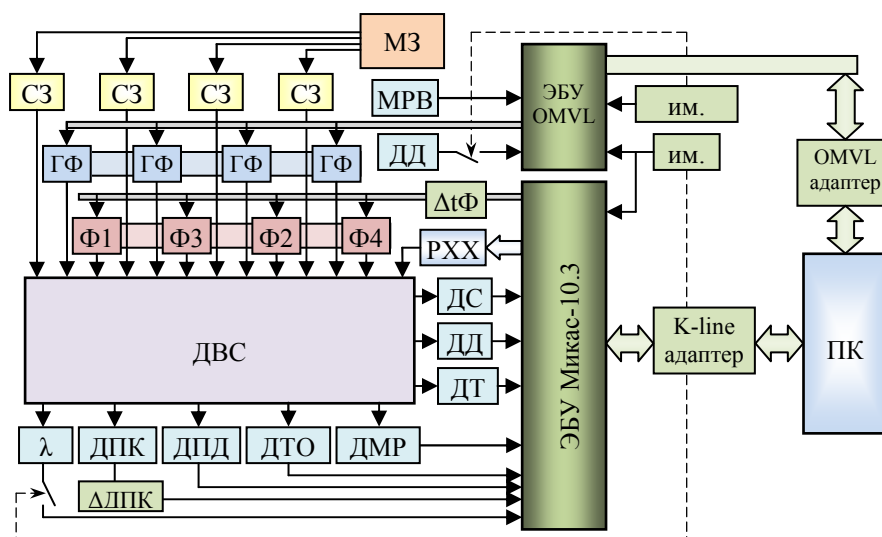


Рис. 2. Структурная схема САСД

Кроме того, ПО позволяет использовать и функцию диагностики для быстрого поиска и устранения неисправностей.

Система управления впрыском газа использует ЭБУ OMVL, который также имеет функцию мониторинга и подключается к ПК посредством специального OMVL адаптера. САСД позволяет получать следующие параметры:

- частота вращения коленчатого вала двигателя (мин^{-1});
- положение дроссельной заслонки (%);
- угол опережения зажигания (град. п.к.в.);
- длительность импульса впрыска топлива (мс);
- массовый расход воздуха (кг/ч);
- давление во впускном коллекторе (мм р. ст.);
- температура охлаждающей жидкости ($^{\circ}\text{C}$);
- температура воздуха ($^{\circ}\text{C}$);
- расчетный часовой расход топлива (л/ч);
- расчетный путевой расход топлива (л/100км);
- скорость автомобиля (км/ч);
- напряжение бортовой сети (В);
- фактическое положение шагового мотора РХХ (шаг);
- напряжение на датчике кислорода (В);
- время накопления импульса зажигания (мс);
- температура газа в редукторе ($^{\circ}\text{C}$);
- температура газа в рампе ($^{\circ}\text{C}$);
- давление газа в рампе (Па);
- время открытия газовой форсунки (мс).

Частота опроса ЭБУ составляет 5 Гц, что, в связи с инерционностью двигателя, вполне достаточно для записи перечисленных параметров не только для статических, но и для переходных режимов.

Синтез программно-аппаратного измерительного комплекса

Задачей измерительного комплекса является регистрация быстротекущих процессов ДВС. В диагностических целях для этого в основном используют осциллограф, но для исследования ДВС, в особенности на переходных режимах, требуются наборы статистических данных подряд записанных циклов. Кроме того, количество требуемых параметров зачастую превышает количество каналов осциллографов общего применения.

Одним из таких параметров является кривая изменения давления в цилиндре (индикаторная диаграмма), что даёт наглядное представление о протекании параметров состояния рабочего тела в течение цикла. Для обработки индикаторная диаграмма должна сопровождаться различными метками синхронизации, такими как верхняя мертвая точка (ВМТ), нижняя мертвая точка (НМТ), момент зажигания (МЗ) и т.п. Поэтому для разработки измерительного комплекса было решено использовать многоканальное устройство ввода, вывода и обработки аналоговой и цифровой информации в персональных компьютерах на базе платы L-783 (ЗАО «Л-Кард»).

Технические характеристики платы L-783:

- интерфейс связи PCI;
- 16 дифференциальных каналов или 32 канала с общей землей для аналогового ввода;
- максимальная частота работы 12-битного АЦП – 2857(3300) кГц;
- два входа для внешней синхронизации при вводе сигнала;
- порт цифрового ввода/вывода, имеющий 16 входных и 16 выходных линий;
- диапазоны входного сигнала $\pm 5\text{ В}$, $\pm 2,5\text{ В}$, $\pm 1,25\text{ В}$, $\pm 0,625\text{ В}$.

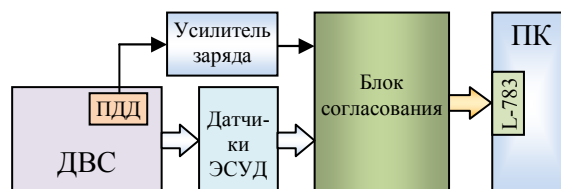


Рис. 3. Структурная схема измерительного комплекса

Структурная схема измерительного комплекса представлена на рис. 3. Здесь сигналы штатных датчиков ЭСУД и пьезоэлектрического датчика давления (ПДД) через усилитель заряда поступают на блок согласования, в котором происходит преобразование и нормирование сигналов по уровню, во избежание превышения предельно-допустимых значений по входу устройства ввода-вывода. Далее посредством АЦП сигналы оцифровываются и поступают в компьютер. В качестве программного обеспечения ПК используется программа Power Graph, которая имеет расширенные функции предварительной настройки. Это позволяет настроить канал измерения давления на отображения сигнала в

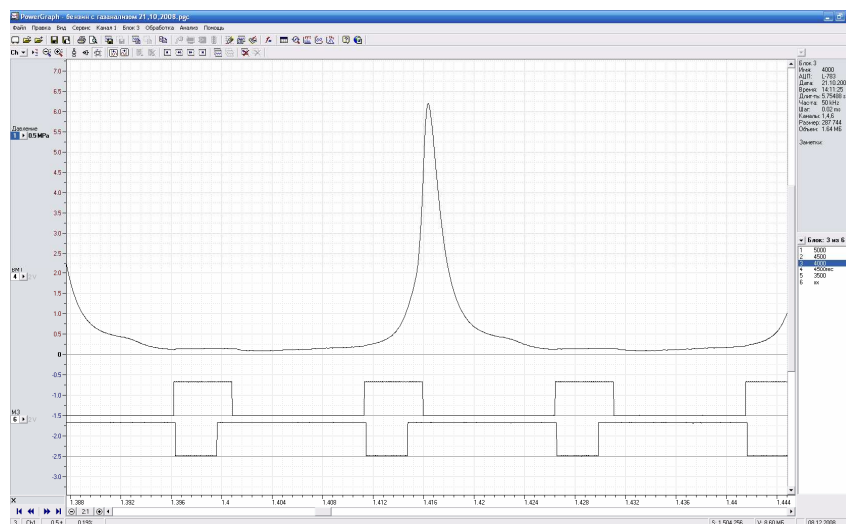


Рис. 4. Фрагмент работы программно-аппаратного измерительного комплекса

МПА для адекватного восприятия получаемых данных во время эксперимента. Для установки датчика давления в первом цилиндре головки цилиндров был выполнен специальный канал. Обеспечение стабильного температурного режима датчика достигается принудительным водяным охлаждением. Пример работы программно-аппаратного комплекса представлен на рис. 4.

Обоснование и разработка дополнительных устройств стенда

Для работы ДВС на обедненных смесях, а также для доводки параметров рабочего процесса двигателя при работе на газовом топливе, необходимо обеспечить возможность принудительного управления количеством топлива в составе топливоздушной смеси и углом опережения зажигания. Для этого на стенде задействован целый ряд способов и устройств.

Применение ЭБУ не дает возможности управлять бензовоздушной смесью в ручном режиме, а изменение программы блока, во-первых, приводит к нарушению заводских настроек, во-вторых, не позволяет изменять коэффициент избытка воздуха динамически непосредственно во время эксперимента. Поэтому было разработано устройство, в задачи которого входит измерение текущего времени впрыска, динамическое изменение времени впрыска на заданную величину, отображение информации о текущих параметрах. Устройство ($\Delta t\Phi$, рис. 2) включено в разрыв цепи управления клапанами форсунок и обеспечивает дискретное изменение текущего времени впрыска в пределах $\pm 20\%$.

Для нормального функционирования устройства управления топливоподачей необходимо использовать имитатор датчика кислорода («им. λ »), чтобы исключить коррекцию электронного блока по сигналу обратной связи с датчика кислорода. Имитатор отключает датчик и на вход ЭБУ подает сигнал, что коэффициент избытка воздуха, находится в пределах 1.

Контроллер газовой системы OMVL производит коррекцию времени открытия газовых форсунок (ГФ, рис. 2.) по сигналу датчика давления в газовой рампе (ДДГ). Принудительное управление газозвушной смесью обеспечивается на двух уровнях: первый – установкой необходимого давления в газовой рампе при помощи редуктора, второй – отключением штатного ДДГ и подачей сигнала с имитатора датчика давления («им. ДДГ») на вход ЭБУ. Такой способ управления охватывает широкий диапазон изменения коэффициента избытка воздуха и позволяет производить оперативные воздействия во время эксперимента.

Синхронизация работы двигателя и ЭСУД производится по сигналу датчика положения коленчатого вала (ДПКВ). Из всех управляющих воздействий электронного блока только момент зажигания имеет жесткую привязку к положению КВ. Используя этот фактор, разработан вариатор сигнала ДПКВ (АДПКВ, рис. 2), который включается в разрыв цепи датчика и позволяет смещать сигнал ДПКВ на заданный угол.

Основными задачами вариатора являются измерение параметров сигнала ДПКВ, фор-

мирование сигнала приемлемой для ЭБУ амплитуды и формы со смещением на заданный угол, обеспечение динамической работы системы, измерение и отображение УОЗ на входе и на выходе системы. Пример работы вариатора приведен на рис. 5, где *A* – оцифрованный сигнал штатного датчика, *B* – напряжение на первичной обмотке катушки зажигания 1/4 цилиндров, *C* – сигнал вариатора ДПКВ, $\Delta\phi$ – угол смещения сигнала, $\theta_{\text{вх}}$ – УОЗ на входе системы (подразумевается угол относительно сигнала вариатора), $\theta_{\text{вых}}$ – УОЗ на выходе системы (угол относительно сигнала датчика).

$$\theta_{\text{вых}} = \theta_{\text{вх}} + \Delta\phi.$$

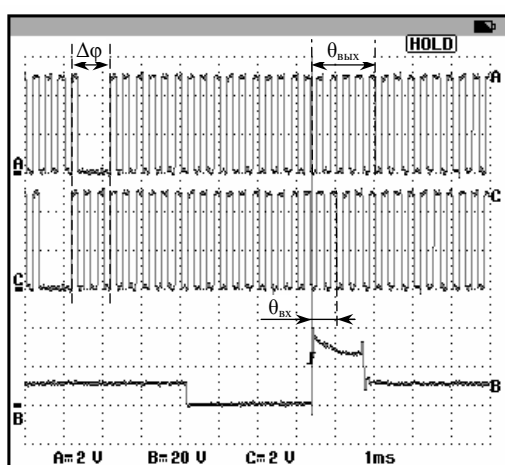


Рис. 5. Пример работы вариатора сигнала ДПКВ

Таким образом, вариатор сигнала ДПКВ позволяет получать УОЗ, смещенный на угол $\Delta\phi$. Диапазон смещения составляет $\pm 18^\circ$ с дискретностью в 1° .

Выводы

В газовой лаборатории кафедры ДВС ХНАДУ создан исследовательский стенд для проведения работ по созданию малолитражного двигателя внутреннего сгорания, который работает на сжатом природном газе.

Стенд оснащен полным комплексом измерительной аппаратуры для определения индикаторных и эффективных показателей двигателя. Автоматизированная система исследования дополнена целым рядом устройств, позволяющих изменять подачу топлива и угол опережения зажигания.

Литература

1. Канило П.М., Абрамчук Ф.И., Марченко А.П., Парсаданов И.В. Природный газ – наиболее эффективный заменитель нефтяных топлив на автотранспорте // Автомобильный транспорт. – Харьков: ХНАДУ. – 2008. – Вып. 22. – С. 86 – 92.
2. Калинин Н.Г. Природный газ и проблема экологизации автомобильного транспорта в России // Газовая промышленность. – 2003. – №3. – С. 65 – 68.
3. Николаева Н. Альтернативные источники энергии для автомобилей // Автомобильный транспорт. – 2002. – №3. – С. 43 – 47.
4. Грузовые автомобили с газовыми двигателями в США // Автомобильная промышленность США. – 1996. – № 4 – 5. – С.7 – 8.
5. Бганцев В.Н., Левтеров А.М., Мараховский В.П. Газовый двигатель на базе четырехтактного дизеля общего назначения // Техно-plus. – Харьков. – 2003. – №10. – С.92.
6. Захарчук В.І., Сітовський О.П., Козачук І.С. Розрахунково-експериментальні дослідження газового двигуна, переобладнаного з дизеля // Автомобільний транспорт. – Харків: ХНАДУ. – 2005. – Вип. 16. – С. 276 – 278.
7. Богомолов В.А., Абрамчук Ф.И., Манойло В.М., Кабанов А.Н., Салдаев С.В. Экспериментальная установка для доводки систем зажигания и управления газовым двигателем с искровым зажиганием 6Ч 13/14 // АвтоГазоЗаправочный комплекс + Альтернативное топливо. – Москва: АГЗК+АТ. – 2005. – №4(22). – С. 42 – 45.
8. Абрамчук Ф.И., Пойда А.Н., Ефремов А.А., Сивых Д.Г., Проскурин А.В. Новая автоматизированная система исследования и диагностированная автотракторных двигателей // Автомобильный транспорт. – Харьков: ХНАДУ. – 2005. – Вып. 17. – С. 28 – 34.
9. Мунипов В.М., Зинченко В.П. Эргономика: человекоориентированное проектирование техники, программных средств и среды // Логос. – 2001. – 356 с.

Рецензент: М.А. Подригало, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 23 декабря 2008 г.