

4) Изменение приоритета и адреса прерывания, связанных со вторым счетчиком времени:

[<метка>]TMOF<с>[,<приоритет>][,<адрес прерывания>]

5) Изменение приоритета и адреса прерывания, связанных с третьим счетчиком времени:

[<метка>]TMOS<с>[,<приоритет>][,<адрес прерывания>]

6) Изменение приоритета и адреса прерывания, связанных с часами:

[<метка>]TIMER<с>[,<приоритет>][,<адрес прерывания>]

7) Изменение приоритета и адреса прерывания, связанных с арифметико-логическим устройством:

[<метка>]ALUI<с>[,<приоритет>][,<адрес прерывания>]

8) Изменение приоритета и адреса прерывания, связанных с периферийным интерфейсным адаптером:

[<метка>]PIAI<с>[,<приоритет>][,<адрес прерывания>]

9) Изменение приоритета и адреса прерывания, связанных с индикацией конца КАМАК-программы:

[<метка>]EOSP<с>[,<приоритет>][,<адрес прерывания>]

7. Заключение. Язык IML обеспечивает доступ к аппаратно-реализуемым операциям в режиме реального времени. Синтаксис связан с системой АС-02.

ЛИТЕРАТУРА

1. The Definition of IML.— ESONE Committee. 1974.
2. Kubitz M., Kind R. Macro-IML Manual. Berlin, НМI-B162, 1975.

Поступила в редакцию 6 декабря 1979 г.

УДК 681.3

**А. Н. КАСПЕРОВИЧ, Т. Н. МАНТУШ, В. И. ПРОКОПЕНКО,
В. А. СЛУЕВ, В. И. СОЛОНЕНКО**
(Новосибирск)

СИСТЕМА ДЛЯ МИКРОПРОГРАММИРОВАНИЯ И ОТЛАДКИ УСТРОЙСТВ НА СЕКЦИОННЫХ МИКРОПРОЦЕССОРАХ

В настоящее время для построения быстродействующих устройств вычислительной техники широко применяются секционные микропроцессоры (СП) [1, 2]. Обычно в состав набора БИС СП входят БИС центрального процессорного элемента (ЦПЭ), БИС блока микропрограммного управления (БМУ) и др. Добавляя к этому набору БИС ПЗУ и стандартные схемы малой и средней степеней интеграции, можно создавать разнообразные вычислительные устройства. Блок микропрограммного управления совместно с ПЗУ в таких устройствах выполняет управляющие функции, а совокупность ЦПЭ — арифметические и логические операции.

Создание устройств на базе СП усложняется (по сравнению с ситуацией, когда применяются однокристалльные микропроцессоры) тем, что в данном случае приходится решать задачи не только программирова-

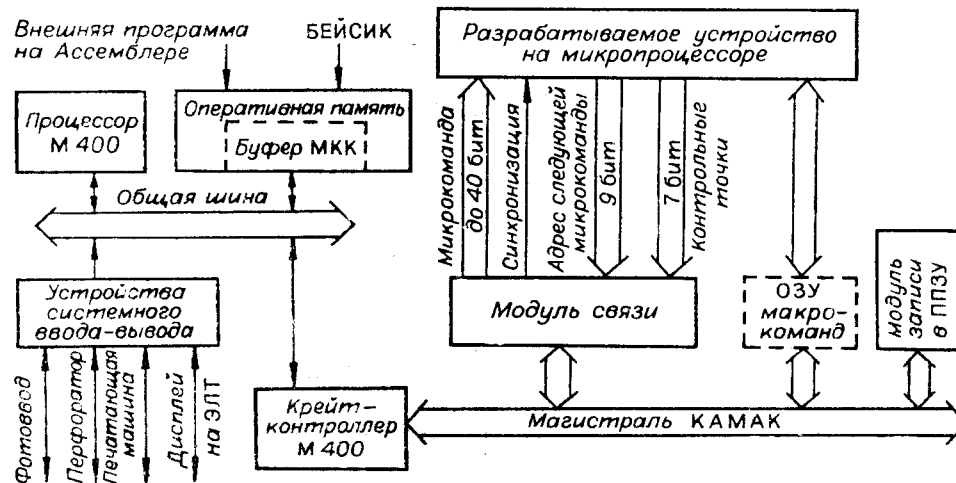


Рис. 1.

ния, но и выбора системы макрокоманд (при необходимости) и архитектуры устройства. Для микропрограммирования, отладки микропрограмм и оборудования разработчик должен пользоваться специальным инструментом — системой отладки микропрограмм. Можно утверждать, что без такой системы практически невозможно отладить даже небольшую программу.

Системы отладки программ и оборудования микропроцессорных устройств, в том числе и на секционных микропроцессорах, в настоящее время выпускаются рядом зарубежных фирм [1, 2]. В большинстве случаев такие системы включают ЭВМ со стандартными периферийными устройствами, специальные устройства ввода-вывода, с помощью которых проектируемая система подключается к ЭВМ, и соответствующее матобеспечение. К таким системам для микропрограммирования и отладки микропроцессорных устройств относится система «Intellec» [3], применяемая и для отладки микропроцессоров I 3000. Эта система взаимодействует с разрабатываемым и отлаживаемым устройствами (на базе СП I 3000) через два модуля: эмулятор внутренних схем и буферное ОЗУ макрокоманд. Первый из них позволяет управлять ходом выполнения микропрограмм, а второй обеспечивает хранение и оперативное изменение отлаживаемых микропрограмм. Имеется также блок перезаписи отлаженных макрокоманд в ППЗУ.

Подобные системы имеют высокую стоимость [2], и их использование оправдано только в случае значительного объема разработок для определенного типа микропроцессора.

В связи с проведением разработок устройств на секционных микропроцессорах возникла задача создания сравнительно простой и недорогой системы микропрограммирования, базирующейся на аппаратных средствах КАМАК, мини-ЭВМ и имеющемся матобеспечении. Такая система создана на базе ЭВМ М400. Она позволяет отлаживать микропрограммы устройств с блоком микропрограммного управления 589ИК01.

Конфигурация системы микропрограммирования, предназначенная для набора, отладки и записи микропрограмм в ППЗУ, показана на рис. 1. В ее состав входят процессор М400; оперативная память (не менее 8 К слов); стандартные внешние устройства (алфавитно-цифровой дисплей, фотосчитыватель, перфоратор, пишущая машина); крейт КАМАК с программным контроллером М400; модуль связи, предназначенный для обмена данными с разрабатываемым микропроцессорным устройством,

и модуль записи данных в ППЗУ. Отлаживаемое микропроцессорное устройство подключается к модулю связи кабелем через разъем на передней панели. Имеется также дополнительный модуль ОЗУ (на 64 байта), который может использоваться в качестве буфера макрокоманд.

Микрокоманды (МКК) и микропрограммы (МКП) вводятся с клавиатуры дисплея и хранятся в оперативном буфере МКК памяти М400. Через крейт-контроллер и модуль связи процессор посылает МКК на отлаживаемое устройство, инициирует их исполнение и получает в ответ слово состояния (СС), указывающее адрес следующей МКК (адрес перехода БМУ, 9 бит) и состояния контролируемых цепей устройства (7 бит) в процессе исполнения МКК. Максимальная скорость прогона микропрограмм соответствует тактовой частоте ~ 5 кГц.

Набор МКП осуществляется вводом восьмеричных кодов, соответствующих адресу и функциональным полям микрокоманды, на которые она разделена для удобства кодирования. Система реализована для микрокоманд длиной до 32 разрядов (принципиальных ограничений на увеличение разрядности нет). В формате МКК 18 младших разрядов предназначаются для стандартных функциональных полей БМУ и ПЦЭ: управление адресом ($AC0-AC6$) и флаговой логикой ($FC0-FC3$), функция МКК ($F0-F6$). Остальные разряды выделены для функциональных полей пользователя, которые разработчик использует по своему усмотрению (управление дешифраторами, мультиплексорами и т. п.). Возможно быстрое программирование системы на любые функциональные поля. После отладки содержимое буфера МКК с помощью модуля записи переписывается в ППЗУ проектируемого устройства в формате микросхем 32×8 либо 256×4 бит.

Рассмотрим функциональные схемы модулей связи и записи, а также структуру программного обеспечения и работу системы.

В состав модуля связи входят 24-разрядный и 16-разрядный регистры микрокоманды (субадресы $A(0)$ и $A(1)$), выходы которых выведены на разъем на передней панели модуля, а также 16-разрядный регистр слова состояния (субадрес $A(2)$). В этот регистр информация может быть записана через разъем на передней панели модуля командой $F(25)$. Для синхронизации микропроцессорного устройства в модуле связи предусмотрена еще одна команда — $A(3) F(25)$. По этой команде модуль генерирует импульс длительностью 200 нс.

Модуль записи предназначен для записи отлаженных микропрограмм путем выжигания перемычек в микросхемах 155РЕ3 и 556РЕ4. Модуль содержит регистр управления и статуса (субадрес $A(1)$), регистр адреса и данных (субадрес $A(0)$) и устройство управления. В составе регистра управления и статуса имеется счетчик времени, осуществляющий измерение времени записи каждого разряда. Чтение регистров осуществляется через вентили регистра управления и вентили адреса и данных. Запись слов данных в микросхеме осуществляется поразрядно. Для этого в регистре управления и статуса предусмотрены три разряда для адреса записываемого разряда. Форматы регистров показаны на рис. 2.

Модуль работает следующим образом. После получения адресов слова и записываемого разряда модуль действует автономно. При этом устройство управления модулем (рис. 3) начинает генерировать последовательность импульсов тока, которая подается на нужный выход программируемой микросхемы. Сигнал записи формируется мощным повторителем (обеспечивающим ток до 400 мА) и используется в качестве напряжения питания микросхем. Входной сигнал этого повторителя снимается с управляемого делителя напряжения, так что напряжение питания имеет форму меандра, а его уровень меняется с 5 (режим чтения) до 11 В (режим записи). Все выходы микросхем ПЗУ шунтируются вентилями, управляемыми от кода адреса разряда; в любой момент

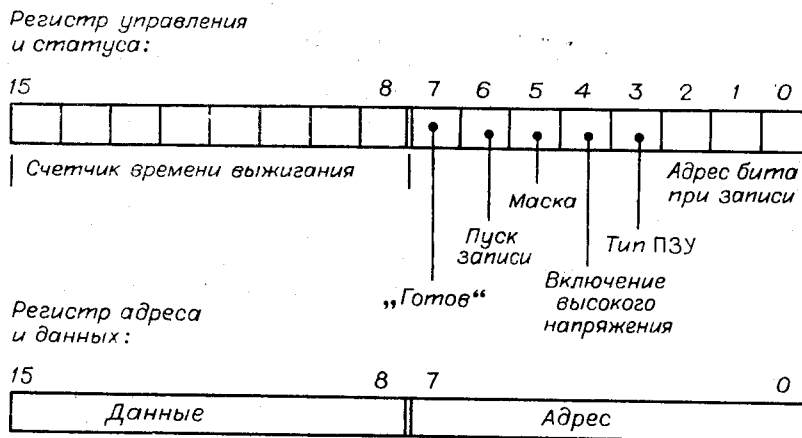


Рис. 2.

времени разомкнут только один ключ. Выбор типа микросхемы ПЗУ осуществляется с помощью ручного переключателя, расположенного на передней панели модуля. Для минимизации времени записи весьма существенным является обеспечение задержки в 100 нс разрешающего уровня CS относительно конца импульса выжигания, формируемой цепью RC (см. рис. 3). Достигнутое среднее время записи — 150 мкс. Для обеспечения оптимального режима записи длительность импульсов в последовательности плавно увеличивается.

В паузах между импульсами устройство управления модулем контролирует состояние выжигаемой перемычки и после окончания записи разряда выставляет запрос на магистраль. При превышении установленного времени записи в оптимальном режиме модуль продолжает запись в жестком режиме в течение 400 мс, после чего независимо от результата записи переходит в режим чтения.

Рассмотрим структуру программного обеспечения и работу системы. Программное обеспечение системы микропрограммирования состоит из двух подсистем: набора и отладки микропрограмм и записи микропрограмм в ПЗУ. Подсистема записи используется тогда, когда микропрограммы отлажены. Содержимое буфера МКК хранится на перфоленте (в абсолютном двоичном формате); оно может вводиться в ОЗУ М400 либо

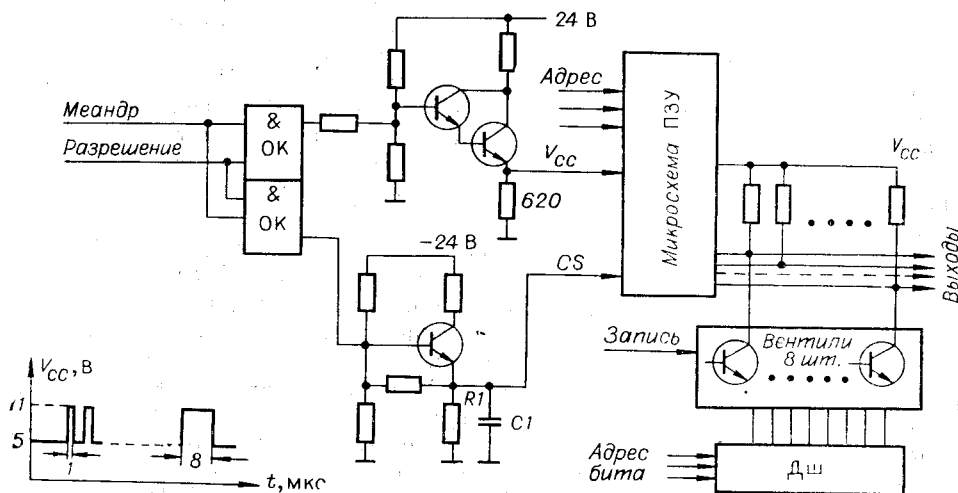


Рис. 3.

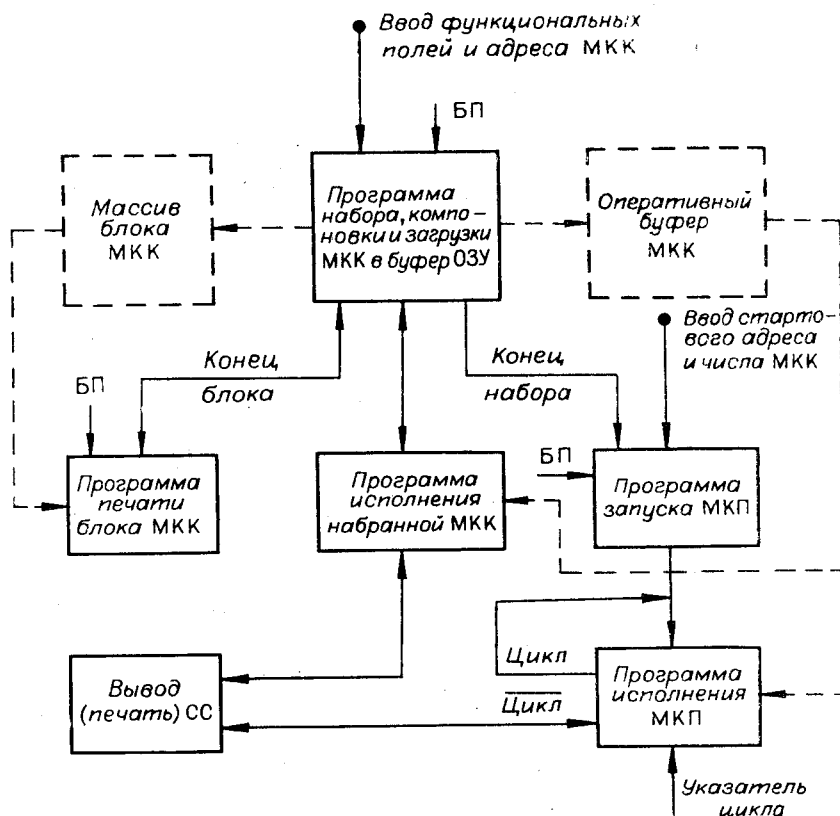


Рис. 4.

для продолжения набора и отладки в первой подсистеме, либо для перезаписи в ППЗУ во второй.

Обе подсистемы используют интерпретатор БЕЙСИК (версия 007А) и имеют в своем составе программы на языке БЕЙСИК и внешние (относительно интерпретатора) программы на Ассемблере, работающие с модулями связи и записи. Оперативная память М400 делится поровну (по 4 К слов) между интерпретатором и внешними программами.

Подсистема набора и отладки микропрограмм. Работа с этой подсистемой обычно ведется в двух режимах — набор микрокоманд и прогон микропрограмм. В первом режиме набранная МКК сразу же выполняется, чем обеспечиваются оперативное редактирование и отладка каждой МКК; неправильно выполненная МКК может быть тут же изменена и вновь проверена.

Возможны разовый прогон микропрограмм с заданного стартового адреса и циклический, продолжающийся сколь угодно долго. В первом случае выполняется указанное число МКК и выводятся на печать все слова состояния. При работе в цикле печать СС отсутствует, благодаря чему достигается наивысшая скорость прогона. Микрокоманды из буфера ОЗУ при прогоне микропрограмм выбираются в соответствии с адресами переходов в словах состояний.

В состав подсистемы набора и отладки входят следующие основные программы (рис. 4):

1. Программа набора, компоновки и загрузки МКК в буфер. Осуществляет перекодировку полей МКК из восьмеричной системы в десятичную, компоует (собирает) МКК в формате четырех байтов и загружает МКК в буфер по указанному адресу. В программе имеются об-

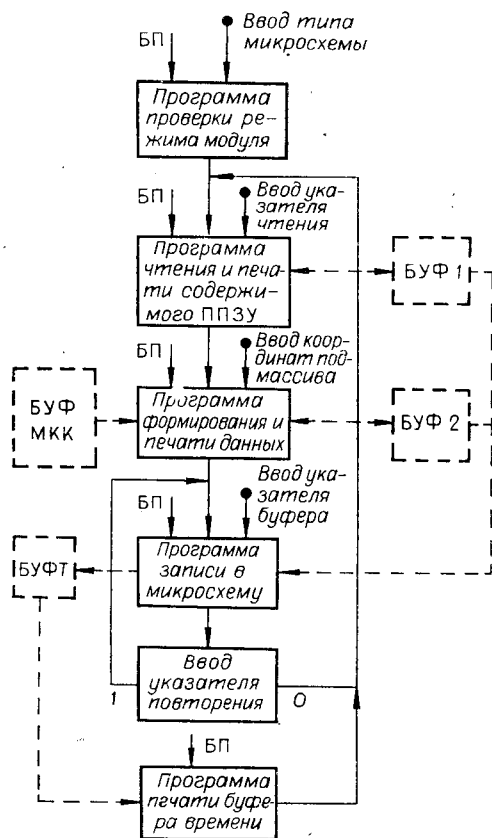


Рис. 5.

щий счетчик МКК и счетчик блока МКК, вызывающий печать массива блока после его заполнения в формате набираемых полей. Программа набора и компоновки выполняется на уровне интерпретатора БЕЙСИК и может быть оперативно перестроена на любые функциональные поля пользователя.

2. Программа печати (документирование блока МКК). Формат печати соответствует формату набора, дополнительно при распечатке указывается номер МКК по общему счетчику.

3. Программа исполнения набранной МКК. Скомпонованная МКК после записи в буфер сразу же выполняется, слово состояния микропроцессорного устройства читается и выводится на печать.

4. Программа вывода (печати) СС. Адрес перехода БМУ печатается в восьмеричном коде, контрольные биты — в двоичном.

5. Программа запуска микропрограмм. Осуществляет ввод стартового адреса МКП и числа исполняемых МКК (длина МКП), а также запуск МКП по указанному стартовому адресу.

6. Программа исполнения микропрограмм. Работает в двух режимах — разовом и циклическом прогонах микропрограмм.

Дополнительно используется стандартная программа вывода буфера МКК на перфоленду (на рис. 4 не показана).

Подсистема записи микропрограмм в ППЗУ. Подсистема записи обеспечивает запись содержимого буфера МКК в микросхемы ППЗУ двух форматов. Типы формата и микросхем задаются программно и устанавливаются переключателем в модуле записи.

Подсистема записи состоит из следующих основных программ (рис. 5).

1. Программа проверки режима модуля. Определяет соответствие заданного программой и установленного в модуле записи типа микросхемы. В случае несовпадения вырабатывается сообщение об ошибке, в ответ на которое должен быть сделан правильный выбор.

2. Программа чтения и печати содержимого ППЗУ. Читает последовательно все слова ППЗУ, заносит их в буфер БУФ 1 и выводит на печать в удобном для восприятия табличном формате. При чтении контролируется правильность задания адресов ППЗУ через регистр модуля. Команда на выполнение операции чтения и печати содержимого ППЗУ задается вводом указателя чтения в ответ на запрос программы. Операции чтения обычно выполняются как перед записью, так и после нее.

3. Программа формирования и печати данных, подлежащих записи в микросхему. Эта программа выбирает из буфера МКК требуемый подмассив данных, заполняет им буфер БУФ 2 и выводит его на печать. Координаты формируемого подмассива задаются с клавиатуры терминала и определяют тот двумерный фрагмент из общего поля МКК (512 ×

× 32 разряда), который должен быть записан в данной микросхеме. Координатами фрагмента являются номер группы адресов (от 0 до 1 для формата 256×4 бит и от 0 до 15 для формата 32×8 бит), а также номер полубайта (от 0 до 7 при формате 256×4 бит) или номер байта (от 0 до 3 при формате 32×8 бит).

4. Программа записи в микросхему. Управляет записью данных, хранящихся в БУФ 2 или БУФ 1. При этой операции сначала выставляется адрес слова, а затем последовательно выдаются адреса тех разрядов слова, в которых должна быть записана «1». Программа контролирует правильность записи адресов всех слов и всех разрядов в регистры модуля, а также правильность записи текущего слова, печатая сообщения об ошибках в процессе записи. При наличии ошибок запись можно повторить вновь, для чего предусмотрен ввод указателя повторения. Программа, кроме того, формирует буфер времени (БУФ T), затраченного (в относительных единицах счетчика времени) на запись каждого разряда. Эта дополнительная возможность, заложенная в систему записи, позволяет получать информацию, представляющую интерес для разработчиков и изготовителей микросхем ППЗУ.

5. Программа печати содержимого буфера времени. Вызывается оператором безусловного перехода (БП). Реализует наглядный формат распечатки, отображающий содержимое записанных данных, где на позициях разрядов, по которым записана «1», печатаются значения времени их выжигания, а по позициям, где записан «0», — пробелы. В результате строки БУФ T соответствуют двоичным кодам записанных данных.

Имеется также вариант подсистемы записи в ППЗУ, предусматривающий ввод записываемых восьмеричных данных с клавиатуры терминала. Формат ввода восьмеричных чисел (адрес — данные) соответствует типу микросхемы ППЗУ. В такой подсистеме вместо программы формирования и печати фрагментов используется программа ввода в БУФ 2 данных с клавиатуры.

В заключение отметим, что рассмотренная система микропрограммирования успешно использовалась при разработке двух устройств на базе микропроцессорного набора серии K589: автономного крейт-контроллера КАМАК [4] и 16-разрядной микро-ЭВМ для первичного сбора и обработки информации [5].

Отсутствие в системе модуля быстрого ОЗУ микрокоманд (ROM-симулятора) не позволяет проводить проверку отлаживаемых устройств в реальном времени. Однако в большинстве случаев с этим можно смириться, поскольку основной является проверка на правильность микропрограмм. Кроме того, структура системы и ее матобеспечение не противоречат включению в ее состав модуля ОЗУ микрокоманд. Очевидный, на первый взгляд, недостаток системы, состоящий в необходимости набора МКК в восьмеричных кодах, как показал опыт, оказался не очень существенным. Благодаря тому что ввод идет отдельно по каждому функциональному полю, процедура сильно упрощается и разработчик устройства довольно быстро осваивает технику кодирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Микропроцессоры.** Специальный выпуск.— Электроника, 1976, № 8.
2. **Адамс, Смит.** Сравнение семейства микропроцессорных секций. Ч. 2.— Электроника, 1978, № 17.
3. **Герроу, Хоу, Далли, Уокер.** Специализированная система для разработки микропроцессоров.— Электроника, 1975, № 4.
4. **Березенко А. И., Касперович А. Н., Прокопенко В. И. и др.** Крейт-контроллер КАМАК на микропроцессорном наборе.— Приборы и системы управления, 1978, № 9.

5. Козлачков В. А., Юношев В. П. Микро-ЭВМ для систем сбора и первичной обработки информации.— В кн.: Автоматизация научных исследований на основе применения ЭВМ. (Тезисы докладов Всесоюз. конф.) Новосибирск, изд. ИЛЭ СО АН СССР, 1979.

Поступила в редакцию 8 июня 1979 г.;
окончательный вариант — 24 сентября 1979 г.

УДК 681.3.02

М. Н. БУХАРОВ, В. М. ВУКОЛИКОВ, А. Н. ВЫСТАВКИН,
А. Я. ОЛЕЙНИКОВ, Л. З. ПОСОШЕНКО, В. Н. СРЕЛЬНИКОВ,
В. А. ТИМОФЕЕВ, Н. А. ТИХОМИРОВ
(Москва)

УНИФИЦИРОВАННАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

В настоящее время интенсивно развивается ряд направлений в общей физике, геофизике и других областях науки, связанных с исследованиями распространения радиоволн, а также с использованием методов радиофизики для изучения свойств окружающей среды. Характерная черта таких исследований — возрастание роли радиофизических экспе-

Результаты анализа

Номер п/п	Число источников информации	Вид информационного сигнала	Скорость поступления информации, байт/с	Объем информации, поступающей за время цикла, Кбайт	Требуется ли привязка к сигналам СЕВ?
1	4	Напряжение постоянного тока	8	700	Нет
2	1	То же	$20 \cdot 10^3$	1	»
3	1	Двоичный код	400	35 000	Да
4	3	Напряжение постоянного тока	$150 \cdot 10^3$	3	»
5	4	То же	80	600	»
6	6	»	180	15 600	»
7	4	»	450	1620	»
8	2	»	$16 \cdot 10^3$	18 000	»
9	6	»	$16 \cdot 10^3$	18 000	»
10	22	»	900	16 000	»
11	4	Напряжение постоянного тока, двоичный код	500	10	»

Примечание. ОРВ — обработка в реальном времени, ОО — обработка оперативная спектра, Г — определение закона распределения, расчет дисперсии, математического ожидания,