

## ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС СТЕНДА ПУЛЬСИРУЮЩЕГО ВОЗДУШНО-РЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ

С.Н. Ларьков

(представил д.т.н., проф. А.В. Амброжевич)

*Представлено решение задачи создания измерительного комплекса для регистрации циклических процессов в тракте воздушно-реактивных двигателей. Описан метод поэтапной модернизации измерительных систем путем замены регистрирующей аппаратуры микроконтроллерными блоками для связи с ПЭВМ.*

**Постановка задачи.** В настоящее время наблюдается повышенный интерес к миниатюрным высокоскоростным беспилотным летательным аппаратам для нужд фото- и видеосъемки в видимом диапазоне. Особенный интерес вызывает проблема выбора типа энергосиловой установки такого летательного аппарата, в связи с чем пристальное внимание уделяется нетрадиционным типам воздушно-реактивных двигателей, в частности, пульсирующим (ПуВРД).

*Характеристика объекта исследования.* Пульсирующий воздушно-реактивный двигатель (рис. 1) представляет собой один из простейших типов реактивных двигателей и, по существу, представляет собой камеру сгорания (1) с клапанном устройством (2) на входе и резонансной выхлопной трубой (3) на выходе [1].

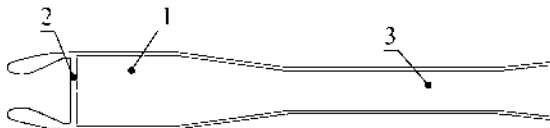


Рис. 1. Схема ПуВРД

Принцип действия двигателя заключается в следующем: топливовоздушная смесь в камере сгорания воспламеняется от остаточных газов и сгорает; продукты сгорания, обладая повышенным давлением, истекают через резонансную трубу, создавая тягу, и на заключительной стадии фазы истечения создают разрежение в камере сгорания вследствие инерции газового потока; при достижении уровня давления ниже атмосферного клапанное устройство открывается, пропуская новую порцию топливовоздушной смеси.

Таким образом, ПуВРД представляет собой тепловой двигатель, работающий в условиях акустико-механического резонанса. Основная час-

тота работы исследуемого двигателя составляет порядка 150 Гц, при этом амплитуда пульсаций давления составляет 0,5 – 0,8 атм, уровень температур порядка 2500 К.

Одной из наиболее важных задач при опытной доводке теплового двигателя является измерение параметров рабочего процесса (давление и температура рабочего тела, расход горючего, тяга), а применительно к ПуВРД – регистрация их мгновенных значений [2].

**Целью работы** явилась разработка многоканальной измерительной аппаратуры, обеспечивающей регистрацию следующих параметров: *давление* в камере сгорания и перед клапанным устройством; *расход* горючего; *тяга*.

Вследствие цикличности рабочего процесса и необходимости регистрации высокочастотных мод колебаний газового столба при разработке измерительного комплекса возникла задача обеспечения полосы пропускания измерительной аппаратуры не менее 10 кГц при ошибке измерения не более 0,5%.

Имевшаяся аналоговая регистрирующая аппаратура (шлейфовый осциллограф НО43.1 с полосой пропускания до 1 кГц) не обеспечивала получения заданных характеристик. Используемые датчики и вторичные преобразователи имеют полосу пропускания не менее 10 кГц. Поэтому было принято решение о поэтапной замене аналоговой регистрирующей аппаратуры на цифровую, обеспечивающую оцифровку и ввод в ПЭВМ результатов измерений.

**Схема построения комплекса.** Имеющаяся на рынке широкая номенклатура инструментальных плат ввода-вывода характеризуется высоким уровнем цен (от 250 у.е.), и требовательностью к ресурсам ПЭВМ, что служит препятствием к широкому их применению [3, 6].

В то же время в последние годы интенсивно развивается рынок микроконтроллеров, в том числе и со встроенными аналогово-цифровыми преобразователями, которые по критерию «стоимость-эффективность» на порядок превышают традиционные решения [5]. Дополнительным преимуществом при использовании микроконтроллерной техники является чрезвычайная схемотехническая простота, а также легкость связи микроконтроллеров между собой или с ПЭВМ. Для построения блока ввода данных в ПЭВМ был выбран микроконтроллер фирмы Analog Devices ADuC812 со следующими характеристиками [4]: частота дискретизации – 200 кГц; разрядность – 12 бит; точность –  $\pm 1,5$  LSB; производительность процессорного ядра – 1,25 MIPS.

На базе ADuC812 была разработана аппаратная часть модуля ввода аналоговых сигналов с характеристиками: уровень входного сигнала – 0...5 В; число каналов – 8; частота выборки –  $8 \div 64$  кГц/канал; интерфейс к ПЭВМ – IEEE 1284 EPP. Для обеспечения подключения термодатчиков и тензорезистивных датчиков был также разработан нормализатор сигналов на основе интегрального инструментального усилителя AD623N со следующими характеристи-

ками: диапазон входных напряжений – 0...5 В; коэффициент усиления – 1...1000; выходной сигнал – 0...5 В; нелинейность – не более 1%.

На рис. 2 представлена структурная схема измерительного комплекса.

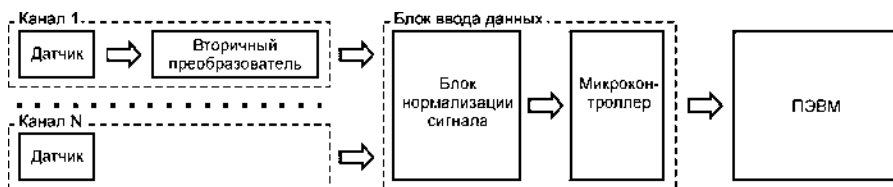


Рис. 2. Структурная схема измерительного комплекса стенда ПуВРД

Программное обеспечение микроконтроллера обеспечивает перебор каналов в заданной последовательности, оцифровку сигнала и передачу измеренного значения в ПЭВМ.

Программное обеспечение ПЭВМ разработано для применения в среде MS-DOS на ПЭВМ с процессором типа Intel Pentium и обеспечивает решение следующих задач: **получение** мгновенного или осредненного (от 1 до 4096 измерений) значения сигнала в каждом из восьми каналов; **наблюдение** осциллограммы сигнала с возможностью одновременной записи в файл; **просмотр** записанных данных; **проведение** тарировки датчиков.

**Полученные результаты.** По результатам разработки был построен измерительный комплекс стенда ПуВРД в составе: **индуктивный датчик** давления ДД-10 со вторичным преобразователем ИВП-2 – 2 канала; **тензорезистивный датчик** тяги типа ЛХ-143 – 1 канал; **потенциометрический датчик** расхода горючего (дифференциальный манометр типа МДДФ-УК с дроссельной шайбой) – 1 канал. Регистрирующая аппаратура (шлейфовый осциллограф НО43.1), использованная на первом этапе, при модернизации была заменена на вновь разработанные блоки. На рис. 3 представлены осциллограммы записи тяги до и после модернизации измерительного комплекса. На осциллограммах видно, что новая регистрирующая аппаратура обеспечивает существенно более высокую полосу пропускания сигнала (для шлейфового осциллографа – до 750 Гц, для разработанных блоков – до 30 кГц).

**Выводы.** Использование современной элементной базы широкого применения, в частности, микроконтроллеров со встроенными аналогово-цифровыми преобразователями, позволяет осуществить модернизацию устаревших измерительных комплексов путем замены регистрирующей аппаратуры. Использование имеющейся датчиковой и преобразовательной аппаратуры производства конца 80-х г.г. совместно с вновь разработанной регистрирующей аппаратурой на современной элементной базе широкого применения и использование персональных ЭВМ для

обработки результатов измерений обеспечивает получение измерительных комплексов с беспрецедентно низкой стоимостью и позволяет обеспечить

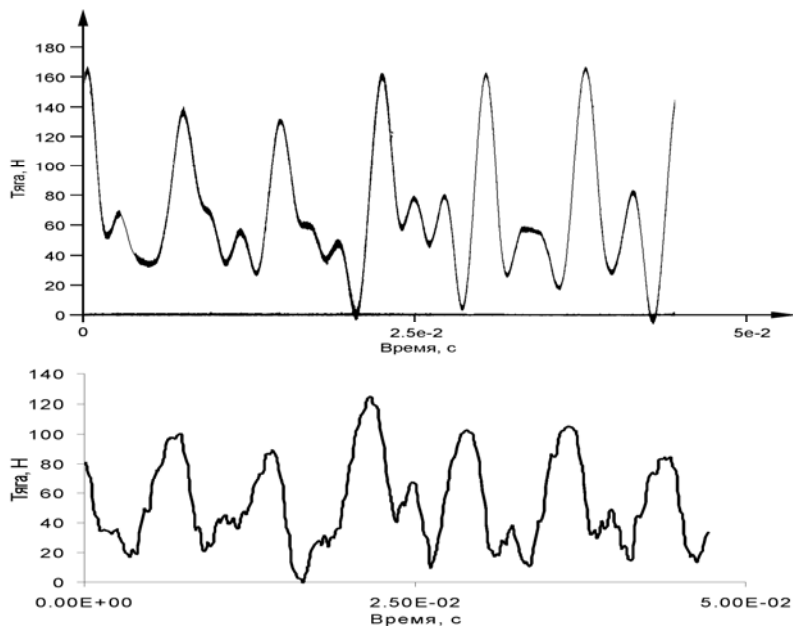


Рис. 3. Осциллограммы тяги, полученные с помощью шлейфового осциллографа (вверху) и на ПЭВМ (внизу)

проведение научно-исследовательских работ, а также учебный процесс в высших учебных заведениях современными средствами измерений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Манушин Э.А., Михальцев В.Е., Чернобровкин А.П. Теория и проектирование газотурбинных и комбинированных установок. – М.: Машиностроение, 1977. – 448 с.
2. Кутувий О.П. Тенденції розвитку безпілотних літальних апаратів // Наука і оборона. – 2000. – № 4. – С. 39 – 47.
3. 8051 Cross Assembler User Manual. – Metalink, 1990. – 98 p.
4. ADuC812 User's manual. – Analog Devices, 2000. – 24 p.
5. Гелль П. Как превратить персональный компьютер в измерительный комплекс. – М.: ДМК-Пресс, 2001. – 136 с.
6. Гук М. Аппаратные средства IBM PC. – С.-Пб.: Питер, 2001. – 925 с.

Поступила 3.11.2003

**Ларьков Сергей Николаевич**, начальник отдела НТ СКБ «Полисвит» ГНПО «Коммунар». В 1993 г. окончил Харьковский авиационный институт, с 2001 г. – аспирант заочной аспирантуры НАКУ «ХАИ». Область научных интересов – малоразмерные тепловые двигатели.