

Ц840 в

Д-458

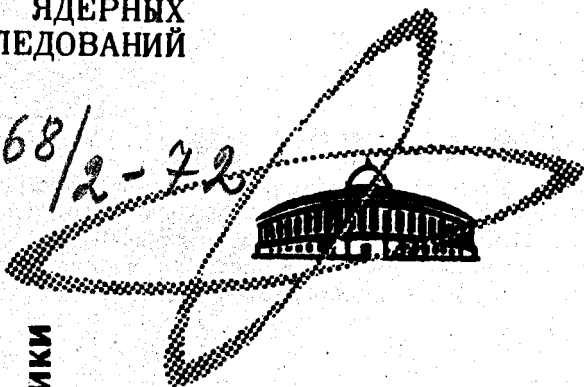
2/к-72

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

10 - 6626

3368/2-72



Н.Д.Дикусар

АВТОМАТИЧЕСКИЙ ПОИСК ЭЛЕМЕНТОВ СОБЫТИЯ  
НА СНИМКАХ С МАГНИТНЫХ ИСКРОВЫХ  
СПЕКТРОМЕТРОВ

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ  
И АВТОМАТИЗАЦИИ

1972

10 - 6626

Н.Д.Дикусар

АВТОМАТИЧЕСКИЙ ПОИСК ЭЛЕМЕНТОВ СОБЫТИЯ  
НА СНИМКАХ С МАГНИТНЫХ ИСКРОВЫХ  
СПЕКТРОМЕТРОВ

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

## ВВЕДЕНИЕ

При работе в режиме автоматического распознавания событий на снимках с магнитных искровых спектрометров (МИС) первой задачей является распознавание простейших объектов (элементов) снимка. Такими объектами являются изображения искр, реперных крестов, системы штрихов, кодирующих служебные числа зарегистрированного ядерного события. Совокупность опознанных элементов снимка служит входной информацией для последующих этапов обработки события, где производится распознавание треков в отдельных искровых камерах, полных траекторий и формирование события в целом для дальнейшей обработки по геометрическим программам.

В данной работе рассмотрены вопросы практического поиска простейших элементов на снимках с МИС при использовании сканирующих устройств. Опробование методики было произведено на снимках со спектрометра МАГИК-6<sup>1/</sup> на автомате НРД<sup>2/</sup> и ЭВМ СДС-1604А<sup>3/</sup>. Математическое обеспечение этого этапа обработки состоит из комплекса подпрограмм, который может быть непосредственно использован при обработке снимков с МИС-ОИЯИ<sup>4/</sup>, а также и с других искровых камер.

### § I. Описание кадра

Фрагменты фотографий событий, полученных на установке 6-метрового магнитного искрового спектрометра (МАГИК-6)<sup>1/</sup>, приведены на рис. I, Ia. На фотографии имеются изображения следующих геометрических объектов:

- больших и малых реперных крестов;
- набор коротких параллельных штрихов, изображающий бинарный код служебной информации;
- отрезков траекторий, состоящих из изображений искр;
- полных траекторий (треков), образованных отдельными отрезками;
- дополнительная информация, которая не используется при автоматической обработке кадра.

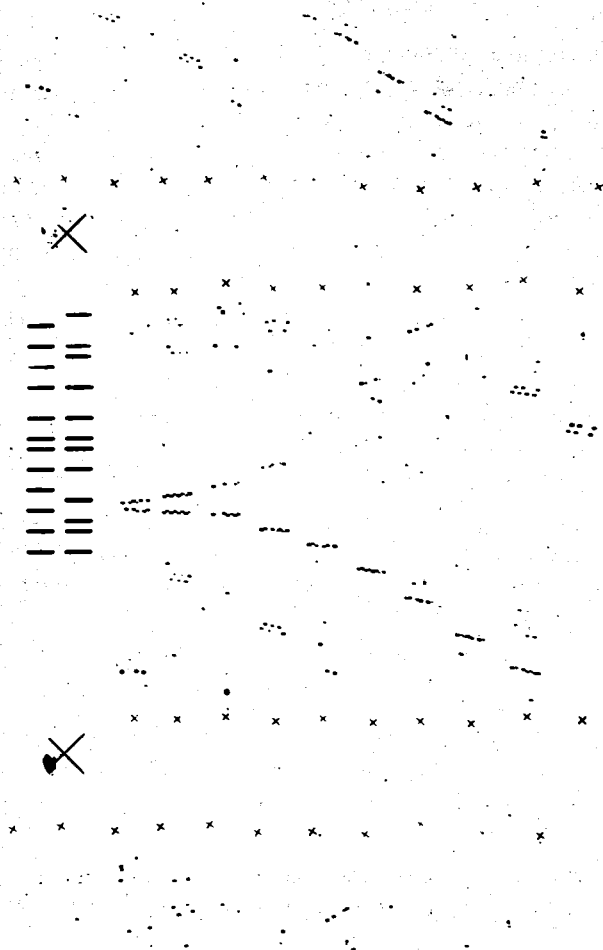


Рис.1. Фрагмент фотোগрафии события с МАГИК-6.

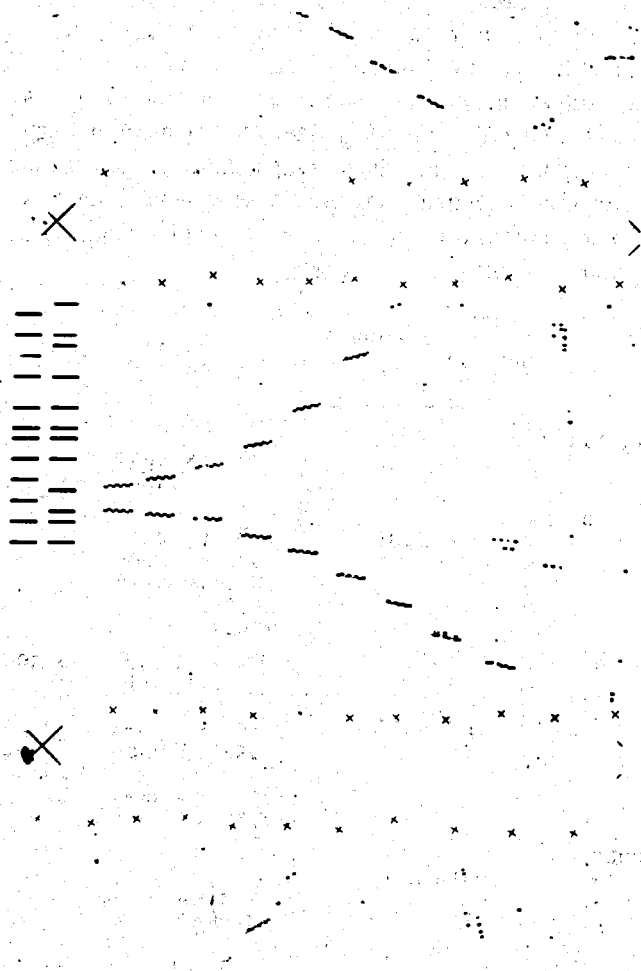


Рис. 1а. Фрагмент фотোগрафии события с МАГИК-6.

Все объекты на кадре выглядят темными на прозрачном фоне с возможными разрывами (отсутствуют отдельные участки объекта) или помехами (затемнение отдельных участков кадра, царапины или случайные пятна). Схема расположения реперных крестов на кадре приведена на рис. 2. Система двоичных бит задает специальную кодировку служебной информации о данном событии (номер кадра, пленки и т.п.). На кадре, вне области сканирования, находятся стоп-метки Бреннера, используемые для автоматической остановки пленки при подаче кадра в рамку сканирующего устройства. На одном кадре снимка расположены три стереопроекции одного события (левая, центральная и правая). Направление пучка при фотографировании — сверху вниз. Размеры объектов на снимке указаны в следующей таблице.

№ пп	Объекты	Размер изображения на снимке (мм <sup>2</sup> )	Ориентация объекта	Количество
1.	Плечи больших реперных крестов (р/к)	7.0x0.030	±45° (к краю пленки)	8 р/к на кадре
2.	Плечи малых реперных крестов	1.4x0.015	±45° (к продольной границе области искровой камеры)	72 р/к на кадре
3.	Биты служебного кода	2.5x0.1	90° (к краю пленки)	6 десятичных цифр
4.	Искры	0.3x0.25	~90° (к продольной границе искрового промежутка)	от 0 до 10 искр на промежутке
5.	Область искрового промежутка	40x0.35	±15°, 0° (к краю пленки)	8 пром. на камеру
6.	Область искровой камеры	40x 2.8	±15°, 0° (к краю пленки)	12 камер на проекции

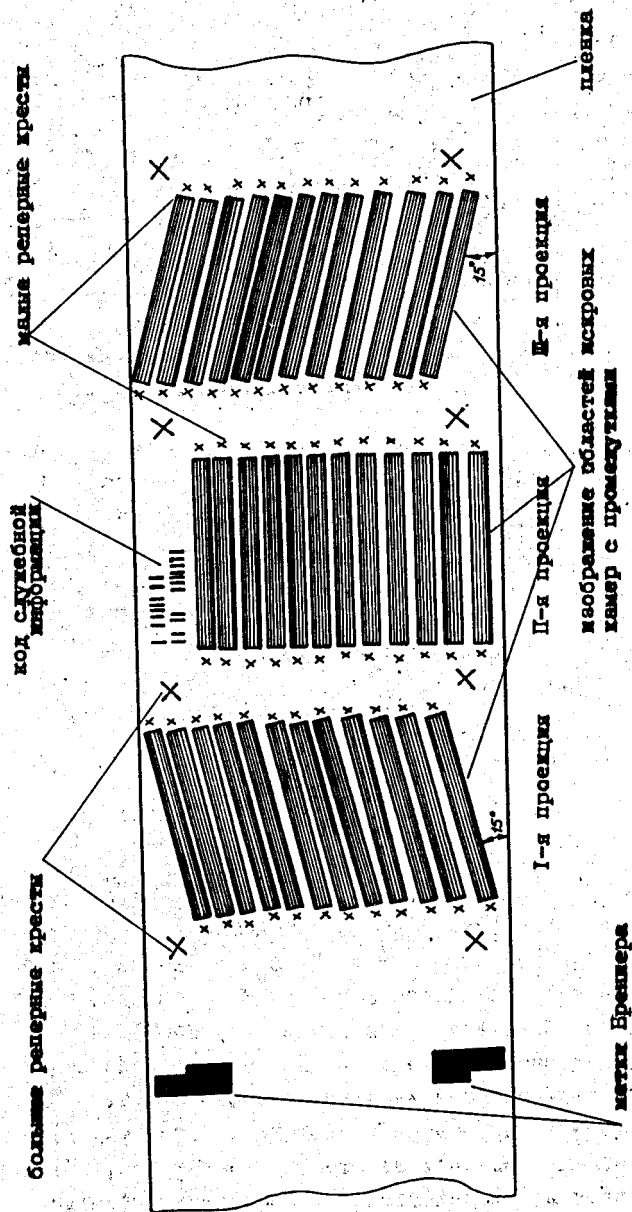


Рис.2. Схема расположения объектов на кадре с МАТИК-6.

Изображения искр на каждой стереопроекции локализованы по промежуткам искровых камер. Всего имеется 12 областей искровых камер на одной стереопроекции. Ширина изображения камеры - 2,8 мм. Продольные границы зазоров на центральной проекции почти параллельны краю пленки, а на боковых проекциях составляют с ним угол  $\pm 15^\circ$  (рис.2). Пленка со снимками с МАГИК-6 неперфорированная, шириной 70 мм. Изображения геометрических объектов, указанных выше, являются типичными для большинства снимков, получаемых на установках с искровыми камерами.

## § 2. Представление информации об изображении в памяти ЭВМ. Структурные уровни

При сканировании снимка прямоугольным растром на НРД происходит преобразование изображения снимка в цифровую форму (отсчеты).

Отсчеты поступают в память ЭВМ в форме целых двоичных чисел, которые можно представить в виде последовательности координат:

$$x_1 y_{11} y_{12} \dots y_{1n_1} x_2 y_{21} y_{22} \dots y_{2n_2} \dots x_m y_{m1} y_{m2} \dots y_{mn_m},$$

где  $x_j$  -  $x$  - координата  $j$ -й сканлинии, а  $y_{j1} y_{j2} \dots y_{jn_j}$  -  $y$  - координаты точек, находящихся на  $j$ -й сканлинии.

После распаковки и всестороннего анализа эти отсчеты приводятся к упорядоченному множеству точек  $\{P\}$ , для записи которого введем следующее обозначение

$$\{P = (x_j, y_{j1} y_{j2} \dots y_{jn_j}) \mid (x_j < x_{j+1}) \wedge (y_{ji} < y_{ji+1}); j=1, 2, \dots, NS; 0 \leq n_j \leq n\} \{I\}$$

где  $NS$  - число строк растра, а  $n$  - максимальное число отсчетов на строке. Количество отсчетов в  $\{P\}$  изменяется от кадра к кадру и зависит от ряда факторов: качества снимка, сложности изображения, параметров сканирования и т.п. Например, на снимках с МАГИК-6 количество отсчетов изменяется от 1 до 8 тысяч на одной стереопроекции.

Процесс обработки результатов сканирования снимка распадается на ряд последовательных этапов. На каждом этапе ведется обработка информации, описывающей элементы данного структурного уровня. Структурными элементами события являются: I) отсчеты; II) искры (биты, плечи реперных крестов); III) отрезки траекторий; IV) полные траектории с точками взаимодействия; V) собственно событие.



Автоматический поиск элементов события выполняется по принципу последовательного анализа и распознавания элементов на каждом структурном уровне (I)-(У) с последующим объединением найденных элементов в образ более высокой структуры, т.е. выполняется процесс, обратный развертке изображения.

Результатами работы программы опознавания события являются координаты точек на проекциях траекторий найденного события, дополнительная служебная информация, представленные в формате, используемом геометрическими программами *THRESH* и др.<sup>/5/</sup>.

Элементы I-го уровня, отсчеты, являются исходными данными при поиске искр, реперных крестов и бит. Предварительно отсчеты анализируются на достоверность программами контроля.

### § 3. Обнаружение элементов II-го уровня

Первый этап обработки начинается с поиска среди множества отсчетов  $\{P\}$  точек, лежащих на изображениях отрезков (плеч) реперных крестов, штрихов-бит, искр. Затем, на основе этих точек, ищутся сами элементы: координаты реперных точек, центры тяжести каждой биты, координаты искр. При поиске изображений этих объектов на снимках с ММС используется подпрограмма *SOLVER*, реализующая метод решающих функций для распознавания геометрических образов<sup>/8/</sup>.

#### 3.1. Поиск реперных крестов.

Поиск реперного креста на снимке производится в два этапа. Сначала находятся изображения плеч креста, а затем - точка пересечения этих плеч. Существуют различные методы поиска реперных крестов<sup>/6/</sup>. Рассмотрим кратко метод, который используется для нахождения больших реперных крестов на снимках с МАГИК-6. В основу этого метода положен принцип слежения за отрезком заданного направления. При обращении к подпрограмме *FIDUC*, реализующей этот метод, указываются границы прямоугольника, где ожидается крест  $(x_{min}, x_{max}, y_{min}, y_{max})$ , и параметры наклона каждого плеча к направлению линии сканирования  $(t_1, t_2)$ . Подпрограмма *FIDUC* ищет внутри области  $R = \left\{ \begin{array}{l} x_{min} \leq x_j \leq x_{max} \\ y_{min} \leq y_{ji} \leq y_{max} \end{array} \right\}$  точки, которые образуют плечи реперного креста.

Координаты точек  $k$ -го плеча ( $k = 1, 2$ ) запоминаются в массивах  $x_1(m, k)$ ,  $y_1(m, k)$  ( $m = 1, 2, \dots, M$  - индекс точки на плече). ( $3 \leq M \leq 60$ ).

Правило, по которому точка  $(x^*, y^*)$  из области  $(R)$  включается в соответствующие массивы  $x_1$ ,  $y_1$ , задается соотношением (2)

$$|y^* - \bar{y}_k| \leq \varepsilon, \quad (2)$$

где

$$\bar{y}_k = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} y_1(m-n, k) + \left( x^* - \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x_1(m-n, k) \right) \cdot t_k, \quad k = 1, 2,$$

причем

$$N = \begin{cases} 2, & \text{при } m = 2 \\ 3, & \text{при } m \geq 3. \end{cases}$$

Величина  $\varepsilon$  задает ширину разброса точек на плече. Конкретное значение  $\varepsilon$  подбирается экспериментально и зависит от толщины и наклона реперных плеч на снимке. Те точки из  $(R)$ , для которых нарушено условие (2), забываются. Поиск заканчивается либо после выхода из области  $(R)$ , либо при достижении заданного числа точек ( $M=60$ ) на плечах. После этого методом наименьших квадратов находятся параметры каждого плеча, а затем и точка их пересечения -  $(x_c, y_c)$ . Опытная проверка этого алгоритма на реальных снимках показала хорошую устойчивость и надежность такого метода. При этом время поиска одного реперного креста на СДС-1604А составляет от 0,5 до 0,7 сек.

Координаты больших реперных крестов используются, в основном, для ориентации в системе измерения НРД. Для перехода в эталонную систему координат снимка с МАГИК-6 приходится искать координаты нескольких малых реперных крестов, так как при сканировании снимка на НРД в рабочее поле растра попадают только два больших креста (длина сканилинии на НРД - 47 мм, а расстояние между большими крестами вдоль линии сканирования - 49 мм).

В условиях массовой обработки снимков с МАГИК-6 поиск малых реперов целесообразно проводить одновременно с процессом поиска искр. Использование FIDUC в таком режиме может привести к дополнительным затратам времени, как на этапе обработки снимка, так и на этапе подготовки измерений. Поэтому поиск малых реперных крестов

ведется по другому алгоритму, работающему одновременно с поиском искр (см. § 5).

### 3.2. Поиск и декодировка служебной информации.

Служебная информация на снимках нанесена в виде темных линий, соответствующих двоичным разрядам (битам) кода служебных номеров. На рис.2 указан район расположения бит на снимках спектрометра МАГИК-6, где кодируются номер пленки, тип эксперимента (два десятичных разряда -  $\alpha_1 \alpha_2$ ) и номера кадра (четыре десятичных разряда -  $\beta_1 \beta_2 \beta_3 \beta_4$ ). Коды цифр этих номеров расположены по схеме:

$$\begin{array}{cccc} \alpha_1 & \alpha_2 & \beta_1 & \\ & \beta_2 & \beta_3 & \beta_4 \end{array}$$

Для определения  $\alpha_1 \alpha_2$  и  $\beta_1 \beta_2 \beta_3 \beta_4$  требуется найти коды  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$  чисел  $\alpha_1 \alpha_2 \beta_1$  и  $\beta_2 \beta_3 \beta_4$ , а затем декодировать их и получить искомые номера. Коды  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$  состоят из последовательности "1" (наличие линии) и "0" (отсутствие линии) в соответствии с кодировкой Хемминга<sup>17)</sup> для цифр  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \beta_4$ . "1" и "0" кода размещены в клетках кодовой сетки, положение которой зафиксировано на кадре. Шаг сетки  $1 \pm 0,2$  мм. В коде Хемминга каждая десятичная цифра представлена восемью двоичными разрядами - четыре "1" и четыре "0". Определение служебной информации проводится в два этапа: сначала ищутся центры бит (изображений штрихов кода), а затем формируются коды  $\gamma_1, \gamma_2$  из найденных бит и декодируются в служебные номера  $\alpha_1 \alpha_2$  и  $\beta_1 \beta_2 \beta_3 \beta_4$ .

Функцию поиска бит и формирования бинарных кодов  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$  выполняет подпрограмма *GETCΦD*. Эта подпрограмма использует *SΦLVER* при нахождении образов бит. Она отбирает точки, находящиеся в пределах границ кодовой сетки, и подает их на вход подпрограммы распознавания. Режим использования *SΦLVER* при поиске бит совпадает с режимом применения этой подпрограммы при нахождении искр и рассматривается ниже (п. 3.3).

Биты по своей форме подобны изображениям искр и отличаются от последних, главным образом, своими эталонными размерами, которые задаются значениями ограничительных параметров:  $R_{min} = 24$ ,

$R_{max} = 30$  (минимальное и максимальное число отсчетов на изображении биты);  $R_{max} = 50^*$  (толщина линии) и  $F_{max} = 3$  (максималь-

<sup>\*</sup>) Значения заданы в единицах отсчета НРД (1,5 мкм).

но допустимый "разрыв" линии). Значения остальных параметров остаются теми же, что и при поиске искр (см. П.3.3).

После нахождения центра бит подпрограмма *GETCØD* формирует коды (на основе границ и шага кодовой сетки), которые соответствуют кодам, нанесенным на кадре. При этом ведется контроль за количеством найденных бит в коде. Декодировку в истинные номера, а также обнаружение ошибок и по возможности их исправление выполняет подпрограмма *CØDTØN*.

### 3.3. Поиск искр.

Распознавание искр является первым звеном в цепочке поиска более сложных объектов события на снимке. При нахождении искр используется та же подпрограмма *SØLVER*. На вход этой подпрограммы подаются последовательности координат точек  $\{P_i\}$ ,  $P_i \in \mathcal{P}$ . Каждая последовательность  $\{P_i\}$  содержит точки одной сканлинии. Кроме этого, задаются ограничительные параметры ( $P_{min}$ ,  $P_{max}$ ,  $F_{max}$ ,  $R_{max}$ ), которые описывают эталонное изображение искры:  $P_{min}$  и  $P_{max}$  определяют допустимые размеры искры на снимке,  $F_{max}$  ограничивает возможный "разрыв" изображения искры, а параметр  $R_{max}$  определяет наибольшую ширину разброса точек при сканировании искры.

Подпрограмма *SØLVER* анализирует точки на каждой строке раstra. Она ищет точки  $P_{i_k}$  на соседних строках, которые принадлежат отдельным искрам, и объединяет их в группы  $G_j = \{P_{i_1}, P_{i_2}, \dots, P_{i_\ell}\}$ , где  $\ell$  - число строк развертки, покрывающих изображение искры на снимке, причем  $P_{min} \leq \ell \leq P_{max}$ . Индекс точки  $P_{i_k} \in G_j$  определяется из условия  $D_{ij} \geq T$ , где  $T$  - заданный порог, а  $D_{ij}$  - значения решающей функции  $\sqrt{8}$ , вычисляемых в данном случае по формуле:

$$D_{ij} = \omega_1 (1 - A |\alpha_j - x_i|) + \omega_2 (1 - B |\beta_j - y_i|), \quad (3)$$

$$j = 1, 2, \dots, N_1; \quad i = 1, 2, \dots, N_2; \quad N_1 \neq N_2,$$

где  $(\alpha_j, \beta_j)$  - усредненные координаты группы  $G_j$ ,  $(x_i, y_i)$  - координаты точки  $P_i$ ;  $A$  и  $B$  - нормирующие множители, а  $\omega_1$  и  $\omega_2$  - веса, причем  $\omega_1 + \omega_2 = 1$ .

Функция  $D_{ij}$  определяет количественную меру удаления точки  $P_i$  от группы  $G_j$  по совокупности признаков, которые в данном конкретном случае отождествляются с обычными евклидовыми расстояниями по

каждой координате. Значения весовых коэффициентов подбираются экспериментально.

Подпрограмма *SOLVER* также контролирует процесс формирования групп  $G_j$  в соответствии со значениями ограничительных параметров. При поиске искр на снимках с МАГИК-6 значения этих параметров были следующими:  $P_{min} = 4$ ,  $P_{max} = 7$ ,  $F_{max} = 2$ ,  $R_{max} = 20$  (соответствует 30 мкм на пленке).  $T = 0.9$ ,  $\omega_1 = 0, I$ ;  $\omega_2 = 0.9$ . Величины  $A$  и  $B$  определяются максимальными размерами окошка, в котором может поместиться искра. В процессе поиска искр подпрограмма *SOLVER* накапливает величины  $(\sum x)_j$ ,  $(\sum y)_j$  и  $l_j$  по точкам из  $G_j$  и сохраняет информацию об их месте в памяти.

Функцию отбора и запоминания координат искр выполняет внешняя организующая программа. Часть этой программы (блок *ISKRA*) определяет координаты искры, как координаты центра масс точек, попавших в одну группу.

$$x_{искры} = \frac{(\sum x)_j}{l_j}, \quad y_{искры} = \frac{(\sum y)_j}{l_j}$$

Полученные координаты запоминаются в специальном массиве для дальнейшей обработки. Точность определения координат искры зависит от особенностей физического прибора и самого эксперимента. Этот вопрос будет рассмотрен на более поздних этапах обработки события.

В отличие от метода, описанного в работе<sup>19/</sup>, настоящая методика обнаружения искр не требует предварительного вычисления границ искровых промежутков в плоскости снимка. На снимках с МАГИК-6 размеры искрового промежутка равны  $40 \times 0.35 \text{ мм}^2$  и ориентированы под углом  $\pm 15^\circ$  к линии сканирования (рис.2). В этом случае определение точных границ искровых промежутков на снимке потребовало бы учета таких факторов, как нелинейность развертки сканирующего устройства, усадка пленки, искажения, вносимые оптической системой фотографирования, и т.п.

Следует отметить, что такая методика идентификации искр допускает возможность образования ложной искры. Например, произвольное небольшое пятно на снимке может быть воспринято как искра. Однако эта ошибка легко обнаруживается на последующих этапах формирования события. По координатам обнаруженной искры определяется область промежутка, в который она попадает. Точки, не попавшие в зазор, классифицируются как шумовые.

#### § 4. Распределение искр по промежуткам

Порядок, в котором появляются искры в процессе поиска, определяется порядком следования строк раstra. На крайних стереопроекциях кадра с МАГИК-6 это приводит к одновременному выявлению искр из различных промежутков и даже камер (рис.3). С целью упрощения распознавания последующих элементов события, все искры распределяются по своим промежуткам и камерам. Индексы камеры  $k$  и промежутка  $j$  определяются по значениям целочисленной функции, которая зависит от координат самой искры, от положения и размеров области искровой камеры на соответствующей стереопроекции.

Индекс промежутка  $j$ , для искры  $(u_i, v_i)$  вычисляется по формуле:

$$j = E \left( \frac{z_i - z_k}{h} \right) + 1, \quad 1 \leq j \leq 8 \quad (4)$$

где  $z_i$  - нормальный параметр прямой

$$z = (u + v \cdot \operatorname{tg} \theta_k) / \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \theta_k}, \quad (5)$$

проходящей через искры  $(u_i, v_i)$  параллельно границе области  $k$ -ой камеры,  $z_k$  - тот же параметр самой границы (рис.3).  $\operatorname{tg} \theta_k$  определяет наклон границы области камеры и вычисляется по координатам малых реперных крестов;  $h$  - ширина промежутка на снимке (0.35 мм, для МАГИК-6). Координаты искр преобразованы в эталонную систему снимка по формулам

$$\begin{aligned} u &= a x_{изм} + b y_{изм} + c \\ v &= \lambda (-b x_{изм} + a y_{изм}) + d \end{aligned}$$

Коэффициенты этого преобразования  $a, b, c, d$  и  $\lambda$  определяются по результатам измерения реперных крестов методом наименьших квадратов (подпрограмма TRANSF).

\*)  $E(x)$  - целая часть  $x$ .

\*\*) По этим же преобразованиям получают набор констант и поправок, используемый при восстановлении пространственной картины события.

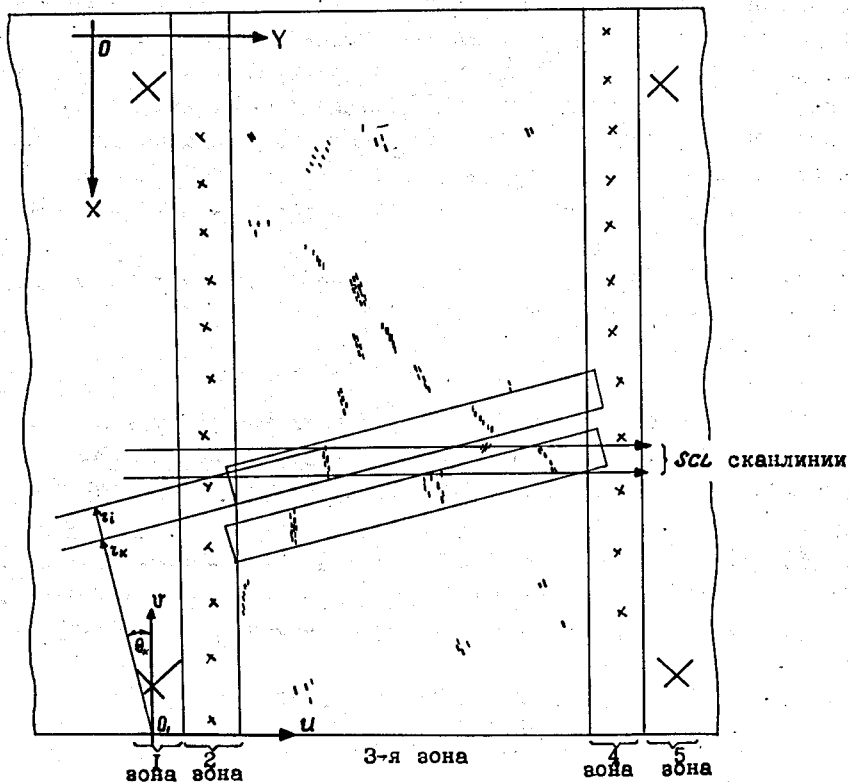


Рис. 3. Положение стереопроекции при сканировании.

$XOY$  - система измерения,  $uov$  - эталонная система.  
 Прямоугольниками выделены области 4-й и 5-й камер.

Индекс камеры ( $k$ ) вычисляется по аналогичной формуле

$$K = E \left( \frac{z_i - z_0}{H_c} \right) + 1, \quad 1 \leq K \leq 12,$$

где  $H_c$  — среднее расстояние между центрами областей камер, а  $z_0$  — расстояние от начала координат до ближайшей границы области крайней камеры (рис.3). Индекс  $k$  определяется непосредственно в момент получения координат искры еще до перехода в эталонную систему снимка. Распределение искр по промежуткам проводится в конце исследования всей области проекции. Точки, для которых индексы  $k$  и  $j$  находятся вне заданных значений, автоматически выбрасываются. Оставшиеся точки в промежутках располагаются в порядке возрастания по координате  $u$ .

На выходе блок *ISKRA* формирует множество точек (координаты искр), которое обозначим через  $\{S\}$

$$\{S = (u_{ij}, v_{ij}) \mid (z_{ij} < z_{i,j+1}) \wedge (u_{ij} < u_{i+1,j}), j=1,2,\dots,N_6, 0 \leq i \leq N_{Sj}\}, \quad (6)$$

где  $z_{ij}$  получены по формуле (5) и определяют положение промежутков на снимке,  $N_6$  — максимальное число зазоров, а  $N_{Sj}$  — число искр в  $j$ -ом зазоре. Объем информации в  $\{S\}$  равен, примерно, 10% объема входной информации в  $\{P\}$ .

Массив  $\{S\}$  вместе со служебной информацией данного кадра служит исходными данными для следующего этапа распознавания события — этапа поиска треков, который будет рассмотрен отдельно.

#### § 5. Организация процесса поиска простейших элементов на снимке

Процесс начальной обработки снимков с МИС определяется прежде всего порядком расположения вспомогательных и основных объектов на стереопроекциях. Порядок, в котором ищутся реперные кресты или искры на снимке, вообще говоря, может быть произвольным. На стереокадрах с МАГИК-6 размеры и расположение малых реперных крестов позволили организовать поиск этих крестов одновременно с поиском искр. При этом происходит одноразовый "просмотр" стереопроекции, который дает выигрыш во времени, особенно заметный при необходимости вызова информации для просмотра с магнитной ленты (м.л.).

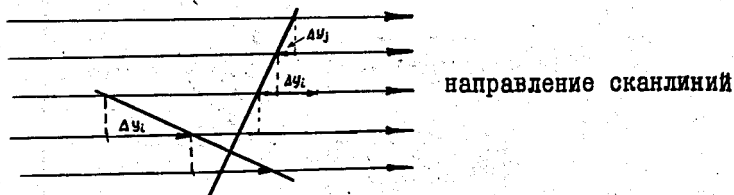


Размеры искр и полуплеч малых реперных крестов на снимке почти совпадают, а поэтому количество отсчетов при сканировании полуплеча и искры примерно одинаково. Подпрограмма, организующая процесс поиска этих элементов, делит все исследуемые строки раstra на 5 зон: 1-я и 5-я зоны определяют районы больших прижимных крестов, 2-я и 4-я зоны - малых реперных крестов, а 3-я зона - искр (рис.3). Длина сканлинии автомата НРД не захватывает 5-ую зону на каждой стереопроекции снимка. 1-ая зона обрабатывается отдельно, вначале при поиске большого креста подпрограммой *FIDUC*. Подпрограмма *SOLVER* различает "активные" и "мертвые" зоны. Информация с "мертвой" зоны в *SOLVER* не обрабатывается, а ее элементы во входном списке отмечаются "0". Элементы  $m$ -ой "активной" зоны отмечены индексом  $m$ . Такое разделение по зонам вносит известную гибкость при организации процесса поиска в целом и позволяет сравнительно легко адаптироваться к снимкам с других установок.

В этом случае поиск малого реперного креста распадается на три этапа:

- а) поиск точек на каждом полуплече;
- б) нахождение плеч;
- в) определение точки пересечения плеч.

Основным признаком, характеризующим близость двух точек, в смысле их принадлежности одному и тому же плечу реперного креста, является параметр наклона этого плеча к направлению линии сканирования. При пересечении плеча соседними сканлиниями, приращения  $\Delta y$  для точек одного и того же плеча будут близки по величине и совпадать по знаку (см. следующий рисунок)



Этот факт можно выразить количественной мерой в виде значений функции:

$$\varphi_{ij} = 1 - \frac{|\Delta y_j - \Delta y_i|}{|\Delta y_j| + |\Delta y_i|}$$

которая заменит второе слагаемое в выражении для решающей функции  $D_{ij}$  (3).

Здесь  $\Delta y_j$  - величина приращения по  $y$ -координате для  $j$ -ой точки, полученная на предыдущей строке, а  $\Delta y_i$  - на текущей. Приращение по другой координате равно шагу развертки и остается постоянным. Функция  $D_{ij}$  дает количественную меру удаления очередной точки от соответствующего плеча. Предварительного знания наклонов плеч при этом не требуется. Значения ограничительных параметров ( $P_{min}$ ,  $P_{max}$  и  $F_{max}$ ) остаются теми же, что и при поиске искр.

В процессе поиска ведется контроль за числом полуплеч, найденных для текущего реперного креста. После выхода из зоны поиска формируются массивы точек для каждого плеча, определяются параметры плеч (наклон и сдвиг) и находятся координаты их точки пересечения. При обнаружении заданного числа реперных точек проверяется точность их измерения путем совмещения с соответствующими эталонными координатами и находятся параметры перехода в эталонную систему снимка. Если результат привязки удовлетворяет заданным критериям, то поиск оставшихся реперных крестов отключается.

Общая схема процесса поиска простейших объектов на снимке с МАГИК-6 при сканировании на автомате НРД<sup>/2/</sup> приведена на рис.4.

Результаты поиска - множество координат (искр) и служебная информация либо запоминается на промежуточном буфере (м.л.), либо используются непосредственно при работе следующего этапа - поиска треков.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Комплекс программ, реализующий методику автоматического поиска элементов события на снимках с магнитных искровых спектрометров, был испытан на реальных данных. Снимки со спектрометра МАГИК-6 сканировались на автомате типа НРД под управлением программы<sup>/10/</sup>, на ЭВМ СДС-1604А.

Полученные результаты показали, что данная методика обеспечивает достаточную эффективность обнаружения всех элементов события в плоскости снимка. Так, надежность обнаружения искр в большинстве случаев была близкой к 1 и зависела, в основном, от четкости изображения искры на сканируемом снимке. Эффективность поиска малых реперных крестов также обусловлена, в основном, качеством

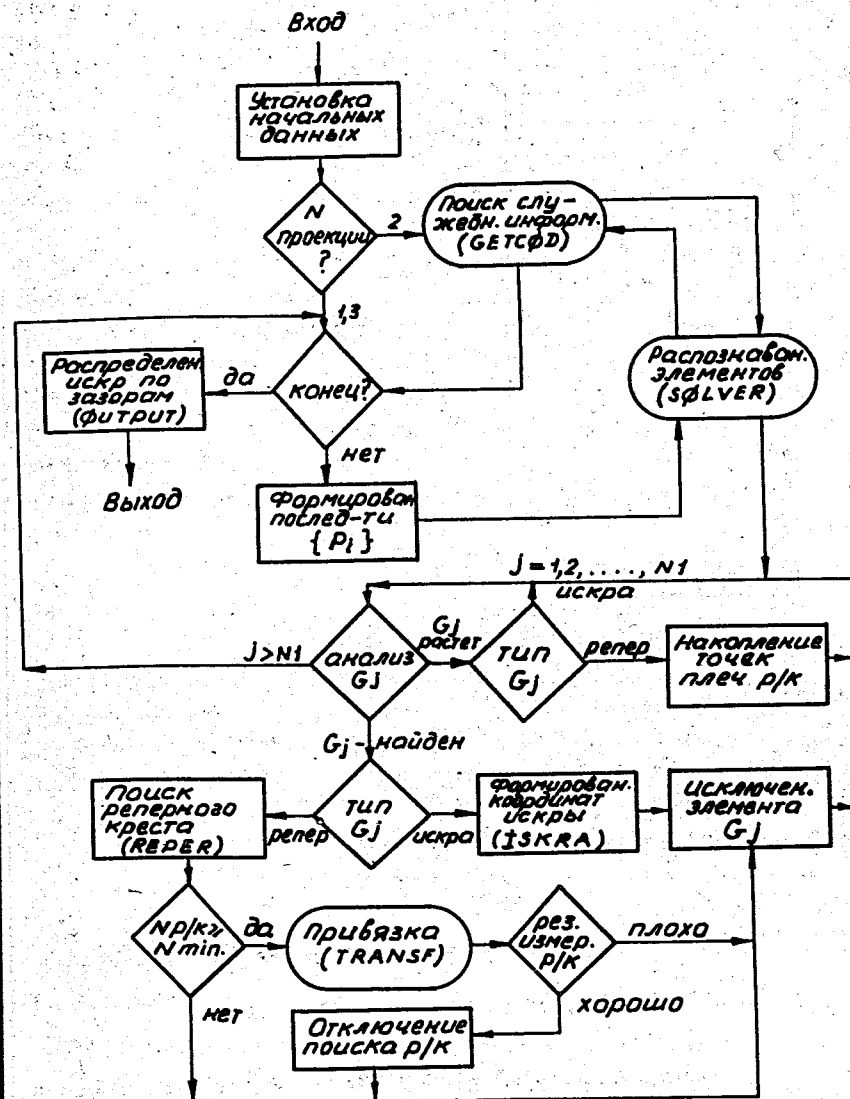


Рис. 4. Схема поиска элементов события.

изображения креста на снимке и составляла не хуже 85%. Точность определения центра реперного креста по результатам совмещения с эталонными реперными крестами составляла порядка 5-7 мкм. Среднее время поиска искр для трехлучевого события на одном снимке с МАГИК-6 составило около 20 сек. на ЭВМ СДС-1604А. Среднее время, затрачиваемое на поиск реперного креста, составляет около 0.2 сек.

Следует отметить, что приведенные оценки времени были получены по фортранным вариантам программ, которые не оптимизировались по времени исполнения. Создание отдельных программ на внутреннем языке машины позволит сократить время поиска элементов на одной проекции снимка с МАГИК-6 до нескольких секунд на ЭВМ типа БЭСМ-6.

Автору приятно поблагодарить члена-корреспондента АН СССР В.В.Владимирского и сотрудников группы магнитного искрового спектрометра МАГИК-6 А.П.Гришина, Ю.П.Шкуренько, Л.К.Турчановича и С.М.Сироткина за предоставленные снимки и полезные контакты, проходившие в деловой атмосфере сотрудничества.

В период отладки комплекса программ на ЭВМ автор постоянно ощущал поддержку и помощь многих людей. И.И.Шелонцев оказал помощь при использовании его управляющей программы; Инга Круляк принимала участие в отладке отдельных подпрограмм; хорошая работа автомата НРД обеспечивалась группой эксплуатации и ее руководителем Ю.Г.Войтеико. Полезные замечания при чтении рукописи сделали Б.М.Головин и Г.А.Ососков. Всем им автор выражает признательность и большую благодарность.

Выражаю глубокую благодарность руководителю работы профессору Н.Н.Говоруку за полезные обсуждения и ценные замечания.

Автору приятно выразить благодарность директору ЛВТА члену-корреспонденту АН СССР М.Г.Мещерякову за постоянный интерес к данной работе.

## ЛИТЕРАТУРА

1. А.М.Благородов, В.В.Владимирский и др.  
Препринт ИТЭФ 521, Москва, 1967.  
А.В.Болонкин, В.В.Владимирский и др.  
Препринт ИТЭФ 752, Москва, 1969.
2. В.Я.Алмазов, Ю.Г.Войтенко и др.  
Сообщение ОИЯИ IO-4513, Дубна, 1969.
3. Общее описание ЭВМ СДС-1604А. Перевод с английского,  
Дубна, 1968.  
Control Data 1604-A Computer. Customer Engineering instruction  
Manual, Part I. Theory of Operation (1966).
4. Р.Анджяк, Е.М.Андреев и др.  
Препринт ОИЯИ I3-3588, Дубна, 1967.
5. Н.А.Буздавина, Н.Н.Говорун и др.  
Сообщение ОИЯИ P10-5785, Дубна, 1971.  
В.В.Владимирский. Программа "Трек". Препринт ИТЭФ № 793,  
Москва, 1970.
6. P.V.C.Nough, Performance of the fiducial-finding Sobroutine  
H-10, CERN 63-64, 21 october, 1963.
7. M.J.Rosenblum, CERN-NIRNS Picture Numbering System, DD/DA/64/2,  
FSD Bubble Chamber Programs Manual, DD, CERN.
8. Н.Н.Говорун, Н.Д.Дикусар.  
Сборник докладов Международного симпозиума по вопросам автома-  
тизации обработки данных с пузырьковых и искровых камер,  
Д10-6142, Дубна, 1972.
9. F.Zanella, Techniques for the automatic evaluation of spark  
Chamber Films and on-line experiments, Strasbourg-Belgrade,  
1968.
10. И.И.Шелонцев, В.Н.Шигаев.  
Сообщение ОИЯИ IO-5824, Дубна, 1971 г.

Рукопись поступила в издательский отдел  
25 июля 1972 года.