

Описанная установка была использована нами для исследования малоизученных слабых линий КР в HgI_2 . На рис. 5 приведен участок спектра КР HgI_2 , возбужденного He-Ne-лазером. Требуемая точность в данном эксперименте составляла 10%. Верхняя кривая получена с помощью автоматизированной установки. Время накопления информации в области слабых линий КР 49, 54, 64 см^{-1} составляло $\tau = 35-40$ с, вблизи максимума сильной линии 112 см^{-1} — $\tau = 4$ с. Нижняя кривая записана в ручном режиме с постоянной времени 40 с (максимальная постоянная времени счетчика фотонов). Этого времени интегрирования, как видно из рисунка, недостаточно для надежного обнаружения слабых линий КР. В области максимума линии 112 см^{-1} время интегрирования избыточно.

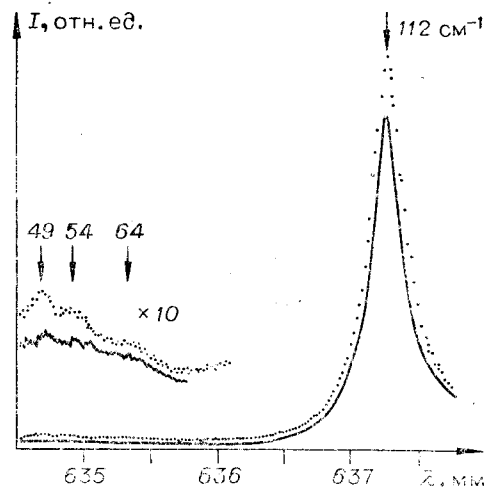


Рис. 5. Участок спектра КР HgI_2 .

ЛИТЕРАТУРА

1. Лифляндчик Б. И., Сергеев Д. В., Трилесник И. И. Современное состояние и перспективы использования вычислительной техники в оптическом спектральном приборостроении.— ОМП, 1978, № 5, с. 62—68.
2. Yokota T., Takagi Y., Shigenari T. Digital Control of a Raman Spectrometer by a Small Computer and its Application to Soft Mode Spectroscopy.— Jap. J. of Appl. Phys., 1978, vol. 17, N 9, p. 1643—1650.
3. Niemczyk T. M., Eittinger D. G. A Computer-Controlled Photon Counting Spectrometer for Rapidly Scanning Low Light Level Spectra.— Appl. Spectrosc., 1978, vol. 32, N 5, p. 450—453.
4. Зайдель А. И., Островская Г. В., Островский Ю. И. Техника и практика спектроскопии. М.: Наука, 1976.
5. Баранова И. Д., Лагутин В. И. Погрешности регистрации спектров, вызванные дискретностью съема информации в спектрофотометрах.— ОМП, 1978, № 5, с. 75—76.

Поступила в редакцию 17 октября 1979 г.

УДК 621.372.54 : 681.327.8

В. К. БЕРЕСНЕВ, Ю. М. КАТРУК, Б. М. РОГАЧЕВСКИЙ,
Ю. И. ЩЕТИНИН, С. П. ЮНОШЕВ
(Новосибирск)

МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ СИСТЕМА ОПЕРАТИВНОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

В геофизических исследованиях широко применяются метод переходных процессов и метод зондирования становлением поля в ближней зоне [1, 2]. В этих методах для получения информации о геoeлектроразреze измеряются мгновенные значения ЭДС, наведенной в приемной пет-

ле после прекращения зондирующего импульса тока в генераторном контуре.

Из-за помех результаты однократных измерений малых значений ЭДС существенно искажаются. Одним из эффективных методов борьбы с помехами является метод накопления, для реализации которого необходимо проводить N зондирований и усреднять значения одноименных ординат кривой ЭДС.

Значительный интерес для практики геофизических исследований представляют устройства, позволяющие проводить усреднение ординат кривой ЭДС непосредственно в процессе измерений в полевых условиях и имеющие относительно небольшие габариты и малую потребляемую мощность. Несколько модификаций таких устройств были разработаны ранее («Зонд» [3], «Цикл-2» [1]). В настоящее время в связи с появлением более совершенной элементной базы, в частности микропроцессоров, можно создать более компактные системы, чем «Зонд» и «Цикл-2», обладающие в то же время более широкими функциональными возможностями.

Принципиальное отличие описываемой ниже системы заключается в том, что в процессе накопления мгновенных значений ЭДС по рекурсивным алгоритмам проводятся вычисления текущих оценок математического ожидания и среднеквадратической ошибки. Кроме сокращения затрат на оборудование (за счет уменьшения разрядностей сумматора и оперативного запоминающего устройства (ОЗУ)), оказывается возможным слежение за ошибкой измерений в процессе накопления и прекращения зондирования при достижении допустимого значения ошибки. Это позволяет избежать излишних энергетических затрат на выполнение зондирований.

Для нахождения оценки математического ожидания в системах «Зонд» и «Цикл-2» используется следующий алгоритм:

$$y_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_{ij}, \quad (1)$$

где x_{ij} — результат измерения i -й ординаты кривой ЭДС в j -м зондировании, N — число зондирований. При этом разрядность суммы в формуле (1) растет с увеличением N в соответствии с выражением

$$t_1 = a + \log_2 N$$

(t_1 — число разрядов суммы, a — число разрядов x_{ij} . Так, например, для алгебраического суммирования тысячи значений x_{ij} ($N = 1000$), представленных 10-разрядным двоичным кодом ($a = 10$), необходимы 21-разрядные сумматор и ОЗУ.

Кроме формулы (1), для получения оценок математического ожидания может быть также применен рекурсивный алгоритм [4, 5]

$$y_{i,N} = y_{i,N-1} + \frac{x_{i,N} - y_{i,N-1}}{N} \quad (2)$$

с начальным условием $y_{i,0} = 0$. В выражении (2) N — текущий номер зондирования, $x_{i,N}$ — результат измерения i -й ординаты кривой ЭДС в N -м накоплении, $y_{i,N-1}$ — среднее i -й ординаты по предыдущим $N-1$ накоплениям.

Оценим требуемые разрядности сумматора и ОЗУ в этом случае.

Из (2) следует, что при больших N (больше нескольких десятков) погрешность вычисления $y_{i,N}$ будет в основном определяться погрешностью округления. Если предположить, что ошибки округления при каждом вычислении $y_{i,N}$ независимы и имеют равномерный закон распределения плотности вероятности, то дисперсия одного округления равна $\frac{1}{12} \cdot 2^{-2t_2}$

(t_2 — требуемое число разрядов). Тогда дисперсию ошибки вычисления величины $y_{i,N}$ можно определить из следующего выражения:

$$D[y_{i,N}] = N \frac{1}{12} \cdot 2^{-2t_2}.$$

Задавая $D[y_{i,N}] = 2^{-2a-1}$, найдем $t_2 \cong a - 1 + (1/2) \log_2 N$.

Таким образом, применение алгоритма (2) вместо (1) дает выигрыш в числе разрядов сумматора и ОЗУ на $1 + (\log_2 N)/2$ разрядов. Для $a = 10$, $N = 1000$ указанный выигрыш составляет 6 разрядов.

Недостаток алгоритма (2) — увеличенное время на обработку одной ординаты из-за необходимости выполнять при каждом вычислении операцию деления. В тех случаях, когда это обстоятельство несущественно, для нахождения оценок математического ожидания целесообразно применить алгоритм (2), позволяющий сократить объем оборудования и потребляемую мощность, что имеет особое значение для полевой аппаратуры.

В геофизическом эксперименте, как и во многих других случаях, важно знать значение среднеквадратической ошибки обработанных результатов измерений $y_{i,N}$. Известно [6], что для ее оценки можно воспользоваться выражением

$$\sigma_{i,N} = \sqrt{\frac{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_{ij}^2 - y_{i,N}^2}{N-1}}. \quad (3)$$

Из (3) видно, что вычисление $A_{i,N} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_{ij}^2$ выполнимо по рекурсивному алгоритму, аналогичному соотношению (2),

$$A_{i,N} = A_{i,N-1} + \frac{x_{i,N}^2 - A_{i,N-1}}{N-1} \quad (4)$$

с начальным условием $A_{i,0} = 0$.

Таким образом, если значения $y_{i,N}$ и $A_{i,N}$ вычислять с помощью одной и той же процедуры вида (2), то это приведет к созданию более экономичной программы и, как следствие, к уменьшению аппаратных затрат.

Для нахождения оценок математического ожидания результатов измерений мгновенных значений кривой ЭДС и вычисления значений среднеквадратического отклонения авторами была разработана программа, в которой применены алгоритмы (2) и (3) с учетом (4). Блок-схема программы представлена на рис. 1. В программе вычисления значений $y_{i,N}$ по (2) и $A_{i,N}$ по (4) реализованы в виде обращений к единой процедуре

$$Q_N = Q_{N-1} + (q_N - Q_{N-1})/N \quad (5)$$

с формальными параметрами q_N и Q_{N-1} .

Наряду с вычислением для каждой из ординат текущего среднего, в программе предусмотрена возможность вычисления среднеквадратического отклонения для некоторых $y_{i,N}$. Для сокращения времени обработки одной ординаты в режиме «Накопление» вычисляется лишь значение параметра $A_{i,N}$, а вычисление полного значения $\sigma_{i,N}$ по (3) проводится в режиме «Опрос памяти» после завершения процесса накопления.

Кроме того, значение одной из ординат кривой ЭДС выводится на индикацию в режиме «Накопление», причем для этой ординаты $A_{i,N}$ не вычисляется. Программа обработки реализована в созданном макете системы, построенном с использованием процессорных элементов (ЦПЭ) К584ИК1. В данном ЦПЭ предусмотрено совмещение в одном такте операций суммирования (вычитания) и сдвига, что позволяет составлять

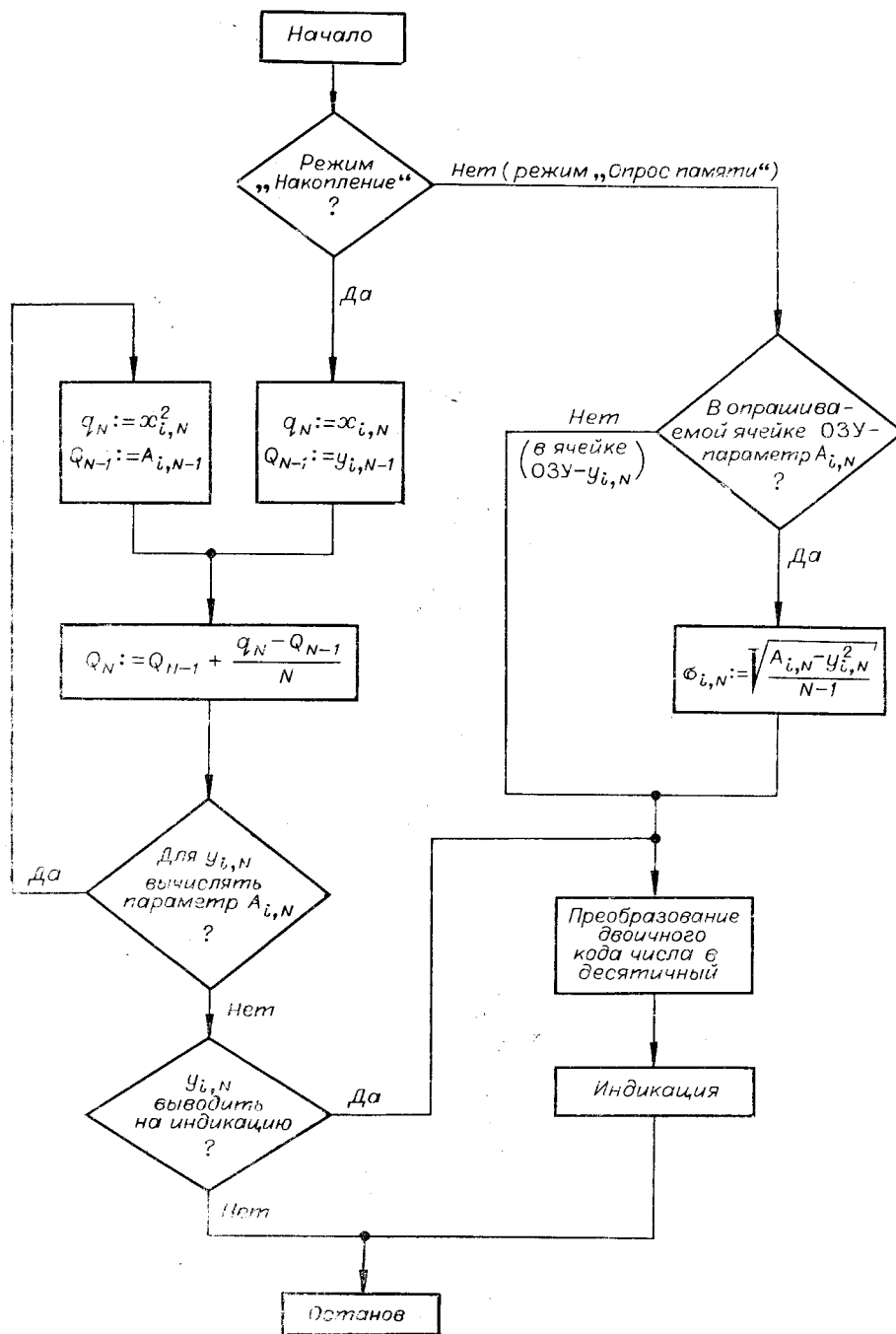


Рис. 1.

экономичные подпрограммы для циклических операций со сдвигами (деление, умножение и т. д.). Поскольку именно эти операции в рекурсивных алгоритмах (2)—(4) определяют основное время обработки одной точки, применение микропроцессора К584ИГ1 (тактовая частота 500 кГц) обеспечило сравнительно небольшое время вычисления по формуле (3) (~2,6 мкс на один разряд) и вполне умеренное потребление (один 4-разрядный ЦПЭ потребляет 0,7 Вт).

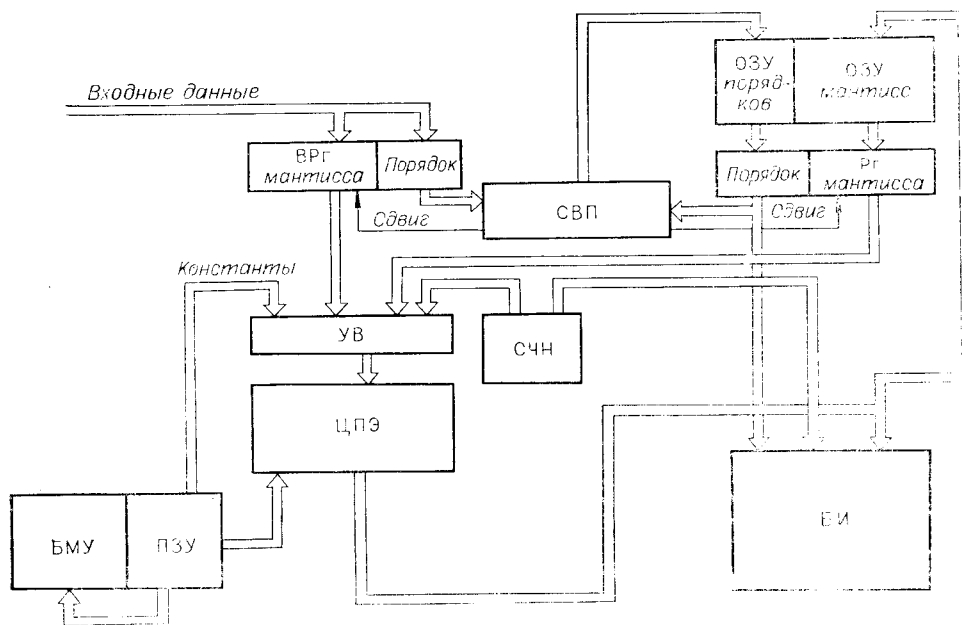


Рис. 2.

Структурная схема системы приведена на рис. 2. Она состоит из следующих основных функциональных узлов.

1. Центральный процессорный элемент (ЦПЭ), содержащий 4 микросхемы К584ИК1. ЦПЭ выполняет операции согласно формулам (2)–(4). Кроме того, с помощью ЦПЭ реализуется операция преобразования двоичного кода числа в двоично-десятичный при выводе результатов на индикацию.

2. Постоянное запоминающее устройство (ПЗУ) представляет собой управляющую память, организованную по системе 2D. В ПЗУ записаны управляющие слова в двоичном коде, обеспечивающие выполнение программы обработки данных.

3. Блок микропрограммного управления (БМУ) определяет порядок выполнения микрокоманд ЦПЭ.

4. Оперативное запоминающее устройство (ОЗУ) предназначено для хранения значений текущих средних ($y_{i,N}$) и параметра $A_{i,N}$. Длина слова ОЗУ — 18 двоичных разрядов, из них 16 разрядов предназначены для хранения мантисс чисел и 2 — для хранения их порядков.

5. Регистр ОЗУ (Рг ОЗУ) — буферный регистр памяти, осуществляющий временное хранение данных, считываемых из ОЗУ.

6. Входной регистр (ВРг) используется для фиксации входных данных.

7. Схема выравнивания порядков (СВП) служит для выравнивания порядков чисел перед выполнением аддитивных операций над операндами. Ее наличие позволяет существенно расширить динамический диапазон обрабатываемых сигналов без увеличения разрядностей АУ, ОЗУ и т. д.

8. Устройство ввода (УВ) предназначено для подключения одного из источников информации (входного регистра, регистра ОЗУ, счетчика числа накоплений, зоны констант ПЗУ) к ЦПЭ.

9. Счетчик числа накоплений (СЧН).

10. Блок индикации (БИ) предназначен для контроля за процессом накопления и для индцирования результатов обработки. На индикацию

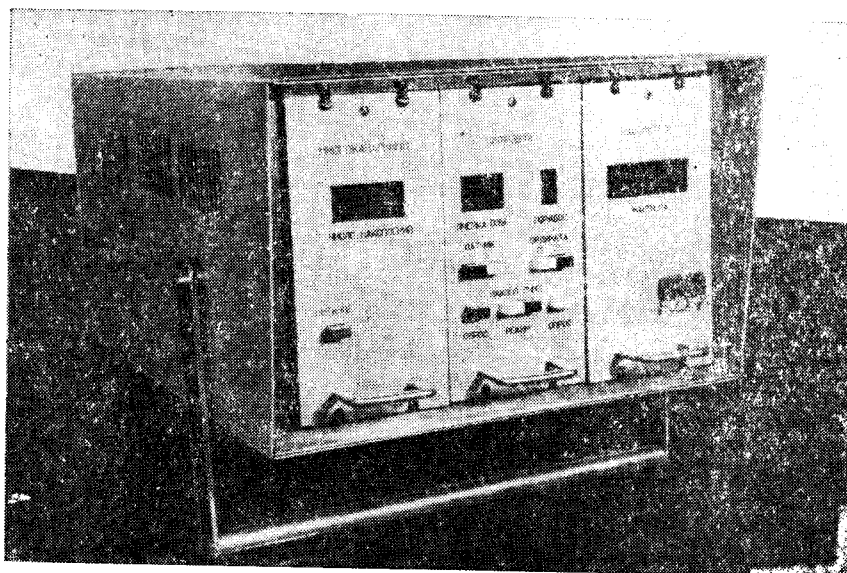


Рис. 3.

выводятся следующие данные: число накоплений N , номер опрашиваемой ячейки ОЗУ, порядок, знак и мантисса результата.

Обработка входных данных, представленных в виде $B8^\beta$ (B — мантисса, 11 двоичных разрядов с учетом знакового; β — порядок, 2 двоичных разряда), происходит следующим образом.

В режиме «Накопление» для каждого зондирования во входной регистр записывается двоичный код результата измерения очередной ординаты кривой ЭДС $x_{i,N}$. В Рг ОЗУ из ОЗУ вызывается код $y_{i,N-1}$. СВП анализирует различные порядков чисел $x_{i,N}$ и $y_{i,N-1}$ и обеспечивает их выравнивание. ЦПЭ в соответствии с формулой (2) вычисляет значение мантиссы очередного текущего среднего $y_{i,N}$. Мантисса и порядок результата вычислений заносятся в ту ячейку ОЗУ, где хранилось значение $y_{i,N-1}$.

В тех случаях, когда для обрабатываемой ординаты $y_{i,N}$ требуется получить $A_{i,N}$, в ЦПЭ после вычисления $y_{i,N}$ вновь вводится содержимое входного регистра. Значение $x_{i,N}$ возводится в квадрат, и происходит повторное обращение к процедуре (5). После этого начинается обработка следующей $(j+1)$ -й ординаты.

Когда число накоплений достаточно, система переводится в режим «Опрос памяти». В этом режиме проводится последовательный опрос ячеек ОЗУ. Если в опрашиваемой ячейке содержится параметр $A_{i,N}$, ЦПЭ в соответствии с выражением (3) вычисляет значение $\sigma_{i,N}$. Перед выводом чисел на индикацию ЦПЭ выполняет преобразование двоичного кода в десятичный.

Технические характеристики макета системы: число усредняемых ординат 48; динамический диапазон обрабатываемых чисел 120 дБ; число накоплений 1—1023; разрядность информационного слова 16 бит; время вычисления оценки математического ожидания 80 мкс; время вычисления рекурсивной составляющей оценки среднеквадратической ошибки 120 мкс; потребляемая мощность 15 Вт; габаритные размеры $370 \times 275 \times 180$ мм³. Внешний вид макета показан на рис. 3.

Авторы выражают благодарность Д. И. Кунину за участие в постановке задачи и обсуждении ряда вопросов, а также А. М. Григорьеву за монтаж и изготовление макета.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зондирование становлением поля в ближней зоне/Под ред. В. С. Суркова. М., Недра, 1976.
2. Аузик А. К. Электроразведка. М., Недра, 1977.
3. Возник В. Р. и др. О результатах полевых испытаний электроразведочной аппаратуры «Зонд» по методу зондирования становлением поля в ближней зоне (ЗСБЗ).— В кн.: Измерительная аппаратура для разведочной геофизики. Новосибирск, изд. ИАиЭ СО АН СССР, 1973.
4. Романенко А. Ф., Сергеев Г. А. Вопросы прикладного анализа случайных процессов. М., Сов. радио, 1968.
5. Способ и устройство увеличения отношения сигнал/шум. Кл. G06 f 15/00, 15/34.235.-452. США, Пат. № 3.557.354.
6. Пугачев В. С. Статистические методы в технической кибернетике. М., Сов. радио, 1971.

Поступила в редакцию 9 мая 1979 г.

УДК 681.325.65

А. В. ВАСИЛЕВСКИЙ, А. А. ГОРОБЧЕНКО, Е. М. ЗЛОТНИК,
О. Ф. НАГИБИНА, О. П. СЕМЕНКОВ, Н. Е. ШИРОКОВА
(Минск)

ДИАЛоговая графическая система с цветной ЭЛТ на базе мини-ЭВМ

Многие современные диалоговые графические системы имеют в своем составе малую универсальную ЭВМ. Использование мини-ЭВМ позволяет расширить функциональные возможности системы, организовать как автономный режим обработки, при котором все программы и данные размещаются и обрабатываются в малой ЭВМ, так и дистанционный, когда дисплейная система работает под управлением более мощной ЭВМ [1, 2].

В настоящей работе описывается диалоговая графическая система ГТ-77, структурная схема которой представлена на рисунке.

ГТ-77 содержит ЭВМ СМ-3 с накопителем на магнитном диске и стандартным набором внешних устройств, дисплейный процессор (ДП) с

