

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ИССЛЕДОВАНИЯ И ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

А.Н. Пойда, д-р техн. наук, проф.,

А.В. Палий, аспирант, Д.Г. Сивых, аспирант,

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»,

г. Харьков, Украина

Общая постановка проблемы и её связь с научно-практическими задачами. Важным направлением повышения технико-экономических показателей автотранспортных двигателей отечественного производства до мирового уровня является оснащение их микропроцессорными системами управления топливоподачей, воздухообеспечением, газораспределением [1]. Реализация этого направления потребует проведения большого объёма работ по отработке алгоритмов управления, методов диагностирования, исследованию и доводке принятых технических решений. Использование традиционных методов исследования растянет решение указанной проблемы на многие годы.

Одним из резервов сокращения сроков доводки и уменьшения объёма экспериментально-доводочных работ является применение автоматизированных систем исследования и диагностирования (АСИД). В Украине подобные системы не выпускаются, но их можно синтезировать на основе компонентов автоматизации, имеющихся на рынках Украины и России. Эти компоненты ориентированы на построение автоматизированных систем различного назначения на основе персональных или промышленных компьютеров.

Обзор публикаций и анализ нерешённых проблем. Принципы построения и особенности систем технического диагностирования изложены в работе [2], а вопросы регистрации и обработки быстродействующих процессов с учётом специфики поршневых двигателей подробно проработаны в работах [3 - 7]. Концепция параллельного моделирования и анализа процессов в ДВС с помощью персональных ЭВМ изло-

жена в работе [8]. Со времени опубликования перечисленных работ прошло 10 – 20 лет. За этот период произошли существенные изменения в областях измерительной и вычислительной техники, в программном обеспечении ЭВМ. В связи с этим требуют корректировки принципы построения и функционирования АСИД, подходы в выборе состава и характеристик технических средств, разработки алгоритмов и прикладных программ исследования и диагностирования двигателей.

Цель исследований. Целью данного исследования является дальнейшее развитие концепции мониторинга и диагностирования поршневых двигателей на основе средств автоматизации и компьютерных технологий.

Результаты исследований. Техническое диагностирование как способ оценки качества функционирования поршневого двигателя применяется во всех фазах его жизненного цикла. На этапе доводки двигателя перечень параметров, подлежащих измерению и анализу в исследовательских целях, практически совпадает с перечнем диагностических параметров. Поэтому правомерно утверждать, что системы исследования двигателей и системы технического диагностирования могут иметь одинаковую структуру и общее название АСИД. В зависимости от сложности решаемых задач состав технических средств (ТС) и программное обеспечение (ПО) могут изменяться.

На основании анализа основных положений, приведенных в работах [2 – 8], технических характеристик современных ЭВМ и средств автоматизации

[9, 10] можно сформулировать следующие основные принципы построения и функционирования АСИД.

1. АСИД можно рассматривать как многопараметровую многозадачную систему, работающую в асинхронном режиме и выполняющую функции сбора и обработки данных, моделирования процессов и характеристик, управления системами, агрегатами и двигателем в целом.

2. Объект исследования или диагностирования в данной системе может быть представлен полноразмерным двигателем, его математической моделью или физическими и математическими моделями отдельных узлов, агрегатов или систем.

3. Для обеспечения гибкости системы в АСИД используется модульный принцип построения и открытая конфигурация аппаратных, программных средств и базы данных.

4. Связь ЭВМ с двигателем или физической моделью обеспечивается посредством устройства связи с объектом (УСО), содержащим датчики, исполнительные устройства, модули ввода-вывода аналоговых и дискретных сигналов.

5. В модуле ввода аналоговых сигналов осуществляется аналого-цифровое преобразование (АЦП), в результате чего непрерывные аналоговые сигналы датчиков превращаются в дискретные функции времени. При этом обеспечивается адаптивная дискретизация по углу поворота коленчатого вала (УПКВ) или по времени с синхронизацией по отметкам УПКВ.

6. Быстродействие АЦП выбирается из условия минимизации динамической погрешности измерения с учётом его архитектуры и способа обеспечения многоканальности.

7. В АСИД обеспечивается накопление требуемых объёмов выборок для статистической обработки каждого измеряемого параметра в целях получения усреднённых представительных диаграмм и их статистических характеристик.

8. Параллельно с физическим моделированием осуществляется математическое моделирование характеристик двигателей, рабочих процессов в их цилиндрах или системах.

9. В целях идентификации диагностических параметров наряду с традиционно измеряемыми параметрами (давлением в цилиндре и системе топливоподачи) регистрируются вибросигналы, характеризующие техническое состояние трущихся пар в механизмах двигателя, моменты посадки запорных органов в системе топливоподачи, клапанов, перекладки поршней.

10. Аппаратные и программные средства функционируют под управлением операционной системы Windows.

11. При обработке и анализе результатов измерения используются современные программные продукты Matlab, Mathcad, Excel.

Для создания АСИД в соответствии с изложенными принципами технических трудностей практически не существует. В числе средств автоматизации, имеющихся на рынке, датчики давления, температуры, расходов жидкостей и газов, газоанализаторы, дымомеры, а также различные функциональные модули, устанавливаемые в слоты ЭВМ [9, 10]. Многие датчики имеют встроенные нормирующие усилители. Современная АСИД – это компромисс между функциональными возможностями и стоимостью системы.

Модули аналогового ввода (АВ), предлагаемые различными изготовителями, можно условно разделить на 4 группы (рис. 1). Первая группа (рис. 1, а) содержит аналоговый мультиплексор (MUX) и аналого-цифровой преобразователь (ADC), выход которого подключается к системной шине ЭВМ. АЦП имеет конечное время преобразования $\tau_{пр}$ и мультиплексору необходимо некоторое время τ_k для установления сигнала после коммутации, поэтому полный период одного преобразования (период дискретизации) для схемы «а» составит

$$T_d = \tau_{пр} + \tau_k. \quad (1)$$

Для обеспечения требуемой точности в схеме «а» необходимо выполнить условие

$$\tau_{пр} \leq \frac{\gamma_d \cdot X_H}{(dx/dt)_{\max}}, \quad (2)$$

где γ_d – относительная динамическая погрешность;

X_n – нормирующее значение аналоговой величины;

$(dx/dt)_{\max}$ – максимальная скорость нарастания аналоговой величины.

Вторая группа модулей АВ (рис. 1, б) содержит устройство выборки-хранения (SST), включенное между MUX и ADC. В SST запоминается мгновенное значение аналоговой величины, и время преобразования её в цифровой код не приводит к динамической погрешности. Для этой схемы частота дискретизации определяется по формуле, приведенной в работе [2]:

$$T_d = \frac{1}{f_d}; \quad f_d = \frac{1}{2\tau} \sqrt{\frac{|x(\tau) - x'(0) \cdot \tau - x(0)|}{\Delta x_{\text{апп}}}}, \quad (3)$$

где τ – выделенный интервал времени ($0 - \tau$);

$x(0)$, $x(\tau)$ – значения преобразуемой аналоговой величины в моменты времени 0, τ ;

$x'(0)$ – первая производная аналоговой величины в начале выделенного интервала времени;

$\Delta x_{\text{апп}}$ – погрешность аппроксимации дискретной функции.

Полный период дискретизации для этой группы модулей АВ определяется также по формуле (1) с учётом τ_k .

Если в модуле АВ задействовано m измерительных каналов, то период обращения к одному каналу

$$T_{\text{дк}} = m \cdot T_d, \quad (4)$$

где T_d – период дискретизации, определяемый по формуле (1).

Модули третьей группы (рис. 1, в) в отличие от первых двух содержит буфер двухпортовой памяти FIFO (First-in-First Out), позволяющей проводить считывание информации процессором в произвольные моменты времени и делает преобразование бесперебойным.

Четвёртая группа модулей АВ построена по принципу параллельного преобразования: на каждый аналоговый сигнал предусмотрен отдельный АЦП с включенными на входе устройством выборки-

хранения (SSD) и усилителем. Выходы всех АЦП подключены к FIFO. В таком модуле все входные сигналы преобразуются одновременно. Реальная частота дискретизации зависит также от типа слота ЭВМ, под который изготовлен модуль. Слот ISA существенно снижает частоту дискретизации. Кроме того, частота дискретизации зависит от операционной системы, под управлением которой находится модуль.

Для оценки влияния этих факторов рассмотрим несколько примеров. АЦП с частотой дискретизации 500 кГц (схема 1, б) под управлением DOS через слот ISA обеспечивает преобразование 140 кГц на канал, а под управлением Windows – лишь 7 кГц на канал при тактовой частоте процессора 100 МГц. Тот же АЦП в схеме (рис. 1, в) под управлением Windows обеспечивает 500 кГц на канал в одноканальном варианте. В многоканальном режиме требуется задержка $\tau_k \approx 2$ мкс, в результате чего $T_d = 4$ мкс, а быстродействие снижается до 250 кГц на канал и для пятиканальной реализации частота обращения к каждому каналу составит 50 кГц. Такой же АЦП при тех же условиях в схеме (рис. 1, г) обеспечит частоту опроса восьми каналов с частотой 500 кГц.

В соответствии с изложенными принципами на базе ПК типа «Pentium III» и модуля АВ SDI-AD12-128HL (слот ISA) была синтезирована АСИД. Период дискретизации $T_d = 4$ мкс. Датчики ВМТ и УПКВ – оптоэлектронные типа ВЕ-178А, датчики давления в цилиндре и системе топливоподачи – тензорезистивные собственного изготовления, датчики давления в системах – МРХ-500 фирмы Motorola.

Пакет программного обеспечения (PPTest 1.1) построен по модульному принципу и работает под управлением ОС Windows 95/98.

Первый модуль ПО представляет собой многооконное приложение, где в отдельных окнах можно создавать или открывать сохраненные файлы записей. Интерфейс пользователя представлен Windows-панелями инструментов и главным меню программы (рис. 2, а).

Приложение позволяет записывать одновременно информацию с датчиков количеством до 16-ти, син-

хронно выводить графики на экран. Полученные изображения сигналов можно масштабировать по амплитуде и времени, сдвигать относительно нулевого значения уровня, измерять интервалы времени.

При наличии среди записанных стробирующего сигнала программа позволяет разбить запись на такты с учетом формы стробирующего сигнала, например по фронту прямоугольного импульса или по спаду, что дает возможность синхронизировать записи по

углу поворота коленчатого вала.

Данные можно сохранить в формате, позволяющем обрабатывать их с помощью других приложений, таких, как Matlab, Mathcad, Excel. При сохранении к записи добавляются вспомогательная и текстовая информация описания, позволяющие легко заполнить систематизированную базу данных сигналов.

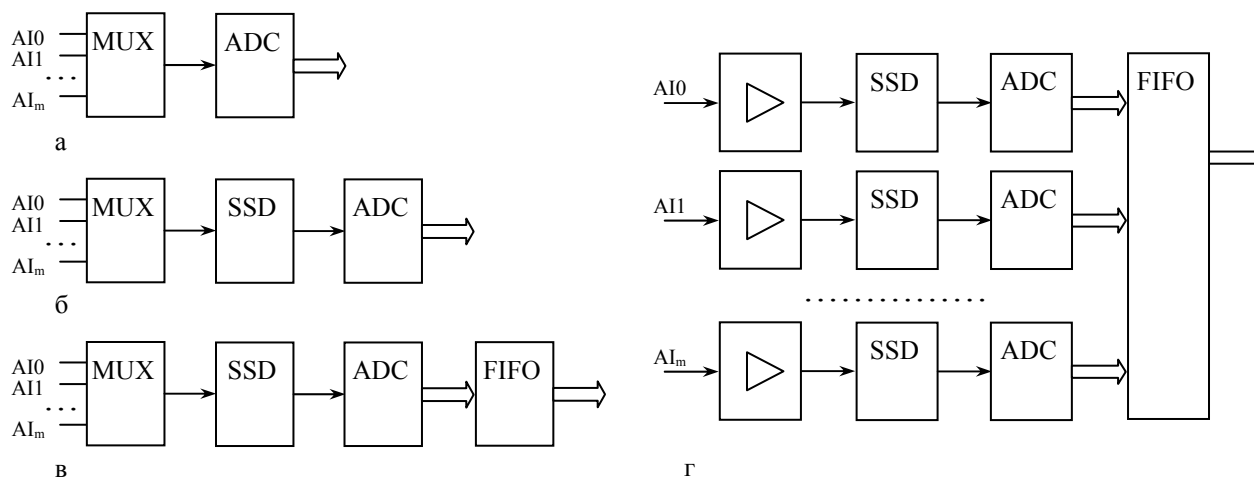
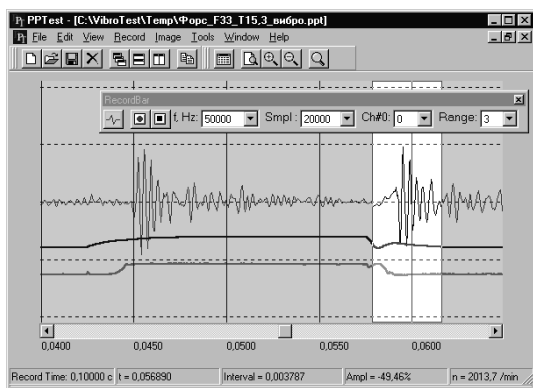
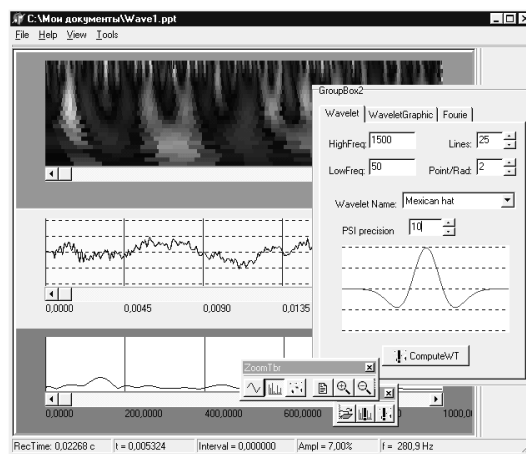


Рис. 1. Структурные схемы модулей аналогового ввода



а



б

Рис. 2. Вид экрана в приложениях программного обеспечения

а - модуль 1, многоканальный режим записи сигналов,

б - модуль 2, режим обработки и анализа данных – вейвлет - преобразование

Второй модуль – система математической обработки данных. Он позволяет наряду с возможностями первого приложения производить спектральный анализ сигнала и его вейвлет - преобразование.

Спектральное и вейвлет- преобразования могут применяться к любому участку сигнала. Набор опций позволяет настроить характеристики вычислений, такие, как диапазон анализируемых частот, точность,

вид вейвлета и свойства его графического отображения. Для удобства пользователя количество, положение и размер окон регулируются.

Обработанные сигналы классифицируются и сохраняются в базе данных.

Последующие модули ориентированы на вычисление характеристик тепловыделения, тепловых потоков и др.

Перспективы дальнейших исследований. Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку методов и алгоритмов моделирования процессов ДВС в структурах АСИД.

Выводы. Предложенный подход позволяет в кратчайшие сроки синтезировать АСИД с заданными характеристиками и эффективно решать задачи модернизации и диагностирования двигателей отечественного производства.

Литература

1. Разработка научных основ управления эколого-экономическими показателями автотранспортного дизеля / А.П. Кудряш, А.П. Марченко, Н.К. Рязанцев, А.П. Строков, А.Ф. Шеховцов // Вестник НТУ «ХПИ». – Харьков: НТУ «ХПИ», 2001, № 1. – С. 10–64.

2. Никитин Е.А., Станиславский Л.В., Улановский Э.А. Диагностирование дизелей. – М.: Машиностроение, 1987. – 224 с.

3. Пойда А.Н. Основные принципы индцирования двигателей дискретными устройствами // Двигателестроение. – 1982. – № 8. – С. 24 – 28.

4. Пойда А.Н. Формирование импульсов углового положения коленчатого вала по методу программируемой маски // Двигатели внутр. сгоран.: Межведомств. сб.– 1984. – Вып. 39. – С. 83 – 87. (ХПИ).

5. Пойда А.Н., Смолин Ю.А., Сухопаров С.С. Основные принципы статистической обработки индикаторных диаграмм с помощью цифровых комплексов // Двигатели внутр.сгоран.: Межведомств. сб.– 1985. – Вып. 42. – С. 23 – 28. (ХПИ).

6. Пойда А.Н., Смолин Ю.А., Стаистическое исследование температурных волн на огневой поверхности крышки цилиндра судового дизеля // Двигатели внутр.сгоран.: Межведомств. сб.– 1986. – Вып. 43. – С. 23 – 28.

7. Пойда А.Н. Оценка влияния и нормирование смещения отметки верхней мёртвой точки // Двигатели внутр.сгоран.: Вестник ХПИ.– Харьков: ХПИ.– 1993. – № 10. – С. 111 – 120.

8. Пойда А.Н. Кибернетизация анализа внутрицилиндровых процессов на основе персональных ЭВМ // Тез. докл.: 7-ой Междунар. симп. «Моторсимпо - 90». – Чехословакия, Высокие Татры. – 1990. – Ч. 3. – С. 107 – 113.

9. Панфилов Д.И., Иванов В.С. Датчики фирмы Motorola. – М.: ДОДЕКА, 2000. – 96 с.

10. Информационные листы и каталоги фирм: AVL, Honnewel, NuDAQ, Fastwel, saturn, Nagano.

Поступила в редакцию 01.06.03

Рецензенты: канд. техн. наук, доц. каф. ДВС В.Т. Коваленко, НТУ «ХПИ», г. Харьков; д-р техн. наук, зав. каф. ДВС, профессор Ф.И. Абрамчук, ХНАДУ, г. Харьков.