

3357

Экз. чит. зала

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

10 - 3357



ЛАБОРАТОРИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ
И АВТОМАТИЗАЦИИ

Н.Н. Говорун, И.М. Иванченко

НАКОПЛЕНИЕ И АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИИ
В on-line ЭКСПЕРИМЕНТЕ

1967.

10 - 3357

Н.Н. Говорун, И.М. Иванченко

НАКОПЛЕНИЕ И АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИИ
В **on-line** ЭКСПЕРИМЕНТЕ

В в е д е н и е

Современное состояние физических исследований характеризуется широким использованием ЭВМ для анализа экспериментальной информации.

В настоящее время ЭВМ начинают играть все более важную роль в управлении самим экспериментом и накоплении экспериментальных данных. Электронная вычислительная машина делается частью физической установки, что позволяет в максимальной степени автоматизировать проведение эксперимента и анализа исходной информации.

До последнего времени ЭВМ широко применялись при анализе экспериментальных данных, в то время как подготовка исходной информации характеризовалась относительно низким уровнем автоматизации.

В качестве примера таких систем обработки можно привести систему анализа информации, характеризующей взаимодействия элементарных частиц. Одним из основных методов съема информации в указанной системе является фотографический метод.

Сущность этого метода состоит в том, что "картинка", получающаяся в объеме трековой камеры, фотографируется, а затем при помощи специальных устройств информация, носителем которой являются стереофотоснимки, преобразуется в цифровую. Для этого широко используются просмотровые проекторы с возможностью выдачи цифровой информации на печать, перфорацию или на магнитную ленту.

Для реализации потенциальных возможностей фотографического метода

съема информации необходимо было увеличить скорость просмотра и измерений, за счет использования автоматизированных систем, включающих электронные вычислительные машины.

В настоящее время создан ряд таких систем /1-3/, а также разрабатываются новые.

Помимо фотографического метода появились новые, так называемые бесфильмовые методы регистрации, которые позволяют вводить экспериментальную информацию непосредственно в ЭВМ.

При работе электронной вычислительной машины на линии с физической установкой ЭВМ получает данные с установки и обрабатывает их в истинном масштабе времени. На основании проведенного анализа происходит выдача информации о ходе эксперимента, а в случае полностью автоматизированной системы ЭВМ отдает сигналы экспериментальной установке об изменении параметров для поддержания оптимального режима проведения эксперимента.

При использовании вычислительных машин достаточно высокого класса в процессе проведения эксперимента происходит полная обработка экспериментального материала и накопление окончательных результатов. В этом случае анализ информации заканчивается вместе с окончанием работы физической установки.

В тех случаях, когда полный анализ не производится в процессе эксперимента /4,5/, обработка подразделяется на две части:

1. Предварительный анализ в истинном масштабе времени с накоплением полученных результатов на магнитной ленте;

2. Обработка накопленной информации в последующее время для получения окончательных результатов.

Одной из главных задач предварительного анализа является контроль правильности работы экспериментальной аппаратуры и выдачи информации о ходе эксперимента.

Естественно, что рассматриваемые системы обработки данных, построение программ анализа и используемые алгоритмы существенно определяются изучаемым физическим процессом, объемом экспериментальной информации и ее распределением во времени.

В данной работе на примере конкретного эксперимента по изучению с

помощью искровых камер рассеяния элементарных частиц будет показана логика построения используемых программ.

Эксперимент был проведен в августе 1966 года на синхрофазотроне ОИЯИ силами сотрудников Лаборатории высоких энергий и Лаборатории вычислительной техники и автоматизации.

Мы будем касаться, главным образом, математико-логических аспектов системы, отсылая интересующихся техническими вопросами и конструктивными особенностями установки к работам /8-9/.

1. Постановка задачи

Эксперимент состоял в изучении на синхрофазотроне ЛВЭ рассеяния π -мезонов на малые углы на мишени из протонов системой из 9 искровых камер /7-9/, соединенных кабелем через соответствующие электронно-логические устройства с модернизированной для этих целей электронно-вычислительной машиной БЭСМ-3М.

Схема эксперимента показана на рис. 1. Система искровых камер состояла из трех групп. Первые две группы использовались для измерения угла рассеяния исследуемых частиц в мишени. С помощью третьей группы измерялся импульс частиц в поле анализирующего магнита.

а) Искровая камера (и.к.) с математической точки зрения является прибором, выдающим в дискретной форме координаты $x_{л}, x_{п}, y_{л}, y_{п}$ электрической искры в точке пролета частицы через и.к. в некоторой своей собственной системе координат.

Конструкции искровых камер подробно описаны в работах /9,10/. Для понимания задач, стоящих перед программами, управляющими объемом данных и их анализом, остановимся только на принципе работы искровых камер.

Искровая камера состоит из двух плат тонких изолированных параллельных проводков. При подаче высокого напряжения на провода в случае пролета частицы через и.к. в месте ее пролета происходит пробой между двумя проводами разных плоскостей и через эти провода идет импульс тока, магнитное поле которого возбуждает в магнитострикционной линии импульс механической деформации, распространяющийся в обе стороны. На концах линии стоят приемные катушки в поле поляризующих магнитов. Когда проходит сигнал ме-

ханической деформации, под приемной катушкой возникает импульс напряжения. Таким образом, измеряя промежутки времени между пробоем искры в камере и появлением импульса напряжения на приемных катушках, мы получаем координаты искры $x_{л}, x_{п}, y_{л}, y_{п}$.

В случае одной искры указанные величины связаны соотношениями

$$\begin{aligned} x_{л} + x_{п} &= T_x \\ y_{л} + y_{п} &= T_y \end{aligned}$$

где T_x, T_y — постоянные величины для данной искровой камеры.

Точность выполнения указанных равенств определяется степенью локализации искры.

Если в камере появляется более одной искры, то не выполняется, по крайней мере, одно из указанных соотношений, и это позволяет выделить интересные нас в данном эксперименте однотрековые события.

Пространственные координаты искры выражаются формулами:

$$\begin{aligned} x &= \left(\frac{x_{л} - x_{п} + T_x}{2} + C_x \right) s_x \\ y &= \left(\frac{y_{л} - y_{п} + T_y}{2} + C_y \right) s_y \end{aligned} \tag{1}$$

Величины T_x, C_x, T_y, C_y зависят не только от геометрических размеров и метоположения камеры, но также и от электрических и механических характеристик установки и поэтому не могут быть найдены простыми геометрическими измерениями.

б) Как уже отмечалось, в этом эксперименте использовалась машина БЭСМ-3М. Для обеспечения возможности использования данной машины была сделана программно-управляемая система прерывания программ, а также расширены возможности команд обмена между накопителями так, что появилась возможность обмена информацией между машиной и внешним объектом через входной (выходной) регистр.

Прерывание программ заключается в том, что при наличии сигнала прерывания от внешнего объекта и разрешения на прерывание, устанавливаемого программным путем, происходит передача управления в определенное место оперативной памяти. При этом предусмотрена возможность запоминания информации для того, чтобы продолжить работу прерванной программы.

в) Ускоритель дает пучок частиц длительностью $\approx 0,4$ секунды через промежуток времени ≈ 10 сек. Во время прохождения пучка через и.к. возможна была регистрация до 300 последовательно происходящих событий.

г) Регистрация одного события заканчивается передачей в машину БЭСМ-3М через регистр входа последовательности из девяти 45-разрядных кодов (по одному коду от каждой камеры). В каждом коде содержится 4 величины $x_{л}, y_{л}, u_{л}, v_{л}$, для каждой из величин отводится 10 разрядов.

Данные с регистрирующей аппаратуры передавались по кабелю на ЭВМ, расположенную на расстоянии 1 км от экспериментальных установок.

II. Краткое описание динамики функционирования системы в режиме набора информации

В момент начала импульса синхрофазотрона на ЭВМ посылается сигнал "Вызов" — запрос на прерывание.

Управление передается блоку программы, который завершает анализ информации (если она была), полученной на предыдущем импульсе. После этого начинается прием информации, характеризующей прохождение частиц через установку из искровых камер при данном импульсе ускорителя. Последовательно группами по 9 чисел принимаются события, зарегистрированные в течение данного импульса ускорителя.

После завершения приема всех событий в данном импульсе в оставшееся время до следующего импульса синхрофазотрона (≈ 10 сек) происходит анализ полученной информации и запоминание части событий на магнитной ленте для окончательной обработки. Далее машина ждет запроса на связь в следующем импульсе ускорителя.

III. Получение констант системы

Для получения констант, характеризующих геометрию установки, использовались программы, которые по результатам прохождения частиц через установку позволяли получить нужные величины.

а. Определение величин T_{xi} (T_{yi}) (i - номер камеры)

Константы T_{xi} определялись как среднее значение выборки величин $(x_{li} + x_{pi})$, которые удовлетворяли одновременно двум критериям:

$$x_{li} > \epsilon_0 \wedge x_{pi} > \epsilon_0 .$$

$$|x_{li} + x_{pi} - A_{xi}| < \epsilon_{xi} .$$

Величины $\epsilon_0, A_{xi}, \epsilon_{xi}$ выбирались на основании гистограммы распределения величин $(x_{li} + x_{pi})$ (см. рис. 10).

Константы T_{yi} определялись аналогичным образом.

б. Определение констант перехода Γ_{xi} (Γ_{yi}) от систем координат, связанных с отдельными искровыми камерами, в общую систему координат.

Искровые камеры устанавливаются так, что переход в единую систему координат может быть достигнут за счет параллельного переноса.

Константы перехода предполагаются известными для n систем координат ($2 \leq n < N$, где N - общее количество систем координат). Искомые параметры ищем из условия минимума функционала:

$$M_x = \sum_{j=1}^m M_{x_j},$$

где

$$M_{x_j} = \left[\sum_{i=1}^{N-n} (x'_{ji} - a_{xj} z_i - b_{xj} + c_{xj})^2 + \sum_{k=1}^n (x_{jk} - a_{xj} z_k - b_{xj})^2 \right]$$

x'_{ji} - результаты измерений в смещенных системах координат (j - номер траектории, i - номер камеры);

x_{jk} - результаты измерений в выбранной системе координат;

a_{xj}, b_{xj} - параметры j -ой траектории;

C_{xi} - искомые величины;

$z_i - z$ - координата, соответствующая i -ой камере.

Требуемые параметры получаем по формулам:

$$C_{xi} = z_i \bar{a}_x + \bar{b}_x - \bar{x}'_i$$

$$\bar{a}_x = \frac{\sum_{j=1}^m a_{xj}}{m}, \quad \bar{b}_x = \frac{\sum_{j=1}^m b_{xj}}{m}, \quad \bar{x}'_i = \frac{\sum_{j=1}^m x'_{ij}}{m}$$

$$a_{xj} = \frac{n \sum_{k=1}^n (x_{jk} z_k) - \sum_{k=1}^n z_k \sum_{k=1}^n x_{jk}}{\Delta_x}$$

$$b_{xj} = \frac{\sum_{k=1}^n z_k^2 \sum_{k=1}^n x_{jk} - \sum_{k=1}^n z_k \sum_{k=1}^n x_{jk} z_k}{\Delta_x}$$

$$\Delta_x = n \sum_{k=1}^n z_k^2 - \left(\sum_{k=1}^n z_k \right)^2$$

Величины C_{yi} получаем аналогично.

Для получения указанных параметров отбирались такие события, для которых указанные в п. III. а. критерии выполнялись одновременно для всех рассматриваемых искровых камер и, кроме того,

$$M_{xj} < B_x$$

Величина B_x выбирается на основании гистограммы распределения M_{xj} .

При выводе указанных выше соотношений не учитывается многократное рассеяние и игнорируется тот факт, что траектория распадалась на две прямые до и после анализирующего магнита. Таким образом, вместо системы, указанной на рис. 1, производилась обработка на основании модели со спрямленной траекторией.

IV Описание программы "on-line" предварительной обработки

Программа "on-line" может быть подразделена на следующие блоки: управляющая программа, программа приема, программа анализа в процессе эксперимента (см. рис. 2).

Управляющая программа инициирует работу остальных программ в зависимости от внешних условий, определяющих режимы работы. В настоящее время взаимодействие с управляющей программой осуществлялось за счет использования системы прерывания и регистров пульта управления. Более подробно о возможностях взаимодействия и режимах работы будет сказано в следующем параграфе.

Программа приема включает блок ввода (см. рис. 3), реализующий ввод в оперативную память ЭВМ совокупности исходных данных, которые характеризуют события, зарегистрированные при данном импульсе синхрофазотрона.

Информация накапливается одним массивом по мере поступления с промежуточной памяти.

Конец работы программы приема определяется выполнением хотя бы одного из условий:

1. Накоплен массив заданной длины.
2. Получен признак конца информации.
3. Истекло заданное время с начала работы блока приема.

Подсчет времени организуется программным путем. Если оказывается, что за время, выделенное для приема, объем информации не превышает заданной величины, делается аварийная выдача. Проверка этим критерием позволяла обнаруживать падение интенсивности пучка ускорителя. Кроме этого производится проверка: соответствует ли принятый массив эталонному формату.

Программа анализа начинает работать после приема данных. Расшифровывается и запоминается служебная информация, происходит настройка программы, затем начинается анализ событий.

Отбираются события, для которых в первой группе камер зарегистрирован один след. Указанный трек не должен совпадать со следом, зарегистрированным в предшествующем событии. Последнее может иметь место в том случае, если промежуток времени между двумя событиями недостаточен для восстановления максимальной эффективности искровых камер.

Затем идет проверка критерия линейности. По методу наименьших квадратов проводится прямая через точки, характеризующие след частицы в первой группе камер.

Если $\sqrt{\sum \Delta r_i^2} / 2(N_1 - 2) > M_1$, где

N_1 - количество точек;

Δr_i^2 - квадрат отклонения i -ой точки от полученной прямой;

M_1 - величина, определяемая фоновыми условиями и точностью регистрирующей аппаратуры, то данное событие вычеркивается.

На магнитной ленте накапливаются:

- 1) события, в которых зарегистрирован акт рассеяния;
- 2) события, характер и объем информации о которых не позволяют при помощи достаточно простого анализа ни отнести их к первому классу, ни вычеркнуть.

На стадии обработки в процессе эксперимента необходимым и достаточным условием наличия акта рассеяния мы считаем выполнение двух требований:

- 1) Угол между двумя прямыми, которые аппроксимируют трек в первой и второй группах камер, больше некоторого минимального угла.
- 2) Величина функционала, характеризующего линейность трека до и после мишени, а также пересечение этих прямых в районе мишени, не превышает заданной величины.

Одним из основных требований, предъявляемых к данной программе, является обеспечение возможности контроля экспериментальной аппаратуры. В настоящее время введены следующие блоки контроля:

- 1) Вычисление статистической вероятности нулевых отсчетов по каждому устройству, измеряющему величины: x_d , x_p , u_d , u_p .
- 2) Получение статистической вероятности "отказов" камеры (когда всем четырем устройствам, относящимся к данной камере, соответствуют нулевые отсчеты).
- 3) Вычисление статистической вероятности пробоев по "старому" следу в каждой камере.

- 4) Получение статистической вероятности регистрации нескольких искр.

Минимальный объем выборки, по которой определялись указанные характеристики, выбран равным количеству событий, зарегистрированных при одном импульсе. Указанные величины позволяют получить эффективность экспериментальной установки.

В связи с тем, что критерии отбора событий были не апробированы, то для обеспечения возможности моделирования эксперимента с целью отработки

методики было принято решение на стадии непосредственной связи ЭВМ с экспериментальной аппаратурой накапливать всю принятую информацию на магнитной ленте и проводить анализ, обеспечивающий надежный контроль аппаратуры.

V Задание режима работы программы связи и язык общения с машиной в процессе эксперимента

Программа "on - line" была сделана таким образом, что допускала легкую настройку на различные режимы работы. Можно было по запросу физика получать различную информацию о работе аппаратуры и об устойчивости ее работы.

В целях наиболее эффективного использования ЭВМ в процессе эксперимента предусмотрена возможность обращения к нужным блокам программы или отключения некоторых блоков.

Необходимо отметить, что хотя изменения в ЭВМ дают возможность для разговора с машиной использовать телетайпы или специальную электрическую печатающую машинку, однако в рассматриваемом варианте системы для оперативного задания режимов работы и запросов на получение информации использовались регистры пульта управления БЭСМ-3М, а для ответов машины - обычная цифровая печать БПМ-20 с использованием программы выдачи алфавитно-цифровой информации. Заголовки перед числовой информацией позволяют легко ориентироваться в выдаваемой машинной информации.

В последующих вариантах программ предполагается использовать для разговора с ЭВМ телетайпы типа Т-81, которые предполагается установить вблизи экспериментального оборудования. Следует отметить, что решение проблемы устройств, позволяющих "общение" человека с ЭВМ, таких, как алфавитно-цифровая печать, устройства воспроизведения графиков, световые карандаши и др., является важным моментом в реализации потенциальных возможностей систем, где ЭВМ используется в истинном масштабе времени.

VI Программа "off - line" окончательной обработки

Как это отмечалось, программа "on - line" работала в режиме контроля аппаратуры и не производила отбора полезных событий, накапливала всю информацию на магнитной ленте в том виде, в каком она была принята от искровых

камер. Это позволило затем, используя накопленную информацию на магнитной ленте, без затрат времени ускорителя производить отработку методики отбора событий и контроля правильности работы аппаратуры.

Программа "off-line" включает в себя не только стадию окончательной обработки, но и фактически всю предварительную обработку и получение характеристик работы аппаратуры.

Исходными данными для программы являлись магнитные ленты с накопленной информацией.

Программа состоит из целого ряда блоков: (см. рис. 4) блока выборки данных для одного импульса, блока выборки одного события, блока декодировки и восстановления пространственных координат и контроля работы искровых камер, блока проведения прямых, блока получения углов рассеяния и потери импульса, блока построения гистограмм, блока накопления отобранных событий на магнитной ленте, блока выдачи на печать. Имеется также блок настройки и управления программой. В блоках проведения прямых и углов рассеяния имеются части, заведующие проверкой критериев на хорошие и полезные события. Работа программы построена таким образом, что отбор событий и их отбраковка производятся сразу после получения величины, по которой возможна проверка. Это позволяет отсеять многие события на самых первых стадиях вычисления. Результатом обработки каждого события являются, кроме величин, характеризующих изучаемый физический процесс, также специально формируемые величины, характеризующие работу установки в целом. В конце обработки одного события на рабочем поле события формируются 36 чисел, характеризующих срабатывание всех отсчетных устройств, 8 специальных чисел (по одному на камеру), характеризующих как срабатывание всех отсчетных устройств, так и факт наличия в камерах одной или двух искр. Кроме того, на специальном поле флагов остается указание, по какой причине событие было забраковано, и если оно прошло все тесты, то отмечается и этот факт.

При помощи блока выдачи и управляющей программы эта информация в любой момент может быть запрошена физиком у машины. Перейдем теперь к более детальной характеристике отдельных блоков.

Управляющий блок обеспечивает запись программы на барабан и, в случае необходимости, вызов программы с барабана в оперативную память, настройку программы в соответствии с задаваемой информацией на соот-

ветствующий режим работы и выдачи, на работу с заданными магнитофонами. Этот блок производит очистку всех полей в оперативной памяти для обеспечения накопления данных, характеризующих весь эксперимент в целом, а также обеспечивает взаимодействие всех остальных блоков.

Блок выборки данных для одного импульса обеспечивает при обращении к нему поиск и чтение с магнитной ленты данных для очередного импульса ускорителя и их запись в оперативную память ЭВМ. Этот же блок производит очистку рабочих полей для накопления данных, характеризующих ход эксперимента во время одного импульса, и, кроме того, следит за окончанием обработки данных с магнитной ленты.

Блок выборки данных для одного события производит выборку одного события (8 машинных слов) и пересылку их в рабочие ячейки, кроме того, блок производит очистку рабочих полей для последующего накопления величин, характеризующих только одно событие.

Блок дешифрации и восстановления поистранственных координат является первым блоком, производящим обработку данных одного события (см. рис. 6). В этом блоке производится проверка срабатываний устройств (катушек) выдачи координат (по 4 на каждую камеру), производится восстановление пространственных координат (если это возможно), производится проверка на наличие двух искр в камерах. В качестве результата работы этого блока выдается:

- а) 36 чисел, $K_1 = \begin{cases} 0, & \text{если сработало отсчетное устройство} \\ 1, & \text{если не сработало (координата равна 0)} \end{cases}$
- б) 9 слов $\text{stor word}(n) = 10^4 i_1 + 10^3 i_2 + 10^2 i_3 + 10 i_4 + i_5$

где

$$i_1 = \begin{cases} 0 & \text{при } x \neq 0, \\ 1 & \text{при } x = 0, \end{cases}$$

$$i_2 = \begin{cases} 0 & \text{при } x \neq 0 \\ 1 & \text{при } x = 0 \end{cases}$$

$$i_3 = \begin{cases} 0 & \text{при } y \neq 0 \\ 1 & \text{при } y = 0 \end{cases}$$

$$i_4 = \begin{cases} 0 & \text{при } y \neq 0 \\ 1 & \text{при } y = 0 \end{cases}$$

$$i_8 = \begin{cases} 0 & \text{для одной искры в камере,} \\ 1 & \\ 2 & \text{для двух и более искр в камере,} \end{cases}$$

n = номер камеры

Кроме этого, выдаются по формулам (1) пространственные координаты (x_i, y_i, z_i) ; $(i = 1, \dots, 9)$ точек пересечения частицы с плоскостями всех искровых камер, при этом, если одна из координат x или y (или они обе) не может быть вычислена, то вместо x или y выдается 0.

Блок проведения прямых по методу наименьших квадратов находит параметры прямых, аппроксимирующих точки в первой группе камер (1,2,3-камеры) и во второй группе камер (4,5,6,7 - камеры).

Блок состоит из небольшой подпрограммы для проведения прямой через произвольное число точек с равными весами и вычисления χ^2 и управляющей программы, организующей подготовку данных для этой подпрограммы. При этом производится вычисление логической величины $a = a_1 \wedge a_2$, где $a_1 = 1$, если во всех трех камерах первой группы зарегистрировано по одной искре. $a_2 = 1$, если по крайней мере в трех камерах из второй группы зарегистрирована одна искра.

Если a - истинно ($a = 1$), то событие допускается к дальнейшей обработке, если ($a = 0$), то событие бракуется: выставляется $flag_1 = 1$, если $a_1 = 0$, или выставляется $flag_2 = 1$, если $a_2 = 0$; после этого управление передается на выход из блоков обработки одного события.

В результате работы подпрограммы проведения прямой выдаются числа $a_{11}, b_{11}, M_x^2, a_{21}, b_{21}, M_y^2$ описывающие прямую в пространстве.

Для плоскости xz :

$$x = a_{11} z + b_{11};$$

$$M_x^2 = \sum_{i=1}^n (x_i - a_{11} z_i - b_{11})^2;$$

$$a_{11} = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i z_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n z_i}{\Delta}$$

$$b_{11} = \frac{\sum_{i=1}^n z_i^2 \sum_{i=1}^n x_i - \sum_{i=1}^n x_i z_i \sum_{i=1}^n z_i}{\Delta};$$

$$\Delta = n \sum_{i=1}^n z_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n z_i \right)^2.$$

По аналогичным формулам производится вычисление величин a_{21} , b_{21} , M_y^2 и для плоскости yz .

После нахождения первой прямой делается проверка для $M_1^2 = M_x^2 + M_y^2$. Если $M_1^2 > M_{01}^2$, то выставляется $fl_{ag} 3 = 1$ и следует передача управления на конец обработки события. Соответственно после проведения второй прямой следует проверка $M_2^2 > M_{02}^2$, если условие выполнено, то выставляется $fl_{ag} 4 = 1$ и заканчивается обработка события. Если событие прошло все критерии, результатом работы всего блока являются параметры прямых, проходящих через первую группу камер (a_{11} , b_{11} , a_{21} , b_{21} , M_1^2) и через вторую группу камер (a_{12} , b_{12} , a_{22} , b_{22} , M_2^2).

Блок углов рассеяния

В первую очередь производится проверка, имел ли место акт рассеяния, то есть проверяется $\theta \geq \theta_0$ (*),

где

$$\cos \theta = \frac{(\bar{t}_1 \cdot \bar{t}_2)}{|\bar{t}_1| \cdot |\bar{t}_2|}$$

$$\bar{t}_1 = \{ a_{11}, a_{21}, 1 \}; \quad \bar{t}_2 = \{ a_{12}, a_{22}, 1 \}.$$

Если рассеяния не было, то выставляется $\text{flag} = 1$ и следует уход на конец обработки события. В случае, если рассеяние произошло, производится вычисление угла рассеяния по формуле

$$\theta = \arcsin \frac{\sqrt{(a_{11} - a_{12})^2 + (a_{21} - a_{22})^2 + (a_{11} a_{22} - a_{21} a_{12})^2}}{\sqrt{a_{11}^2 + a_{21}^2 + 1} \sqrt{a_{12}^2 + a_{22}^2 + 1}}$$

Следует отметить, что в целях сокращения затрат машинного времени вместо проверки условиях (*) проверялось условие

$$(a_{11} - a_{12})^2 + (a_{21} - a_{22})^2 + (a_{11} a_{22} - a_{21} a_{12})^2 \geq \epsilon_1,$$

где $\epsilon_1 \approx \theta_0^2$, так как изучаются и регистрируются только процессы с малым углом рассеяния.

Далее находим кратчайшее расстояние

$$R = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2}$$

между первой

$$x_1 = a_{11} z_1 + b_{11}$$

$$y_1 = a_{21} z_1 + b_{21}$$

и второй прямой

$$x_2 = a_{12} z_2 + b_{12}$$

$$y_2 = a_{22} z_2 + b_{22},$$

а также получаем среднюю точку $M(\frac{x_1 + x_2}{2}, \frac{y_1 + y_2}{2}, \frac{z_1 + z_2}{2})$ этого рассеяния в качестве оценки для пересечения прямых. Величины z_1, z_2 находим из уравнений

$$\frac{\partial (R^2)}{\partial z_1} = 0,$$

$$\frac{\partial (R^2)}{\partial z_2} = 0,$$

которые приводят к формулам

$$z_1 = \frac{-(a_{12}^2 + a_{22}^2 + 1)[(b_{11} - b_{12})a_{11} + (b_{21} - b_{22})a_{21}] + \Delta_R}{\Delta_R} +$$

$$+ \frac{(a_{12}a_{11} + a_{22}a_{21} + 1)[(b_{11} - b_{12})a_{12} + (b_{21} - b_{22})a_{22}]}{\Delta_R};$$

$$z_2 = \frac{(a_{11}^2 + a_{21}^2 + 1)[(b_{11} - b_{12})a_{12} + (b_{21} - b_{22})a_{22}]}{\Delta_R} -$$

$$- \frac{(a_{11}a_{12} + a_{22}a_{21} + 1)[(b_{11} - b_{12})a_{11} + (b_{21} - b_{22})a_{21}]}{\Delta_R}$$

$$\Delta_R = (a_{11}a_{22} - a_{21}a_{12})^2 + (a_{11} - a_{12})^2 + (a_{22} - a_{21})^2.$$

Блок углов рассеяния заканчивает свою работу обработкой данных с искровых камер № 8 и № 9, установленных после отклоняющего магнита.

Сначала производится проверка на излом траекторий частиц в плоскости (yz). Проверяются условия

$$\frac{|-y_8 + a_{22}z_8 + b_{22}|}{\sqrt{1 + a_{22}^2}} - d_1 < 0$$

$$\frac{|-y_9 + a_{22}z_9 + b_{22}|}{\sqrt{1 + a_{22}^2}} - d_2 < 0.$$

Если хотя бы одно из этих условий не выполнено, событие бракуется (выставляется $flag = 1$).

Если одна из камер не работала, то идет проверка только одного из этих условий. Для событий, прошедших все предыдущие критерии, производится вычисление угла отклонения частицы в магнитном поле.

Вычисляется:

$$C_1 = \frac{-x_8 + a_{12} z_8 + b_{12}}{\sqrt{1 + a_{12}^2} (R - z_9 + z_8)}$$

$$C_2 = \frac{-x_9 + a_{12} z_9 + b_{12}}{\sqrt{1 + a_{12}^2} R},$$

где R — есть расстояние от центра Магнита до камеры № 9.

В качестве угла отклонения берем среднее значение

$$C = \frac{C_1 + C_2}{2}.$$

• Если отсчет по координате x в одной из камер отсутствует, то в качестве угла отклонения берется угол отклонения по сработавшей камере. Если отсутствуют отсчеты в обеих камерах, то событие бракуется (выставляется $flag = 1$).

На этом заканчивалась обработка данных одного события. Если событие проходило проверку по всем вышеперечисленным критериям, выставлялся $flag = 1$ и производился выход из блока.

Блок построения гистограмм. Его назначение видно из названия. Этот блок в соответствии с вводимыми константами производит накопление одномерных гистограмм в процессе отбора и обсчета событий. Могут накапливаться гистограммы четырех любых величин, получаемых в процессе обработки событий.

Перед накоплением в гистограмму возможно было производить проверку типа $z_1 \leq z \leq z_2$ для некоторой величины z , накопление производилось только в случае удовлетворения этого условия.

Если накапливаемая величина выходила за пределы поля гистограммы, производился подсчет таких случаев, отдельно вышедших с одной и с другой стороны гистограммы.

Обычно накапливались гистограммы распределения импульса частиц (распределение по углам отклонений θ_{23}), распределение по азимутальному углу θ_{12} , распределение z -координаты точек пересечения прямых, распределение M^2 .

Переход на накопление других гистограмм, так же как и задание других констант, задающих вид гистограмм, производился путем добавления к программе специальных карт с информацией.

Блок накопления на магнитной ленте производит накопление отобранных по критериям событий (см. рис. 7). Накапливались не только конечные результаты, но и все начальные и промежуточные результаты, относящиеся к отбранному событию, так что при последующей работе с магнитной лентой и отобранных событиях легко произвести дальнейшую обработку всего эксперимента (расчет с учетом многократного рассеяния, нахождение геометрической эффективности системы и т.д.). Этот блок имеет автономную настройку и управление, что позволяет накопить на одной ленте результаты обработки с многих первичных магнитных лент.

Блок печати в соответствии с управляющей информацией по запросу от физика выдает на печать различную информацию, относящуюся к обработке отдельного события, одного импульса и всего эксперимента в целом.

Каждая выдаваемая информация сопровождается надписью-заголовком, сделанной на обычной цифровой печати по специальной программе, а затем следует сама выдаваемая информация. Могли печататься:

а) Надпись-заголовок "событие", а затем информация о событии: угол рассеяния θ_{12} , его идентификатор (номер события, представляющий собой номера блоков магнитофонов, зон и события в зоне), угол отклонения после магнита (импульс), точка пересечения первой и второй прямой и невязки пересечения (кратчайшее расстояние между прямыми), M^2 для первой и второй прямой. Предполагается выдавать и ошибки основных величин, хотя в первом варианте мы ограничились получением только невязки.

После этой информации, если об этом был специальный запрос, могло выдаваться содержимое всех рабочих полей события, а также рабочих полей для одного импульса ускорителя и всего эксперимента.

б) Надпись "Константы", а затем следуют сами константы, характеризующие режимы работы программы: константы для отбора событий; а также константы, управляющие построением гистограмм.

в) Подпись "флаги", а затем следовала печать содержимого ячеек, указывающих общее число всех запусков камер, число событий, прошедших критерии, число событий, отбракованных по каждому из тестов: не сработали одна

или более из трех камер первой группы, не сработали две или более из четырех камер второй группы, большое M^2 первой прямой, большое M^2 второй прямой; нет акта рассеяния, нет отсчета импульса по 8-й и 9-й камерам.

г) Надпись-заголовок "гистограмма 1" (соответственно "гистограмма 2" и т.д.), после которой следовала соответствующая гистограмма.

д) "Эффективность каналов" и затем данные по количеству несрабатывающих каждого из каналов.

З а к л ю ч е н и е

Проведение первого эксперимента показало, что программа "on-line" позволяла полностью контролировать работу искровых камер, каналов связи, контролировать пробои по старому следу и при проведении эксперимента имела уверенность в том, что использовались доброкачественные данные. Использование этой методики дает, кроме того, еще большой выигрыш во времени при наладке аппаратуры и всей установки, так как выдаваемая информация давала полную картину режима работы и неисправностей в системе. Последующий многократный анализ результатов (было накоплено порядка 100 т. событий) при помощи программы "off-line" показал, что созданная установка обладает эффективностью и точностью, позволяющей получать достаточно точные результаты для получения физического результата.

Накопленные данные продолжают обрабатываться, результаты обработки, можно надеяться, позволят в следующем варианте программы создать эффективные быстро работающие алгоритмы отбора необходимых событий во время проведения эксперимента.

В заключение авторы выражают благодарность И.А. Голутвину, Ю.В. Заневскому, С.С. Кирилову, В.И. Морозу, Л.Н. Струнову, Д. Цедендамба, Э.Н. Цыганову за полезные обсуждения в процессе постановки и выполнения работы.

Л и т е р а т у р а

1. R.Clark, W.F.Miller. Computer-Based Data Analysis Systems. Methods in Computational Physics, 5, 1966.
2. P.M.Blackall, G.R.Macleod, P.Zanella, "The Automatic Analysis of Spark Chamber Pictures Using a Flying Spot Digitizer", CERN-Report 63-64, CERN, Geneva, 1963.
3. A.Head, J.A.Wilson, "Spark Chamber Photograph Analysis Using LUCIOLE", CERN-Report 65-II, CERN, Geneva, 1965.
4. G.Belletini et al. CERN-Report 65-33, CERN, Geneva, 1965.
5. E.Blezer et al. Design and Performance of an on-line Wire Spark Chamber Spectrometer for 5 to 30 GeV/c Particles, Nucl.Instr.and Meth., 44, No1, 1966.
6. А.С. Гаврилов, И.А. Голутвин, Ю.В. Заневский, С.С. Кириллов, Б.А. Кулаков, Л.Г. Макаров, Э.Н. Цыганов. Препринт ОИЯИ 2398, Дубна 1965, ПТЭ, № 5, 1966.
7. И.М. Иванченко. Программа анализа упругого π - p -рассеяния при непосредственной связи стрикционных искровых камер с ЭВМ.
Материалы совещания по математическим методам решения задач ядерной физики, Дубна, 21-25 июля 1966. Препринт ОИЯИ, 5-3283, Дубна, 1967 г.
8. I.V.Chuvilo et al. Filmless Spark Chamber on-line Computer System in: "International Conference on Instrumentation for High Energy Physics. Proceedings Stanford University, Sept. 1966". Springfield, 1966, p. 579-583.
8. I.V. Chuvilo, P.I.Filipov, A.C.Gavrilov, N.N.Govorun, I.A.Golutvin, E.D.Gorodnichev, I.M.Ivanchenko, S.S.Kirilov, Yu.T.Kiryshin, V.D.Kondrashov, G.M.Kadykov, V.I.Moroz, T.C.Nigamanov, O.K.Nefedyev, V.P.Pugachevich, V.N.Sadovnikov, E.N.Tsyganov, Yu.V.Zanevsky. Filmless Spark Chamber System for Operation with on-line Computer. Preprint JINR E-13-3141, Dubna 1967.
10. V.Perez-Mendez and J.M.Pfab. Nucl. Instr. and Meth., v.33, No 1, p. 141, 1966.

Рукопись поступила в издательский отдел

29 мая 1967 года.

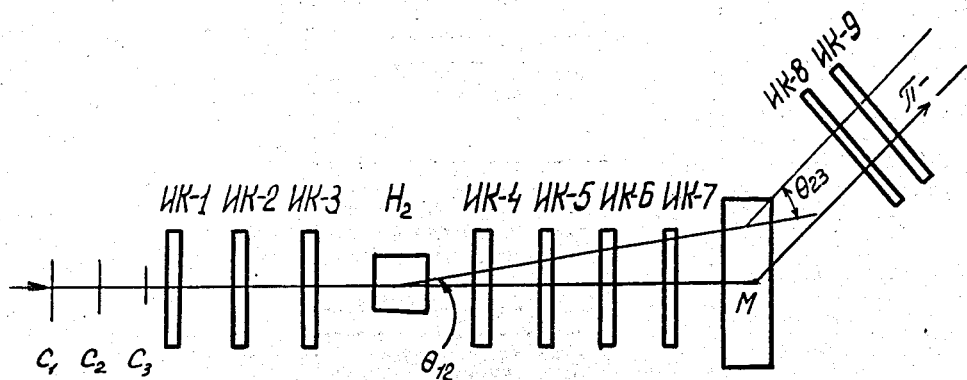
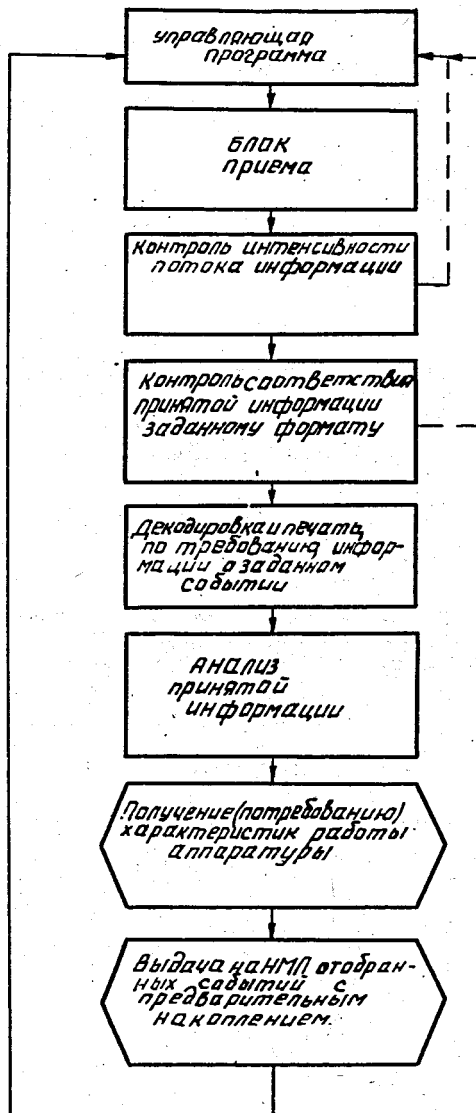


Рис. 1. Схема экспериментальной установки по изучению π^-p -рассеяния. C_1, C_2, C_3 —спинтиляционные счетчики; ИК-1-ИК-9—вскровые камеры; H_2 —водородная мишень; М—анализирующий магнит; θ_{12} —угол рассеяния частицы; θ_{23} —угол отклонения частицы в магнитном поле.



Рся. 2. Структура программы "on-line"

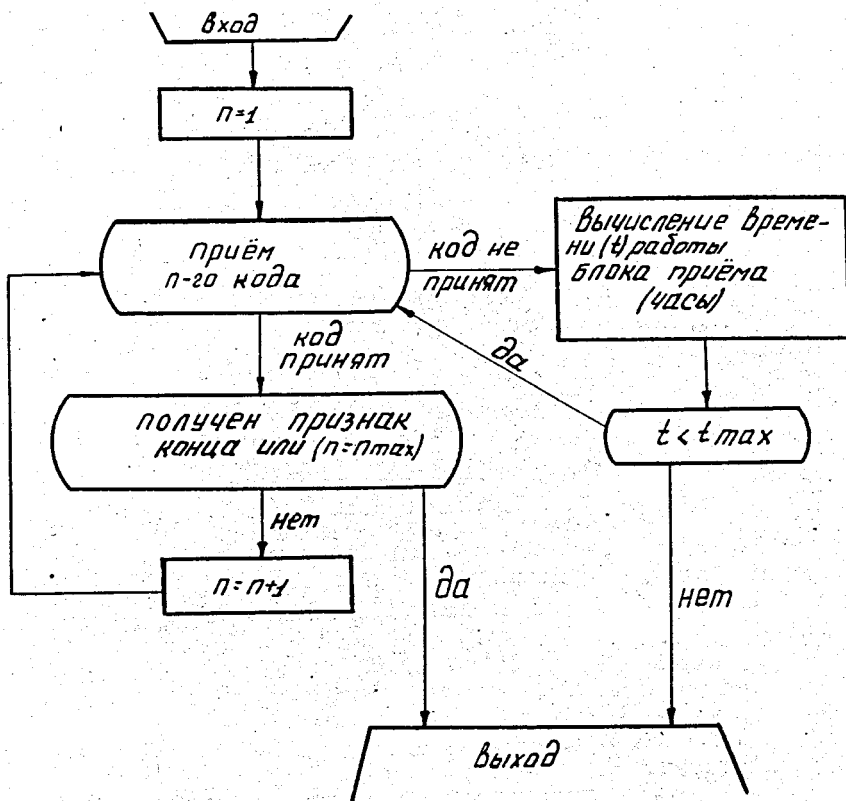


Рис. 3. Схема блока ввода экспериментальной информации.

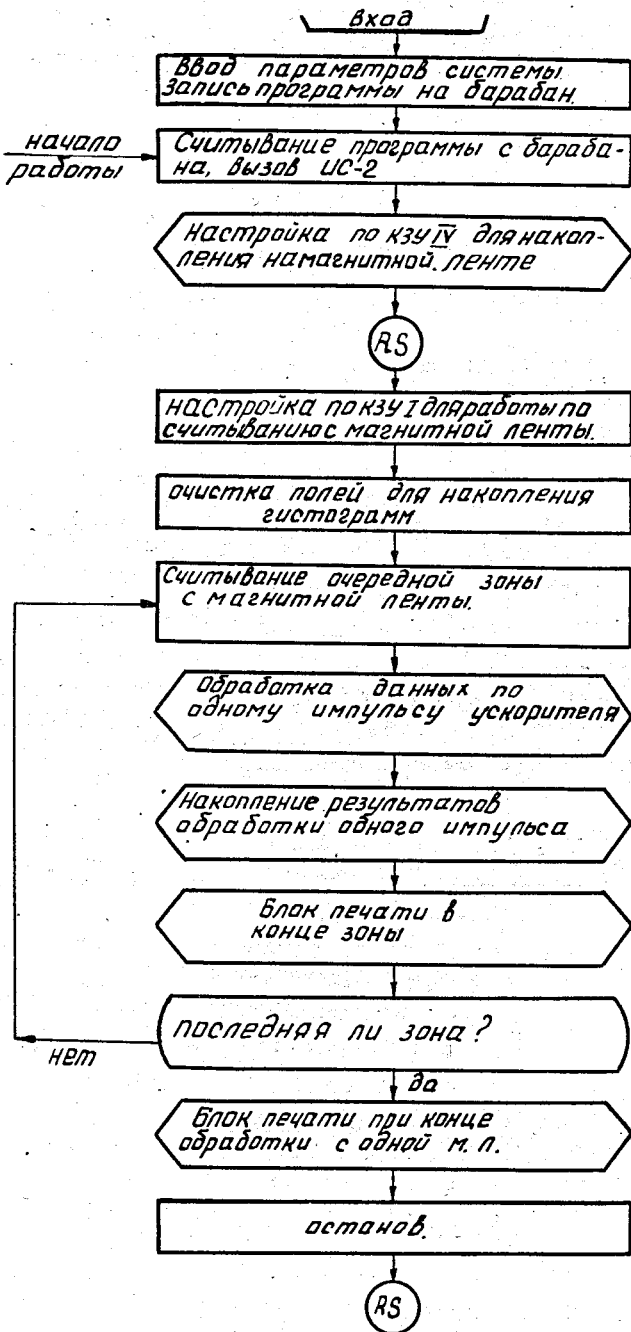


Рис. 4. Блок-схема программы "off-line"

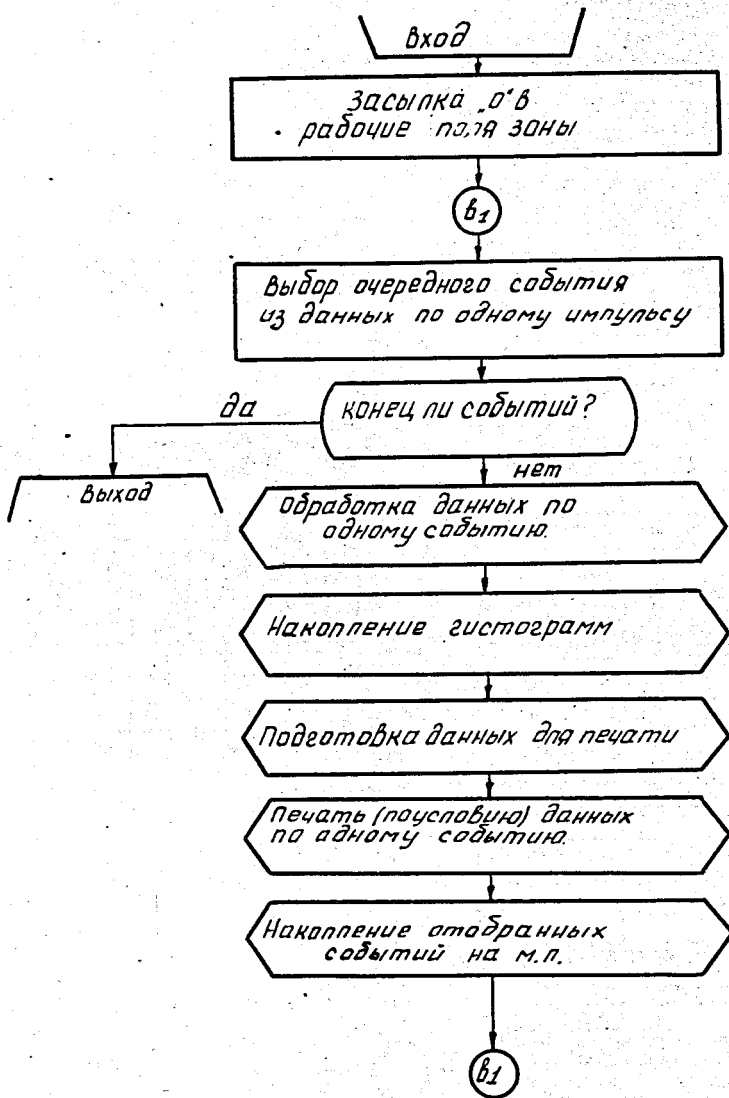


Рис. 6. Блок-схема обработки данных, характеризующих один импульс ускорителя.

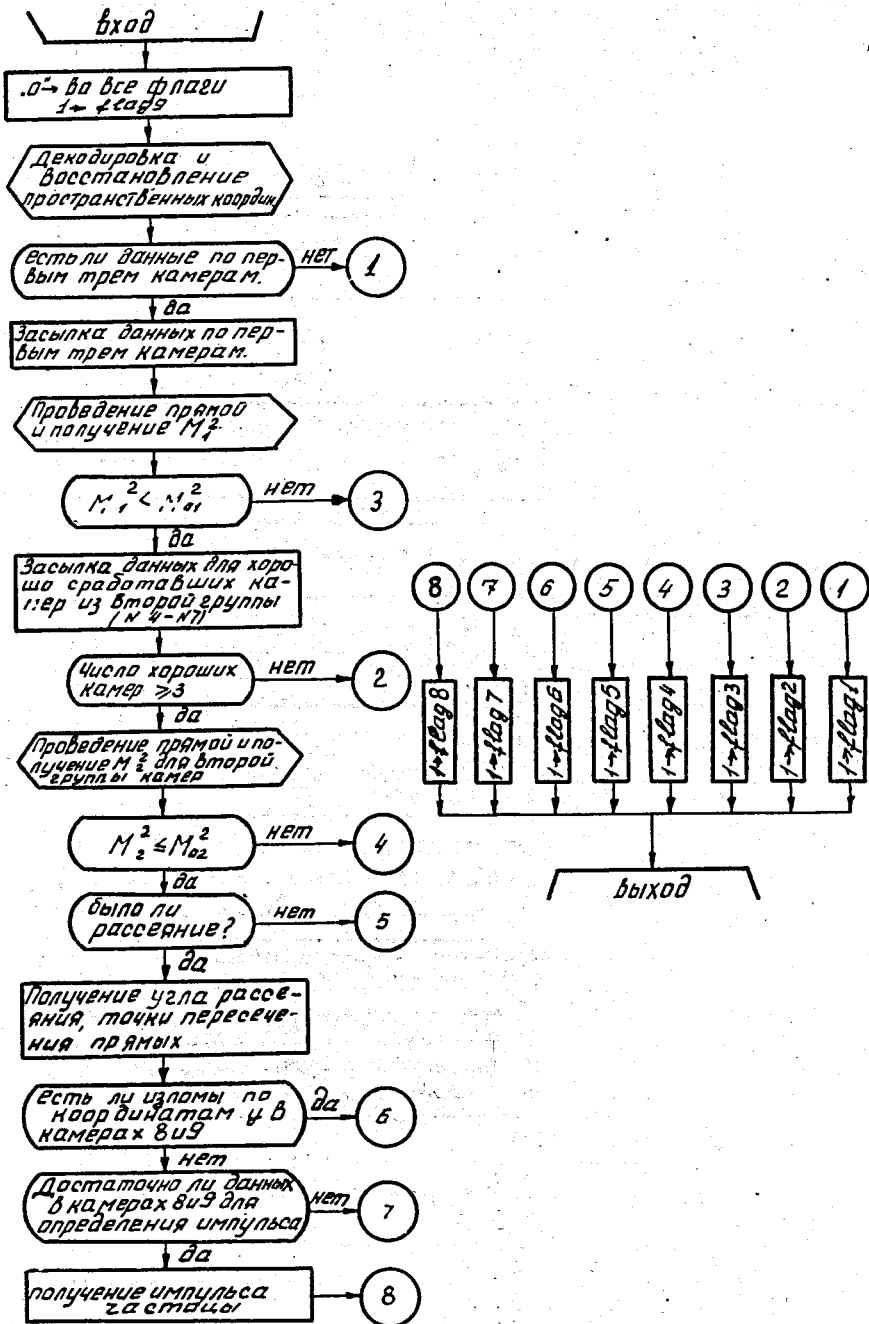


Рис. 6. Схема обработки одного события.

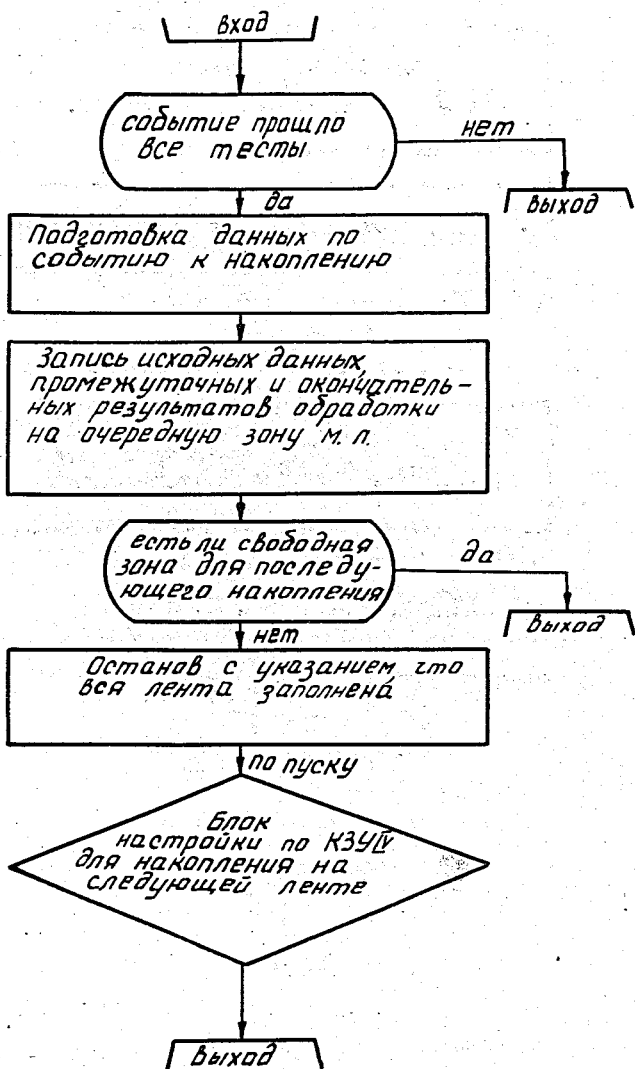


Рис. 7. Блок накопления отобранных событий.

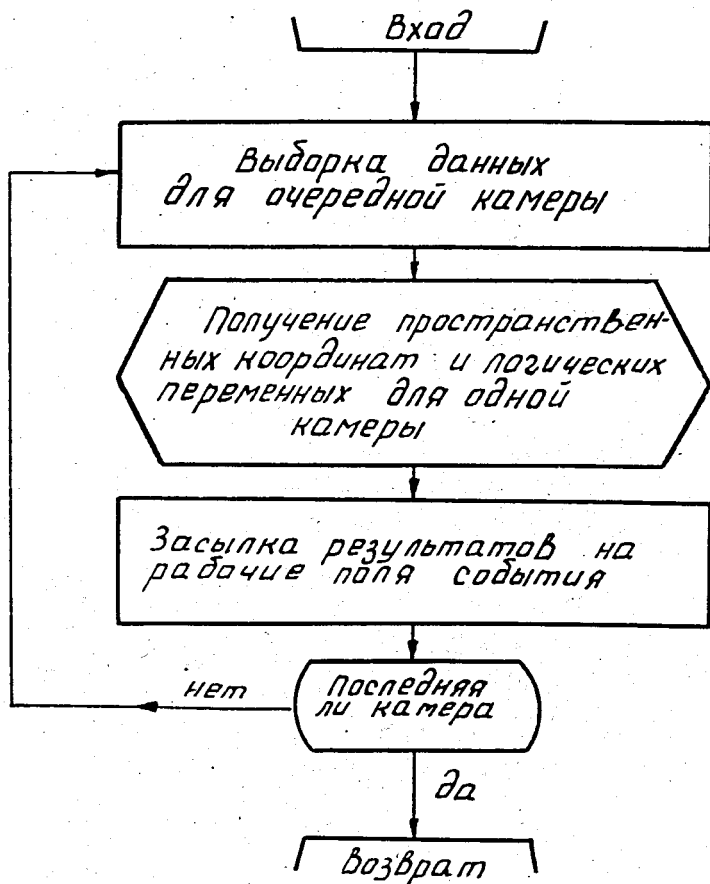


Рис. 8. Декодировка и восстановление пространственных координат, характеризующих одно событие.

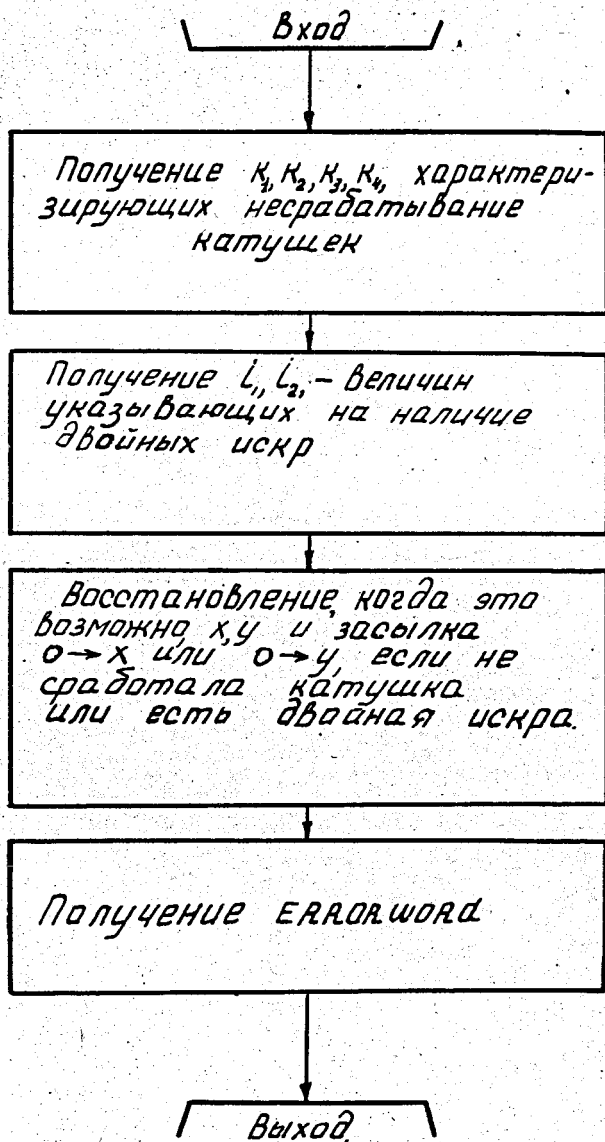


Рис. 8. Получение пространственных координат и значений логических переменных для одной камеры.

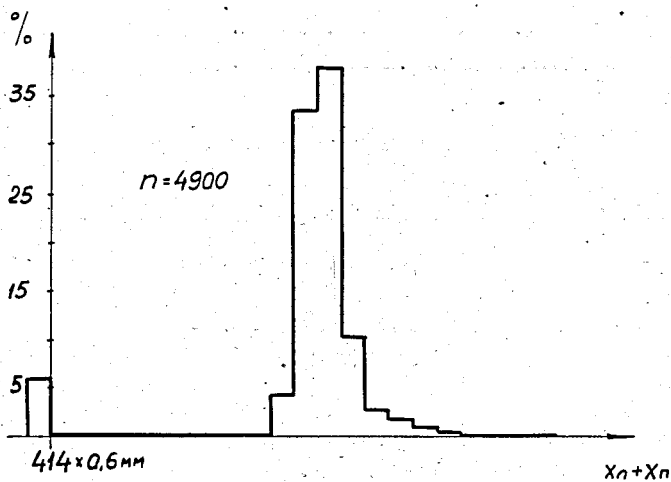
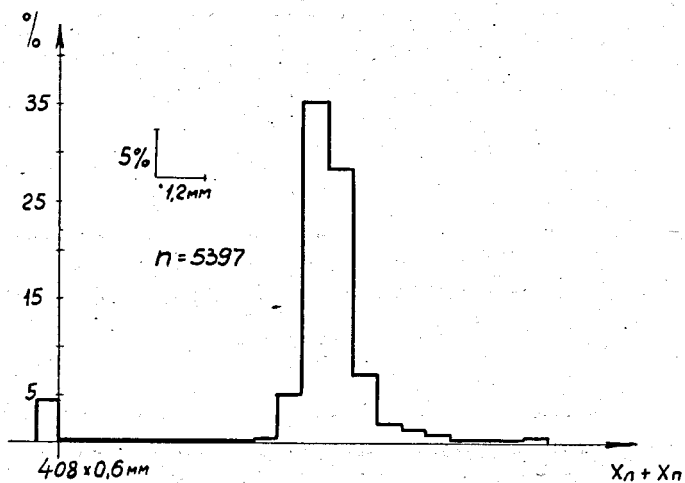


Рис. 10. Гистограммы распределения величин $(x_I + x_{II})$ для первых двух камер.