

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна



10 - 5728

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ  
И АВТОМАТИЗАЦИИ

И.И. Шелонцев, В.Н. Шигаев

ПРОГРАММА УПРАВЛЕНИЯ  
СКАНИРУЮЩИМ АВТОМАТОМ (НРД)  
И ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ ОПТИМИЗАЦИИ  
РЕЖИМА ИЗМЕРЕНИЯ ФОТОСНИМКОВ  
С ПУЗЫРЬКОВЫХ КАМЕР

1971

10 - 5728

И.И. Шелонцев, В.Н. Шигаев

ПРОГРАММА УПРАВЛЕНИЯ  
СКАНИРУЮЩИМ АВТОМАТОМ (НРД)  
И ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ ОПТИМИЗАЦИИ  
РЕЖИМА ИЗМЕРЕНИЯ ФОТОСНИМКОВ  
С ПУЗЫРЬКОВЫХ КАМЕР

ОИИ  
БИБЛИОТ КА

## § I. Функции программы управления и накладываемые ограничения

Математическое обеспечение системы измерений снимков с пучковых камер на базе сканирующего автомата типа *HPD /1/, /6/* прошло комплексную проверку осенью 1970 года и в настоящее время находится в опытной эксплуатации. Описываемая в данной работе программа управления сканирующим автоматом является составной частью программного комплекса *HAZE1 /2/*, обслуживающего фазу измерений снимков в общей цепи обработки данных (рис. 1).

Конфигурация системы на этапе измерений снимков представлена на рис. 2. С системной точки зрения сканирующий автомат (СА) выступает как внешнее устройство ввода *CDC-1604A*, выполняющего функции преобразователя фотографической информации в цифровую форму.

Программа управления (ПУ), обслуживающая этот автомат, должна выполнять две основные функции: 1) управление работой СА, прием и накопление информации и 2) выборку накопленной информации и ее декодирование. Эти операции должны выполняться в соответствии с параметрами обращения к ПУ, по которым, если необходимо, формируется и выполняется соответствующая им последовательность команд управления СА.

При разработке ПУ и выборе режима работы в реальном времени учитывались такие факторы, как: 1) интенсивность входящего потока данных, 2) требования, предъявляемые программным комплексом *HAZE1*, и 3) характеристики каналов обмена *CDC-1604A*. Остановимся подробнее на каждом из этих факторов в отдельности.

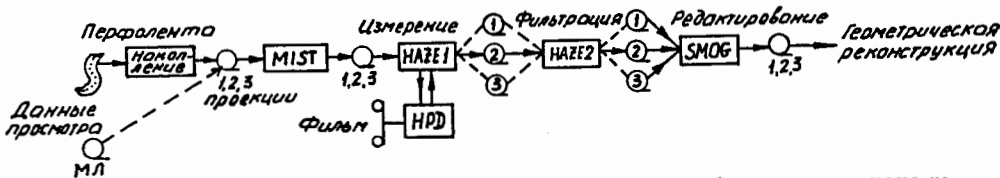


Рис. 1. Структура математического обеспечения системы измерений снимков с пузырьковых камер на НРД.

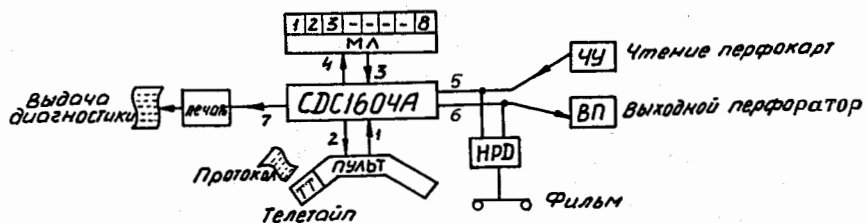


Рис. 2. Конфигурация оборудования, используемого на этапе измерения снимков.

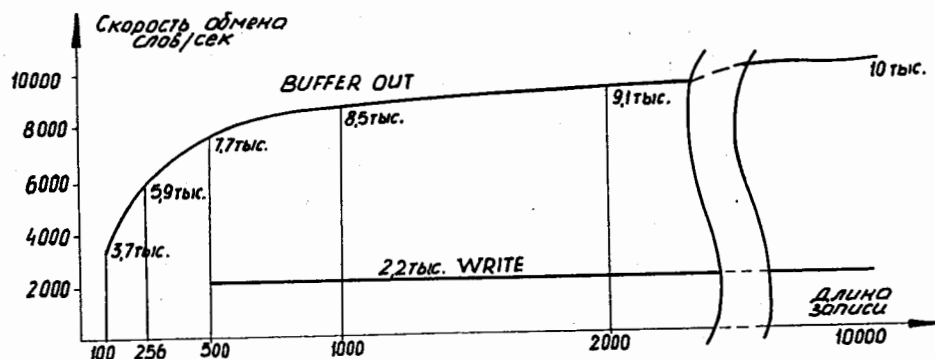


Рис. 3. Эффективная скорость вывода информации на магнитную ленту как функция длины логической единицы записи.

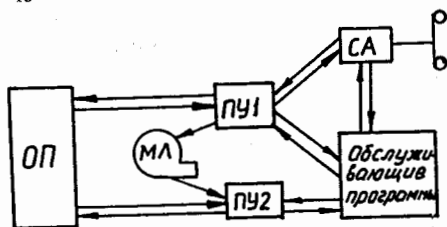


Рис. 4. Конфигурация программы управления СА.

### Интенсивность входящего потока данных

Проведенные нами исследования показывают, что при сканировании снимков с двухметровой камеры ЦЕРН, полученных на пучке  $\pi^-$  мезонов с энергией  $16 \text{ GeV}$ , треки событий и реперные кресты надежно регистрируются отсчетной системой СА при таком уровне дискриминации сигналов от пленки, при котором с одного кадра поступает не менее 60 000 координат. Для ряда других экспериментов на той же камере средний объем информации с одного кадра фильма возрастает до 80 000 – 100 000 координат. При 3000 об./мин диска строчной развертки автомата (2,5 мсек на 1 строку раstra) кадр может быть просканирован за 4–5 секунд, что при 80000 координат приводит нас к средней за время сканирования снимка интенсивности потока данных в 16–20 тысяч координат/секунду.

Как мы увидим ниже, в программе управления размер приемного массива, выполняющего роль разравнивающего буфера, составляет всего несколько тысяч слов, поэтому условия приема информации от СА определяются в большей степени средней интенсивностью потока за время заполнения буферного массива. Опыт эксплуатации измерительных систем НРД свидетельствует, что эта локальная средняя интенсивность может быть в 2 раза выше средней интенсивности за снимок /7/, т.е. достигать 32–40 тысяч координат/секунду.

Обмен между СА и CDC-1604A производится полноразрядными словами (48 дв.разрядов), каждое из которых содержит коды одной пары координат /4/. Таким образом, за время скапирования снимка программа управления должна обеспечить прием от СА большого объема информации (до 50 тыс. 48-разрядных слов) при средней интенсивности входящего потока 8–10 тысяч слов/сек и локальной интенсивности до 16–20 тысяч слов/сек.

### Требования, предъявляемые комплексом НАЗЕ1

Мониторная система СО-ОР /8/ машины CDC-1604A предоставляет пользователю возможность разбиения программы на сегменты, загружаемые в оперативную память в процессе счета. Однако надо учитывать, что при частой смене подпрограмм в оперативной памяти скорость счета может значительно замедлиться, так как каждый вызов отсутству-

ощего в ИОЗУ сегмента связан с обращением к магнитной ленте. По соображениям производительности системы приходится размещать в оперативной памяти все подпрограммы, необходимые на этапе измерений снимков на СА. Отсюда в форме ограничения вытекает первое требование к программе управления: длина буферного массива для приема информации от СА не должна превышать 6000 слов ( $I_0 \pm 20\%$  общего объема информации со снимка).

Второе ограничение вытекает из относительно малой мощности процессора CDC-1604A, равной приблизительно  $I/2$  мощности процессора IBM-7090 или  $I/20$  мощности центрального процессора CDC-6600. Малая мощность процессора CDC-1604A делает невозможным реализацию классической схемы обработки данных HPD в реальном времени (схема А, рис.5). Связано это с тем, что на начальном участке снимка подпрограмме GATE необходимо произвести значительный объем вычислений по нахождению бит номера кадра и его декодированию, по опознаванию опорных крестов и вычислению координат их центров, по преобразованию в систему координат СА параметров математической маски события, измеренной на просмотрном столе<sup>/3/</sup>. Во время выполнения этих операций выборка данных из приемного массива сильно замедляется, что может привести к его переполнению информацией, поступающей от СА. Заметим, что при сканировании некоторых снимков с 2-метровой камеры ЦЕРН приемный массив на 4000 координат оказывался недостаточным даже при работе сканирующего автомата на линии с CDC-6600<sup>/7/</sup>. Оценки, основанные на сравнении мощности процессоров разных ЭВМ, приводят к выводу, что при реализации комплекса HAZE1 по схеме А (рис.5) буферный приемный массив в оперативной памяти CDC-1604A должен быть не менее 15-20 тысяч слов, что явно противоречит приведенному выше ограничению на длину этого массива.

Учитывая реальные возможности машины CDC-1604A, рабочий вариант комплекса HAZE1 был создан по схеме Б (рис.5), по которой в процессе сканирования фотоснимка работает только программа управления, обеспечивающая управление автоматом, прием информации и запись всей принимаемой информации на магнитную ленту. По окончании сканирования снимка подпрограмма GATE анализирует данные, считываемые с ленты. При такой схеме комплекса HAZE1 во время собственно сканирования снимка вообще не используется какая-либо

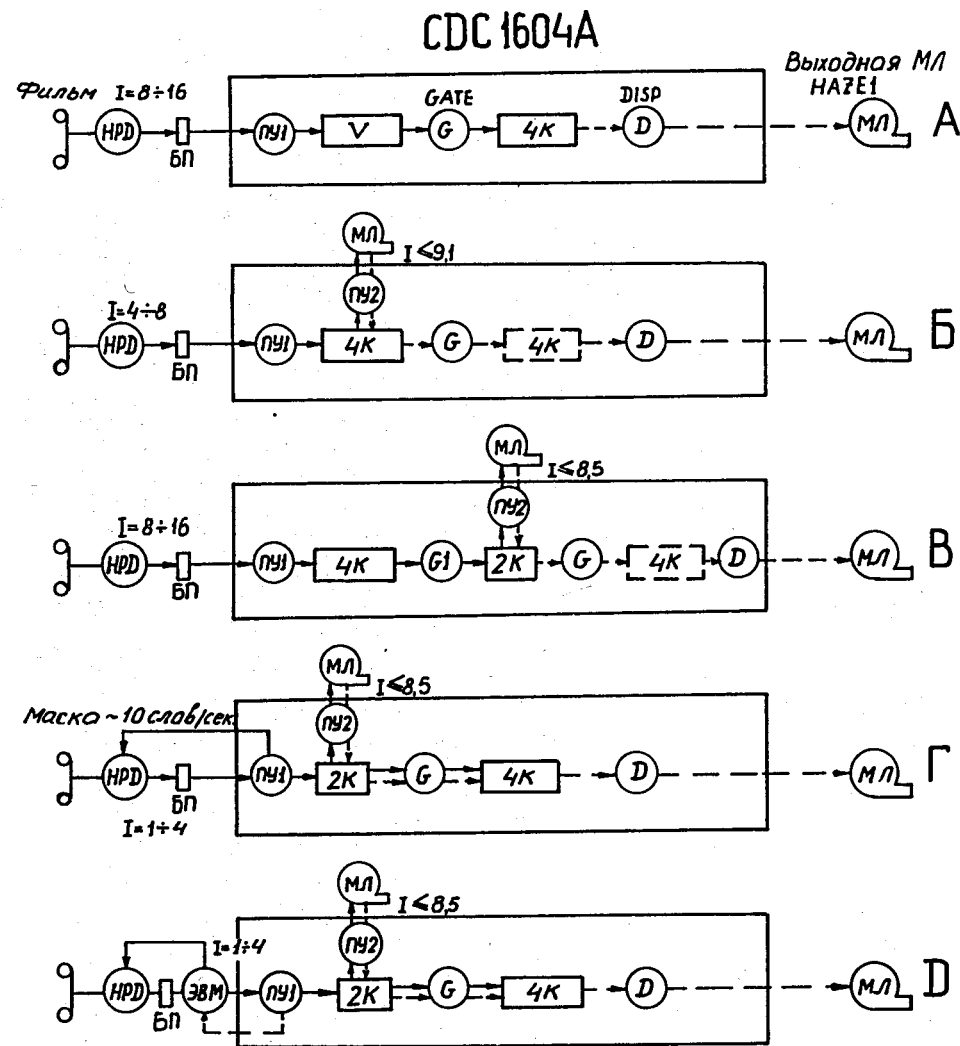


Рис. 5. Поток информации при разных схемах реализации комплекса HAZE1. Сплошными стрелками отмечены процессы, идущие одновременно со сканированием снимка. Интенсивность  $I$  — в тысячах слов/сек.

информация о содержании снимка. Это делает созданный вариант программы управления СА универсальной программой, пригодной для использования в других системах обработки фотоматериала на базе СА, например, в системе обработки фотографий с магнитных искровых спектрометров.

Необходимость выводить на магнитную ленту данные параллельно с приемом информации от СА является вторым требованием к программе управления со стороны комплекса *HAZE1*. Обратимся в связи с этим к некоторым характеристикам каналов обмена *CDC-1604A*.

#### Каналы обмена.

Сканирующий автомат, как и накопители на магнитных лентах, подсоединен к буферным каналам обмена *CDC-1604A*. Скорость обмена определяется быстродействием внешнего оборудования, поскольку оно синхронизирует обмен в канале. Аппаратура связи СА с *CDC-1604A* обеспечивает скорость обмена до 30 тысяч слов/сек <sup>1/4</sup>, что в 1,5-3 раза превосходит полученные выше оценки интенсивности потока данных.

Рассмотрим подробнее вопрос о выводе информации на магнитную ленту. На рис. 3 представлены полученные нами графики зависимости эффективной скорости обмена от длины логической единицы записи. В условиях ограничений, накладываемых на программу управления, вывод данных на магнитную ленту может осуществляться массивами длиной до 3000 слов, что приводит нас к эффективной скорости обмена, не превышающей 9,5 тысяч слов/сек. Это совпадает со средним значением интенсивности входящего потока данных от СА, но в 2 раза ниже локальной интенсивности потока. Следовательно, при первоначально сделанных предположениях относительно скорости сканирования снимка на СА (~ 5 сек) нельзя гарантировать надежную работу комплекса *HAZE1*, реализованного по схеме Б, рис.3. Этот вариант *HAZE1* может успешно эксплуатироваться при меньшей скорости сканирования снимка (~ 10 сек на кадр), что фактически имеет место с момента сдачи СА в эксплуатацию.

## § 2. Реализация программы управления

Программа управления состоит из трех частей. Это, во-первых, собственно программа управления (ПУ I), имеющая дело со сканирующим автоматом, магнитной лентой (МЛ) и основной программой (ОП)-диспетчером; во-вторых, программа расшифровки (ПУ 2), берущая информацию с МЛ и преобразующая ее к стандартному виду, и, наконец, обслуживающие программы для управления буферными каналами, опроса состояния СА и т.д. Первые две части написаны на языке *FORTRAN*, последняя на языке *CODAP-1*. Общая конфигурация программы показана на рис.4.

а) Программа управления отдает приказы СА в соответствии с формальным параметром I и сопровождающей информацией, которая хранится в общих массивах. Соответствие между параметром I и функциями ПУ приведено в нижеследующей таблице.

I	Функция программы управления
1	Измерительный стол СА устанавливается в точку X
2	Измерительный стол СА устанавливается в точку Y
3	Установить верхнюю границу движения стола при сканировании
4,5	Перематывается пленка на N кадров в заданном направлении
6,7	Начинается сканирование (0° или 90°)
8,9,10,12	Не используется
II	Измерительный стол СА устанавливается в начальное положение
13,14	Выдается команда на установку измерительного стола СА в точку X и Y соответственно (без контроля выполнения)
0	Исполняется вся последовательность приказов.



Следует отметить три функционально различные группы операций. При  $I=0$  выдается весь набор приказов, необходимых для сканирования.

При этом проводится максимально полный контроль правильности выполнения приказов. При  $I=13,14$  отдается приказ установки измерительного стола СА в координаты X, Y соответственно, при этом контроль не ведется, и, следовательно, не задерживается выполнение основной программы. При остальных значениях индексов проводятся соответствующие операции, указанные в таблице. Контроль выполнения приказов управления СА ведется с помощью специальных команд опроса /5/, /9/ и датчика времени, имеющегося на CDC-1604A. Общая схема контроля показана на рис.6. Если СА не выполняет требуемых операций, то программа обращается к основной программе, указав вид ошибки, и выдает информацию об этом на телетайп CDC-1604A. Так, например, если выполнение установки измерительного стола СА в начальное положение длится более 15 сек., ПУ I прекращает выполнение операции, выдает на телетайп сообщение об ошибке и обращается к специальному входу программы-диспетчера.

Кроме формального параметра ПУ I использует для формирования приказов переменные из общих массивов. Эти переменные содержат следующую информацию: начальное и конечное положение измерительного стола СА по одной из координат и начальное положение по другой, направление и число кадров для протяжки пленки, уровень дискриминации, плотность строк сканирования, скорость движения стола. После того, как автомату отданы все приказы, программа следит за поступлением информации по буферному каналу и по мере заполнения памяти выдает информацию на МЛ. Для поступающих данных используются две секции буферного массива по 2000 слов. Переключение их осуществляется по приведенной ниже схеме (рис.7).

б) Программа расшифровки (ПУ 2) имеет дело с ОП и с магнитной лентой. Из ПУ I она получает информацию о количестве зон, записанных на МЛ, и при первом обращении возвращается к первой записанной зоне, считывает ее и выдает первую строку растра. При последующих обращениях она выдает по одной строке растра, считывая информацию, если это необходимо, с МЛ. Если декодирование невозможно, информа-

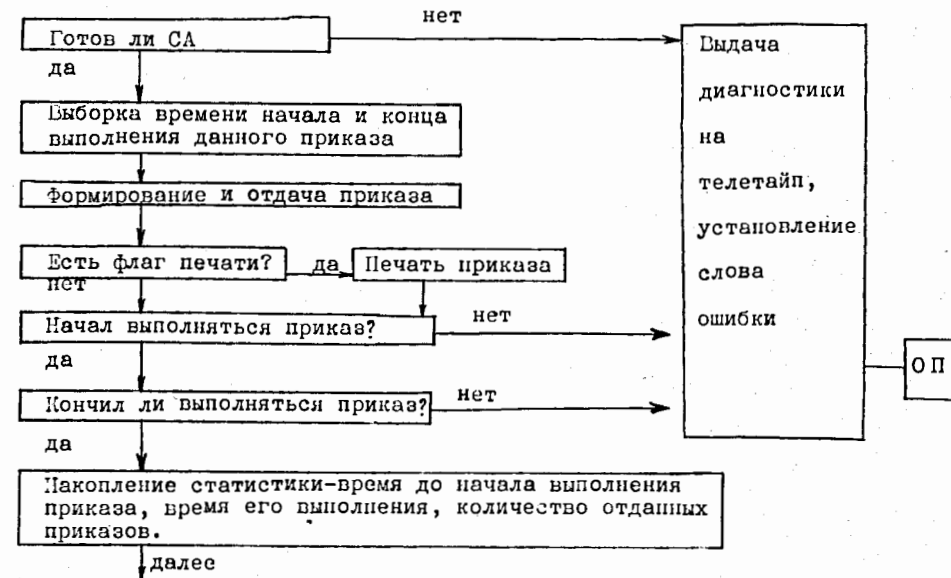


Рис. 6. Схема выполнения одного из приказов.

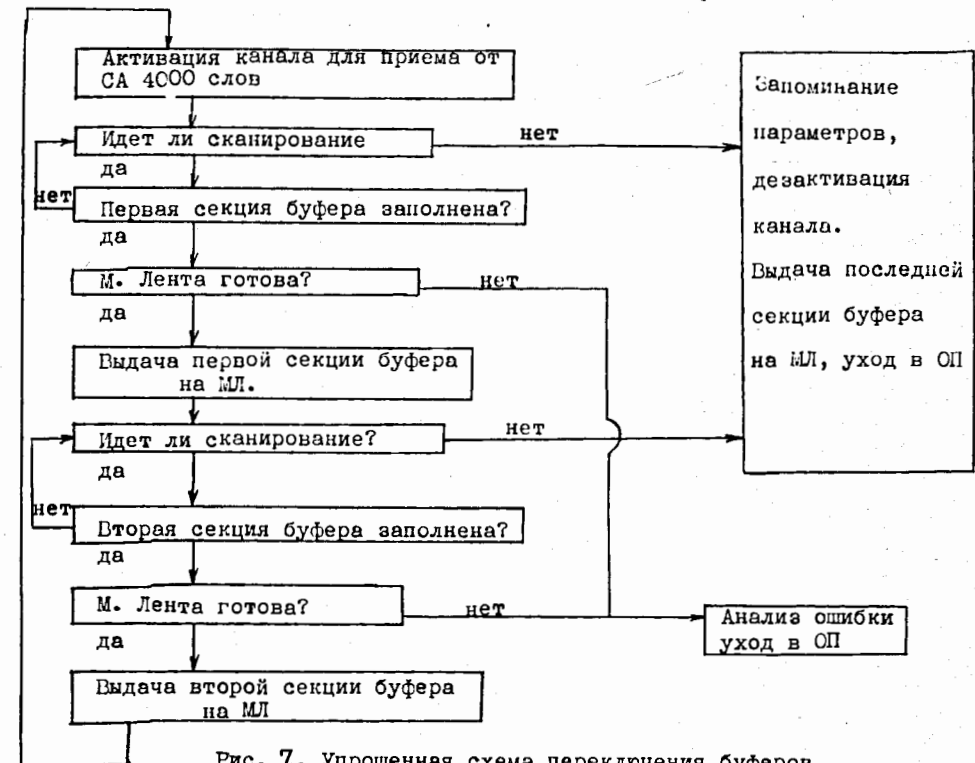


Рис. 7. Упрощенная схема переключения буферов.

ция из соответствующего участка массива выдается на печать. После того, как исчерпана вся информация, устанавливается флаг конца.

в) Обслуживающие программы осуществляют функции, которые невозможно реализовать с помощью языка *FORTRAN*. К ним относятся, в частности, проверка состояния СА, активирование каналов для передачи приказов и получение информации от СА, слежение за выполнением буферных операций обмена. Ниже перечисляются входы обслуживающих программ и соответствующие функции, которые они выполняют.

- 1) *ISEN(K)* - Проверка состояния СА и других внешних устройств.  
 $ISEN(K) = 1$ , если условие, задаваемое с помощью *K*, выполнено; перечень используемых в программе значений *K* приводится ниже.
- |                         |  |
|-------------------------|--|
| <i>K</i> (восьмеричное) | Состояние СА, когда $ISEN(K) = 1$ .                                  |
| 51010                   | СА готов к работе  |
| 51020                   | Выполняется установка стола СА в начальное положение.                |
| 51030                   | Идет сканирование.   |
| 51040                   | Превышен промежуточный уровень заполнения буферной памяти СА.        |
| 51070                   | Есть фатальные неисправности в аппаратуре СА.                        |
| 51100                   | Измерительный стол установлен в заданное положение по оси <i>X</i> . |
| 51200                   | Измерительный стол установлен в заданное положение по оси <i>Y</i> . |
| 51300                   | Завершена протяжка пленки.   |
| 51400                   | Буферная память СА пуста.  |
- 2) *SELT(K)* Выборка СА. *K* - функциональный код выборки.
- 3) *IRES(K)* Определяет число слов, которое остается принять для завершения буферной операции обмена по каналу *K*,  $K = 1+6$ .
- 4) *ENDB(K)* Дезактивирование буферного канала *K*.
- 5) *ACTHPD(L(1), L(K))* Активирование буферного канала 5 для приема информации от СА в массив *L*.
- 6) *COMMAND(M, K)* Отдает приказ номер *M* для СА,  
*K* - сформированное слово приказа.

Кроме перечисленных проверок, имеется возможность оперативного вмешательства в работу ПУ с целью получения более полной диагностической информации. Для этого использован аппарат установки монитрных флагов с телетайпа, имеющийся на *CDC-1604A*. Если установлен флаг 48, то на широкую печать выдается в графической форме вся принятая от СА информация. Флаг 47 управляет выдачей той же информации в восьмеричной форме, флаг 46 управляет выдачей декодированной информации и, наконец, флаг 45 управляет печатью приказов, отданных сканирующему автомату.

### § 3. Возможные пути оптимизации режима измерения снимков с пузырьковых камер на СА

Под оптимизацией режима измерения снимков мы будем понимать сокращение общего времени, затрачиваемого на цикл измерения и обработки данных с одного кадра фильма. Ниже приводится анализ возможных, по мнению авторов, путей оптимизации режима измерений.

Производительность системы определяется не только скоростью работы СА, но и постановкой задачи математического анализа информации на этапе измерения.

Повышение скорости измерения снимков за счет снижения глубины математического анализа и упрощения алгоритмов обработки было бы опрометчивым шагом. Накопленный опыт эксплуатации сканирующего автомата свидетельствует, что необходимым условием хорошего качества измерения событий является осуществление всего объема анализа информации и проверок СА, который задействован в существующем комплексе *HAZE1*. Недостаточный контроль функционирования СА привел бы к увеличению числа плохо измеренных событий, передаваемых программам последующего анализа, к удлинению цикла перемера событий и к более сложной организации обработки физического эксперимента.

Задача повышения производительности измерительной системы сводится, таким образом, к проблеме развития существующего комплекса *HAZE1*. Детальное рассмотрение внутренних резервов *HAZE1* мы отложим до выхода работы, посвященной этому комплексу. В том



широком аспекте, в котором мы здесь рассматриваем проблему приема и анализа данных, следует отметить лишь, что повышение эффективной скорости измерения снимков с пузырьковых камер до 60 стереотриад в час предполагает выполнение следующих условий:

1) Сокращение времени выполнения механических операций на СА; в частности, команда вывода измерительного стола СА в заданную точку X, Y должна выполняться особенно быстро, если текущие координаты стола близки к X, Y.

2) Переход к скорости сканирования ~ 5 сек на кадр (скорость перемещения стола при сканировании ~ 24 мм/сек).

3) Совмещение во времени операций приема информации от СА и ее анализа программой CDC-I604A.

Как мы уже отмечали, при сканировании со скоростью 5 сек на кадр отсчетная система СА генерирует поток информации, локальная интенсивность которого может превышать в 2 раза пропускную способность ленточного канала CDC-I604A. Снижение до приемлемого уровня интенсивности потока данных, выводимых на магнитную ленту, может быть достигнуто за счет оперативного отсева данных, не содержащих информации об измеряемом событии. Такой отсев лишней информации предполагает наличие и использование данных об измеряемом событии (цифровой маски).

Операция отсева может быть выполнена двумя различными способами:

1. Использованием для этой цели процессора CDC-I604A (схема В, рис 5).

2. Использованием управляемых от ЭВМ аппаратных средств при СА, т.е. внешнего по отношению к CDC-I604A оборудования (схема Г, рис 5); эти средства могут включать в свой состав быстродействующую малую ЭВМ\* (схема Д, рис 5).

Возможность и целесообразность реализации того или иного способа отсева информации определяется характеристиками СА и основной ЭВМ, обслуживающей этап измерения снимков. Несмотря на кажущуюся

\* При такой конфигурации системы ПУ на CDC-I604 упростилась бы, так как функции управления автоматом сведутся к выдаче макроинструкций программе малой ЭВМ.

простоту задачи отсева, вовсе не очевидно, что по первому способу (программно на CDC-I604A) можно реализовать операцию отсева, способную справиться с входящим потоком интенсивностью 20 тысяч слов/сек. При такой интенсивности на анализ одной координаты в среднем приходится 25 мксек реального времени, в то время как выполнение программы на CDC-I604A замедляется из-за высокой активности канала связи с автоматом. За 25 мксек реального времени в этих условиях могут быть выполнены всего одна-две пары быстрых инструкций программы CDC-I604A.

Что касается целесообразности реализации отсева по первому способу, отметим прежде всего, что оптимальный режим функционирования системы СА-CDC-I604A в этом случае не достигается. Здесь явно не используются вычислительные возможности процессора CDC-I604A, который на протяжении всего времени сканирования снимка (с учетом двух направлений сканирования это 5-7 сек на проекцию, 15-21 сек на событие) нагружен не задачей анализа измеряемого события, а элементарной, с точки зрения логики выполнения операции отсева, операцией, которую успешно может выполнить простая электронная схема.

Действительно, второй способ отсева лишней информации, сохраняя все достоинства первого, позволяет рационально использовать вычислительную мощность CDC-I604A. Многократное снижение интенсивности потока данных на входе CDC-I604A дает возможность в наших условиях уменьшить длину приемного массива до 2К и предоставить 4К для временного хранения данных, принятых с начального участка снимка. Обработка по программе GATE этих данных, содержащих информацию о номере кадра и опорных крестах, может идти параллельно со сканированием остальной части снимка (схемы Г и Д, рис.5).

Наиболее просто операция отсева может быть выполнена, если строку раstra СА представить как совокупность некоторого числа интервалов одинаковой длины. При измерении снимков с пузырьковых камер достаточно длина интервала порядка 1,5 мм, так что полное число интервалов на строке (48 мм) будет равно 32. Операция отсева сводится к запрету или разрешению отсчета координат в пределах каждого из 32 интервалов в соответствии с выдаваемым от ЭВМ 32-разрядным кодом маски.

Идея аппаратного способа отсева информации в системах НРД предложена давно /10/. При работе на малую ЭВМ он просто необходим, а при работе на ЭВМ среднего класса он дает существенный выигрыш в производительности.

Техническим проектом СА предусматривалось применение более сложной маски (см. таблицу 2 в работе /4/). Реализация операции отсева информации на СА позволит эффективно использовать в реальном времени вычислительные возможности CDC-1604A и поднять производительность комплекса HAZE1 до уровня 60 стереотриад/час.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В.Я.Алмазов и др. Установка для скоростной автоматической обработки снимков с трековых камер на базе механического сканирующего устройства типа "бегущий луч". Сообщение ОИЯИ IO-4513, Дубна, 1969.
2. В.Н.Шигаев. Структура математического обеспечения измерительной системы типа ХМЗ (HAZE). Программирование и вычислительные методы, II-4655, Дубна, 1969.
3. Л.Л.Закацкий. Первоначальный отбор полезной информации в системе ЭВМ - сканирующий автомат типа НРД. Программирование и вычислительные методы, II-4655, Дубна, 1969.
4. В.Д.Минкин и др. Устройство связи сканирующего автомата для работы с ЭВМ CDC-1604A. Препринт ОИЯИ P-IO-5409, Дубна, 1970.
5. А.А.Карлов. CDC-1604A и организация ввода-вывода на этой машине. ЭВМ в экспериментальной физике, IO-4226, Дубна, 1968.
6. M. Benot a.o. The HPD MARK-2 Flying Spot Digitizer at CERN. CERN 68-4. Data Handling Division, 6 February 1968.
7. R. Messerli and E.M. Palandri. The use of a CDC-1604A computer as a control computer for an HPD-2.  
Частное сообщение.
8. Control Data 1604/1604A Computer CO-OP Monitor Programmer's Guide. Control Data Corporation, 1964.
9. Control Data 1604A Computer. Customer Engineering Instruction Manual. Part 1. Theory of Operation, 1966.
10. Iwao Miura. CERN 62-23, 21 December, 1962.

Рукопись поступила в издательский отдел  
2 апреля 1971 года.