

АППАРАТУРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

УДК 681.327

А.П. Ростов

БОРТОВОЙ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ РЕГИСТРИРУЮЩИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ АТМОСФЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ С ПОМОЩЬЮ АППАРАТОВ СВЕРХЛЕГКОЙ АВИАЦИИ

Описан бортовой регистрирующий комплекс для измерений параметров атмосферы, предназначенный для установки на аппараты сверхлегкой авиации.

Для прямых измерений горизонтальных и вертикальных профилей метеопараметров, характеристик атмосферного аэрозоля и радиационных потоков атмосферы используются различные аппараты авиационной техники [1]. Для таких измерений осенью 1996 г. в рамках международного проекта Atmosphere Radiation Monitor (ARM) был использован мотодельтаплан, относящийся к классу аппаратов сверхлегкой авиации (СЛА).

Для сбора, предварительной обработки и регистрации данных от датчиков, установленных на аппарате СЛА, был специально разработан и изготовлен автоматический аппаратно-программный регистрирующий комплекс. Требования, которые предъявлялись к комплексу, были очень жесткие. Он должен быть легким, портативным, обеспечивать автоматическую регистрацию до 9 различных параметров в условиях реальной атмосферы при сильных вибрациях, имеющих место у аппаратов СЛА. Также нужно было учесть воздействие электромагнитных полей от системы зажигания и бортовой радиостанции. С учетом этих требований при разработке решено было отказаться от накопителей информации, имеющих в своем составе какие-либо механизмы, и применить запоминающие устройства полупроводниковой памяти и новейшие интегральные микросхемы фирм Intel, Mitsubishi, Integral, имеющие высокий уровень интеграции, малое потребление энергии, широкий диапазон рабочих температур и хорошее быстродействие.



Рис. 1. Внешний вид системного блока комплекса

В состав комплекса входят: системный блок (внешний вид показан на рис. 1), 45-градусный нефелометр типа [3], оптический датчик светимости неба, три стандартных датчика

солнечной радиации (два актиметра и 1 балансомер) и датчик размеров частиц [4]. Для измерения давления, температуры и влажности использовались стандартные авиационные метеодатчики. Все датчики, за исключением нефелометра и счетчика размеров частиц, имели в качестве выходного параметра напряжение постоянного тока и подключались к аналоговым входам системного блока. Нефелометр и счетчик размера частиц были реализованы аппаратно-программно. Такое решение позволило получить у них стабильные характеристики в широком диапазоне рабочих температур и вибраций.

Остановимся подробнее на системном блоке комплекса и алгоритмах его работы. Структурная схема приведена на рис. 2. Основным управляющим звеном является однокристалльный микроконтроллер i80196KB фирмы Intel [2]. Он имеет высокопроизводительный 16-разрядный процессор с хорошо развитой системой команд, 10-разрядный 8-канальный аналого-цифровой преобразователь (АЦП), два таймера, последовательный и параллельные порты, ОЗУ и контроллер прерываний. Генератор ШИМ-сигнала позволяет получать медленные аналоговые сигналы. Имеются специальные средства защиты от сбоев – сторожевой таймер, перезапускающий процессор при заикливаниях и инструкция сброса кодом. В данной разработке мы применили температурно-расширенный вариант этого микроконтроллера с рабочими температурами от –40 до +85 °С.

Технические характеристики бортового комплекса

Тактовая частота процессора, МГц	10
Объем ОЗУ, Кбайт	512
Объем ПЗУ, Кбайт	8
Число регистрируемых параметров	9
Максимальная амплитуда напряжения аналоговых входов, В	4,4
Динамический диапазон входных сигналов для	
аналоговых входов, дБ	60
нефелометра, дБ	80
счетчика размеров частиц, дБ	90
Время непрерывной регистрации, ч	3
Время непрерывной работы от внутреннего	
источника энергии, ч	10
Рабочая температура, °С	–40 – +60
Масса, кг	не более 2
Габариты, мм	300 × 200 × 40
Исполнение	виброустойчивое помехозащищенное

Компьютер блока имеет собственную системную шину. Она обеспечивает обмен данными и командами между составными частями и устройствами блока. Ширина состоит из 16 разрядов адреса, 8 разрядов данных и 2 разрядов управления.

Все адресное пространство компьютера поделено на 8 равных частей по 8 Кбайт.

Его распределение следующее:

0 – 1FFFH отведено для внутренних регистров и портов ввода-вывода;

2000H – 3FFFH занимает ПЗУ, содержащее код управляющей программы компьютера;

4000H – 5FFFH – окно для записи в PC-карту SRAM-512;

6000H – 7FFFH – адрес регистра номера размера частицы и состояний управляющих переключателей блока;

8000H – 9FFFH – резерв;

A000H – BFFFH – строб записи в регистр старшего адреса PC-карты;

C000H – DFFFH – строб записи в регистр младшего адреса PC-карты;

E000H – FFFFhH – строб записи в регистр среднего адреса PC-карты.

С целью повышения надежности работы микроконтроллера и понижения потребляемого им тока тактирование процессора ведется с частотой 10 МГц, что несколько ниже предельной (16 МГц).

Для программного управления, настройки и тестирования системного блока используется последовательный порт микроконтроллера. Он дополнительно снабжен преобразователями уровней до стандарта RS-232. Это микросхемы 75SN189 и 75SN188, содержащие 4 приемника и 4 передатчика соответственно.

Обмен ведется на скорости 57,6 Кбит/с 8-битными словами без контроля по четности. Один из передатчиков используется также для формирования управляющего напряжения полевого транзистора КП921А, который работает в качестве силового ключа передатчика нефелометра.

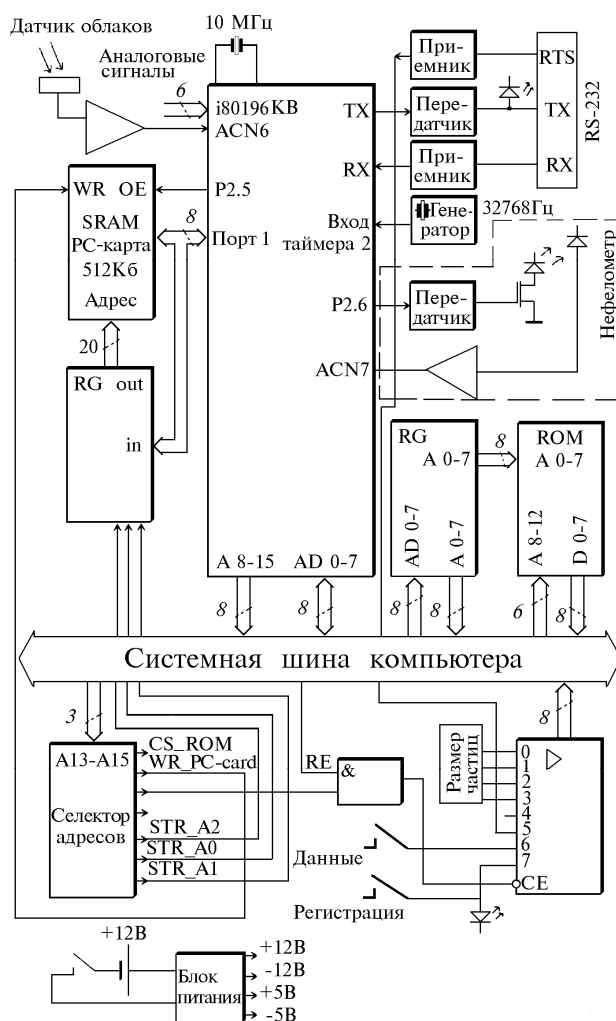


Рис. 2. Структурная схема системного блока комплекса

Для записи и чтения данных применена PC-карта (старое название PCMCIA-карта) SRAM-512 фирмы Mitsubishi емкостью 512 Кбайт. Интерфейс PC-карты реализован аппаратно-программно с помощью 3 регистров адреса (микросхемы 1554ИР22), квазидвухнаправленного порта P1 микроконтроллера и селектора адреса (ИС 1554ИД7).

Организованный таким образом интерфейс позволяет адресоваться к 16 Мбайтам памяти, что дает возможность использовать PC-карты большей емкости. Регистрация данных ведется с частотой 1 Гц. Для получения этого точного интервала времени предусмотрен отдельный генератор на частоту 32768 Гц. Эта частота подается на вход таймера-2 микроконтроллера. Таймер-2 делит эту частоту до 1 Гц. В микроконтроллере по прерыванию от таймера-2 запускается программа измерения 8 и регистрации 9 параметров.

Питание всех систем блока осуществляется от встроенного источника питания. Первичным источником энергии является никельмарганцевый аккумулятор напряжением 12 В и емкостью 2,5 А/ч. Для получения необходимых рабочих напряжений +5 В, -5 В, +12 В и -12 В разработан импульсный преобразователь напряжения. Его рабочая частота около 1000 кГц. Стабилизация выходных напряжений осуществляется по первичному напряжению. Максимальное значение выходного тока для напряжения 5 В равно 500 мА и по 100 мА для остальных напряжений.

Запуск рабочих программ компьютера осуществляется с пульта блока или программно через последовательный коммуникационный порт RS-232. Все программное обеспечение написано на языке Ассемблер. Размер программ составляет 676 строк, что не позволяет привести ее в этой статье. Остановимся кратко на алгоритмах работы.

После включения питания процессор путем передачи соответствующих команд настраивает все устройства компьютера для получения нужной конфигурации, затем производится инициализация рабочих регистров и переменных и констант. Далее процессор переходит в циклический режим работы, в котором проверяется положение переключателей на пульте компьютера, наличие команд или сообщений в последовательном порту и состояние адресного счетчика РС-карты. По результатам этих проверок принимаются соответствующие решения на выполнение тех или иных команд на запуск соответствующих программ или подпрограмм.

Основная программа измерения запускается переводом переключателя «Регистрация» на пульте блока в положение «ВКЛ». При этом срабатывает световая сигнализация на пульте, процессором разрешаются прерывания от таймера-2 микроконтроллера и затем он начинает циклически, с периодом 2,6 мкс, проверять на наличие информации от датчика размера частиц и на статус переключателя «Регистрация». Как только появится информация, содержащая код номера размера частицы, процессор инкрементирует одну из 15 соответствующих 2-байтовых переменных на 1 и сообщает об этом датчику размеров частиц. Затем он снова переходит в циклический режим опроса датчика. В буферном массиве данных, который расположен в ОЗУ микроконтроллера и занимает 50 байт, находятся 15 переменных размера частиц. Схема расположения информации представлена в таблице.

При появлении запроса на прерывания от таймера-2, который появляется 1 раз в секунду, процессор переходит на подпрограмму обслуживания этого прерывания. При входе в эту подпрограмму сначала сохраняются в стеке все рабочие регистры процессора, затем производится оцифровка 7 аналоговых сигналов, поступающих с входа блока. Их значения заносятся в соответствующее место в буферном массиве данных. После этого запускается подпрограмма обслуживания нефелометра.

Вид буферного рабочего массива данных

1	Время, с
2	1-й канал АЦП
3	2-й канал АЦП
4	3-й канал АЦП
5	4-й канал АЦП
6	5-й канал АЦП
7	6-й канал АЦП
8	Светимость облаков
9	Младшее слово нефелометра
10	Старшее слово нефелометра
11	Число частиц с 01-м размером
12	Число частиц с 02-м размером
13	Число частиц с 03-м размером
14	Число частиц с 04-м размером
15	Число частиц с 05-м размером
16	Число частиц с 06-м размером
17	Число частиц с 07-м размером
18	Число частиц с 08-м размером
19	Число частиц с 09-м размером
20	Число частиц с 10-м размером
21	Число частиц с 11-м размером
22	Число частиц с 12-м размером
23	Число частиц с 13-м размером
24	Число частиц с 14-м размером
25	Число частиц с 15-м размером

Остановимся несколько подробнее на аппаратно-программной реализации работы нефелометра. Поскольку встроенный источник питания имеет ограниченный запас энергии (2,5 А/ч), то был аппаратно-программно реализован импульсно-пакетный режим работы.

Энергия, необходимая для работы передатчика, через ограничитель тока периодически запасается в конденсаторе большой емкости (68000 мкФ).

По команде процессора с частотой порядка 1 кГц мощным КМОП-ключом выдается 20 импульсов тока в светодиод передатчика. Амплитуда тока при этом достигает 1,5 А, длина волны излучения 0,87 мкм. При этом часть отраженного излучения попадает в приемник расположенного под углом 45° к оси передатчика. В качестве приемника используется ИК-фотодиод. Электрический сигнал от него поступает на предварительный усилитель переменного тока, который имеет коэффициент усиления на рабочей частоте около 3000. Далее сигнал поступает на селективный усилитель с полосой пропускания порядка 100 Гц. Его коэффициент усиления в полосе прозрачности составляет около 10, а общий для всего тракта – 30000. Учитывая, что суммарный уровень шума фотодиода и приведенного ко входу шума предварительного усилителя составляет около 5 нВ/Гц, на выходе всего тракта в рабочей полосе частоты имеем уровень шума 0,02 В, что соответствует значениям кода 4 – 6 АЦП микроконтроллера. В целом чувствительность нефелометра получилась довольно высокая. Точные калибровочные измерения не проводились, но наблюдался такой факт, что в закрытой комнате, где отсутствовали люди в течение двух дней, устойчиво регистрировался спад количества аэрозоля, при этом уровень сигнала к исходу вторых суток превышал в 2 раза темновой шум приемного тракта. Как только через двое суток открыли дверь, был сразу зарегистрирован всплеск концентрации аэрозоля в 3 – 4 раза выше, чем до этого момента.

За время излучения импульсного пакета процессор успевает сделать 180 измерений амплитуды принимаемого сигнала, возвести их в квадрат и просуммировать. По окончании измерения полученная сумма заносится в 4-байтовую переменную выходного массива данных. Время одного цикла измерения нефелометра составляет около 18 мс.

По окончании работы с нефелометром процессор переписывает данные из рабочего буфера в РС-карту и инкрементирует на 1 счетчик секунд. Затем он обнуляет переменные рабочего буфера, восстанавливает из стека все рабочие регистры и возвращается в цикл измерения размера частиц. Выход из этого режима производится выключением переключателя «Регистрация».

Как упоминалось выше, процессор может выполнить ряд команд, поступающих по последовательному порту. Первая группа команд запускает отдельные режимы работы бортового компьютера, вторая позволяет получать данные от отдельных устройств, третья служит для проверки отдельных устройств микроконтроллера.

К первой группе относятся команды:

- запуска программы подготовки РС-карты к измерениям;
- запуска программы выдачи 512 Кбайт зарегистрированных данных в последовательный порт с учетом готовности к приему коммуникационного порта персонального компьютера;
- запуска основной программы измерения.

Вторая группа команд:

- запуск программы нефелометрии с выдачей данных через последовательный порт;
- запуск программы оцифровки указанного аналогового канала с выдачей результата в последовательный порт.

Третья группа:

- выдать байт с указанного адреса;
- записать байт по указанному адресу.

Набора этих команд вполне хватает, чтобы подготовить компьютер к работе в эксперименте и провести проверку и настройку как отдельных узлов прибора, так и всего комплекса в целом.

В сентябре – октябре 1996 г. комплекс был установлен на мотоделтаплане. Было сделано 10 вылетов до высот 3000 м со средней продолжительностью 1,3 ч. Были получены данные о вертикальном и горизонтальном распределении температуры, влажности, коэффициента аэрозольного рассеяния, приходящей и уходящей энергии в виде радиационного излучения в осенний период в зоне Западной Сибири. На графиках, представленных на рис. 3, наблюдается резкое изменение коэффициента аэрозольного рассеяния, уровня радиации и других параметров, что характерно при пролете через кучевые облака. Четыре вылета были сделаны в сложных метеорологических условиях – дождь, снег, отрицательные температуры, 98%-я влажность. При прохождении через кучевые облака из-за развитой турбулентности были сильные перегрузки. В таких условиях не было ни одного отказа системного блока комплекса. Отказывали только отдельные датчики, как правило, вследствие невысокой механической прочности.

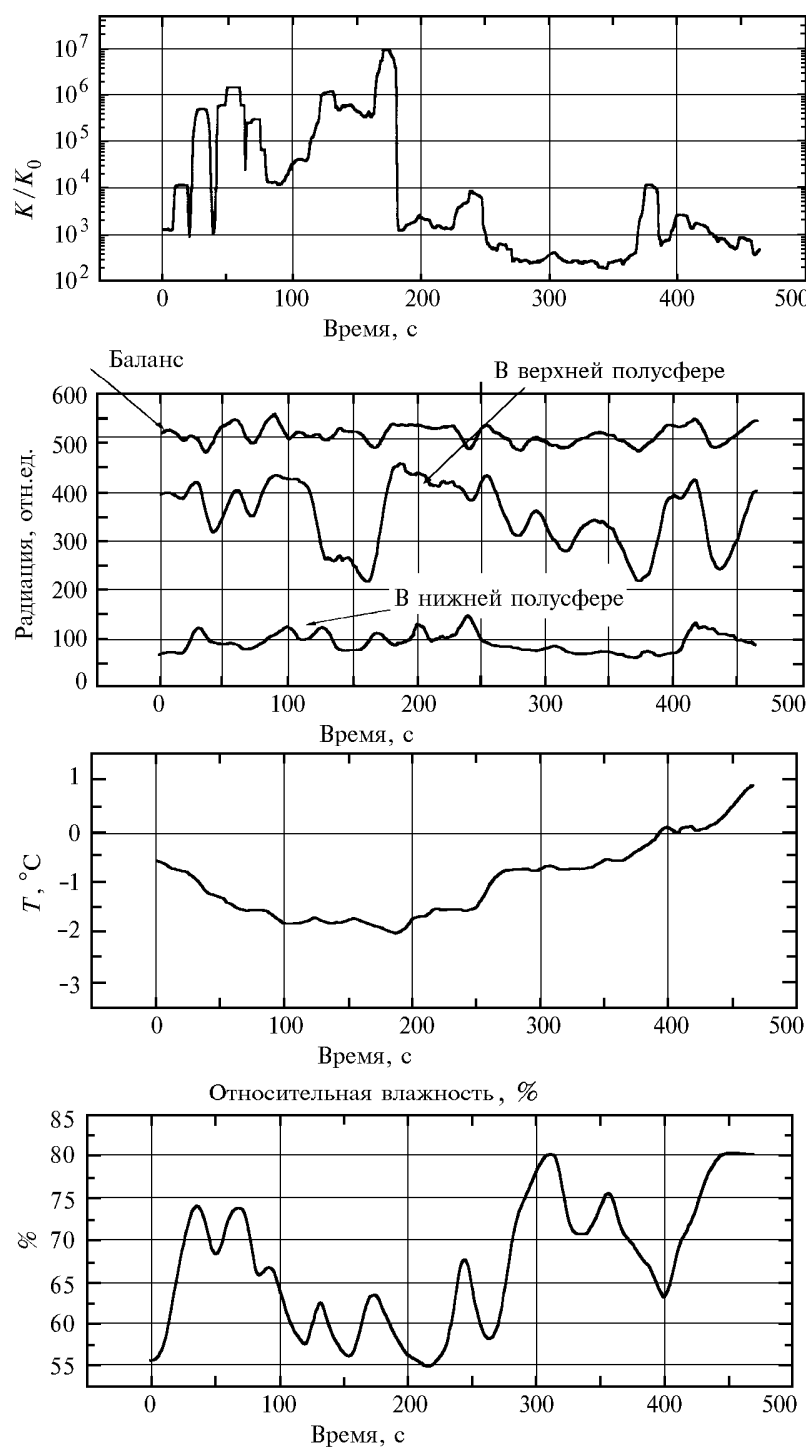


Рис. 3. Фрагмент данных, зарегистрированных бортовым компьютером при прохождении дельтаплана через кучевые облака. 6 октября 1996 г., в окрестности г. Томска

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта ARM, контракт N 352654-A-Q1.

1. Белан Б. Д. // Оптика атмосферы и океана. 1993. Т. 6. N 1. С. 5 – 32.
2. Microcontroller i8XC196KB / Intel Corporation. 1994. 114 с.
3. Разенков И. А., Ростов А. П. // III Межреспубликанский симпозиум «Оптика атмосферы и океана»: Тезисы докл. Томск: Изд. ИОА, 1996. С. 172.

4. Ковалевский В.К., Толмачев Г.Н. // Аппаратура дистанционного зондирования параметров атмосферы. Томск: ТФ СО АН СССР, 1987. С. 34 – 40.

Институт оптики атмосферы СО РАН,
Томск

Поступила в редакцию
4 ноября 1996 г.

A . P . R o s t o v . **Deltaplane-borne Computerized Complex for Atmospheric Measurements.**

Software-hardware complex for atmosphere measurements, intended for installation on a deltaplane, is described.