

**СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА**

P10-86-138

С.Н.Малюков, В.М.Маниев,<sup>1</sup> И.А.Минашвили,<sup>2</sup>  
Н.А.Русакович, С.В.Сергеев, С.Токар,  
Р.Ценов, Л.Шандор<sup>3</sup>

**ОБРАБОТКА ДАННЫХ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛИВНЕВОГО  
ГОДОСКОПИЧЕСКОГО ДЕТЕКТОРА  
С РАЗМЕРОМ ЯЧЕЙКИ 10x10 см<sup>2</sup>  
УСТАНОВКИ ГИПЕРОН**

---

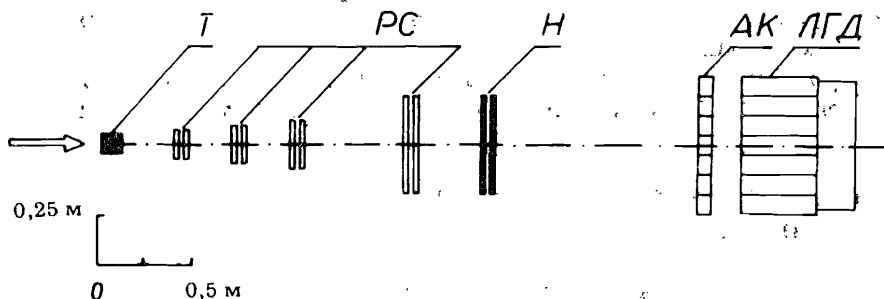
<sup>1</sup> ИФ АН АзССР, Баку

<sup>2</sup> ИФВЭ ТГУ, Тбилиси

<sup>3</sup> ИЭФ САН, Кошице

## ВВЕДЕНИЕ

В ряде экспериментов на спектрометре ГИПЕРОН<sup>/1/</sup>, расположенном на пучке положительных частиц с энергией  $5 \pm 15$  ГэВ серпуховского ускорителя, применяются ливневые годоскопические детекторы (ЛГД) с радиаторами из свинцового стекла для регистраций  $\gamma$ -квантов и электронов (позитронов) в конечном состоянии. В некоторых экспозициях совместно с ЛГД использовался активный конвертор (АК), изготовленный из такого же стекла. Пример расположения аппаратуры в этих экспериментах показан на рисунке.



Подробное описание установки и ряда физических результатов, полученных с применением АК и ЛГД, дано в<sup>/2-4/</sup>. Здесь приводятся лишь некоторые основные характеристики детекторов, необходимые для описания системы обработки данных, полученных в измерениях с использованием ЛГД с ячейкой  $10 \times 10$  см<sup>2</sup>.

Траектории вылета заряженных частиц из мишени Т (см. рисунок) определяются в пропорциональных камерах РС и сцинтилляционном годоскопе Н. Регистрация электромагнитных ливней осуществляется в системе (АК+ЛГД). Контроль за дрейфом спектрометрических каналов обеспечивался с помощью опорных световых импульсов от группы светодиодов, поступающих по гибким световодам к каждому элементу ЛГД и АК.

Детекторы установки работают в режиме он-лайн с ЭВМ ЕС-1010, которая через систему сбора данных<sup>/5/</sup> осуществляет контроль за аппаратурой, накопление и запись поступающей информации на первичные магнитные ленты.

## ОБЩАЯ СХЕМА ОБРАБОТКИ

Обработка экспериментальных данных осуществляется в несколько этапов:

- 1) анализ информации, поступающей с детекторов установки, в режиме он-лайн;
- 2) обработка результатов специализированных экспозиций, предназначенных для геометрической привязки детекторов и энергетической калибровки спектрометрических каналов;
- 3) реконструкция событий, записанных в ходе эксперимента на первичные магнитные ленты; формирование лент суммарных результатов (ЛСР) первого поколения;
- 4) вычисление кинематических параметров частиц; отбор событий, удовлетворяющих заданным критериям; запись ЛСР второго поколения;
- 5) расчет эффективности регистрации исследуемого процесса;
- 6) статистический анализ; построение распределений по физическим переменным; сравнение полученных результатов с теоретическими моделями.

Рассмотрим эти этапы по отдельности, концентрируя внимание в основном на специфических аспектах используемых алгоритмов.

### КОНТРОЛЬ РАБОТЫ УСТАНОВКИ В РЕЖИМЕ ОН-ЛАЙН

Основное назначение программ анализа в режиме он-лайн состоит в оперативном контроле состояния детектирующей аппаратуры, осуществляемом непосредственно в процессе набора экспериментальных данных. Соответствующая цифровая и графическая информация отображается на экранах алфавитно-цифровых дисплеев и цветных телевизионных мониторов, может быть также выдана на печать.

Для слежения за работой детекторов используются два вида специальных "реперных" запусков установки; их частота составляет несколько событий за цикл ускорителя:

- запуски от непроизводивших пучковых частиц, по которым определяются эффективности координатных детекторов (пропорциональных камер и годоскопов);
- "световые" реперы, соответствующие импульсам одновременной засветки фотоумножителей спектрометрических каналов.

Оцифрованные значения амплитуд реперных световых импульсов (с вычтенными пьедесталами амплитудно-цифровых преобразователей) усредняются по некоторому временному интервалу и сравниваются с опорной таблицей, хранящейся в памяти ЭВМ. Номера каналов, для которых усредненная реперная амплитуда существенно отличается от опорного значения, высвечиваются на дисплее.

Удобным средством визуального контроля за работой АК и ЛГД является изображение на экране цветного монитора фронтального вида ливневого детектора. Очередное событие может экспонироваться в течение нескольких секунд, при этом счетчики АК и ЛГД, в которых произошло энерговыделение, обозначаются цветом и цифрами, соответствующими энерговыделению в этих счетчиках.

Система сбора данных предусматривает прекращение записи на магнитную ленту, если число триггеров за сброс ускорителя (за вычетом реперных запусков) меньше некоторого минимального, что обычно происходит при сбоях в работе ускорителя. При восстановлении режима работы запись на магнитную ленту возобновляется.

### ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ КАЛИБРОВОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Для реконструкции событий, записанных на первичные магнитные ленты, необходимо определить набор констант, характеризующих пространственное расположение детекторов, и вычислить коэффициенты перевода амплитуд сигналов, поступающих из спектрометрических каналов, в энергии. Геометрическая привязка детекторов к системе координат установки осуществляется с помощью итерационной процедуры, подобной изложенной в<sup>6/</sup>. Применяемый метод основывается на использовании геодезических измерений с последующим программным уточнением взаимного расположения детекторов. Входные данные для этой программы записываются в специальной экспозиции. В результате производится геометрическая привязка не только координатных детекторов, но и АК и ЛГД.

Калибровочные коэффициенты для перевода амплитуд в энергии определяются двумя способами:

- по обработке данных специальной экспозиции, в ходе которой элементы калориметра, расположенного на подвижной платформе, поочередно облучаются монохроматическим пучком позитронов известной энергии;

- посредством процедуры "калибровки по эффекту", близкой к примененной в<sup>7/</sup>. Суть метода заключается в минимизации разности между измеренным значением и табличной величиной массы частицы, распадающейся на  $\gamma$ -кванты (например  $\eta$ -мезона), путем подгонки величин калибровочных коэффициентов. Для этого можно использовать как основной статистический материал, набранный в физических экспозициях, так и специализированный набор данных, обогащенный событиями с образованием частиц, выбранных для калибровки.

## РЕКОНСТРУКЦИЯ СОБЫТИЙ

Программа реконструкции событий, записанных в ходе эксперимента на первичные магнитные ленты, предназначена для решения следующих задач:

1. Поиск проекций треков заряженных частиц и вычисление их параметров. Эта задача решается при помощи программных модулей, близких к описанным в <sup>/8/</sup>.

Некоторая специфика примененного нами способа поиска треков состоит в обобщении известного метода коридоров <sup>/9/</sup> на случай набора детекторов с различным координатным разрешением (каждой плоскости ПК или сцинтилляционного годоскопа соответствует своя ширина коридора). Различие в разрешениях детекторов учитывается и при определении параметров прямой, аппроксимирующей проекцию трека.

2. Распознавание ливней в  $e\gamma$ -калориметре (ЛГД+АК) и вычисление их характеристик. На решении этой задачи остановимся более подробно.

Возможные алгоритмы распознавания ливней в годоскопических калориметрах с гомогенными радиаторами сильно зависят от соотношения  $\gamma$  между характерным поперечным размером ливня  $d$  в данном материале и размером ячейки калориметра  $D$ . В нашем случае  $D = 10 \text{ см} = 4 \text{ рад.ед.}$ , а  $d = 2 \text{ рад.ед.}$ , что дает  $\gamma = D/d = 2$ . Такое значение  $\gamma$  вместе с особенностями конструкции элементов ЛГД и наличием активного конвертора и определяет отличие применяемых нами алгоритмов от разработанных для спектрометров с малой ячейкой <sup>/10/</sup>.

Процедура поиска ливней начинается с нахождения тех элементов ЛГД, в которых энерговыделение выше некоторого порогового значения  $E_n$ . Такие элементы в дальнейшем будем называть опорными. Считается, что только в них могут находиться оси отыскиваемых ливней. Значение  $E_n$  определяет нижний энергетический порог регистрации электромагнитных ливней. Поскольку черенковский свет, вызванный попадающими в ЛГД заряженными адронами и мюонами, имитирует ливень с энергией около 0,5 ГэВ, нами было выбрано  $E_n = 1 \text{ ГэВ}$ . Далее отбираются зоны из девяток (3x3) блоков с опорными элементами в центре, при этом некоторые элементы могут входить в несколько перекрывающихся зон. Для разделения энергии между перекрывающимися ливнями каждому элементу приписывается вес  $W$ , учитывающий его энергетический вклад в данный ливень. При этом опорному элементу девятки приписывается  $W = 1$ , диагональному же по отношению к опорному, но являющемуся, в свою очередь, опорным для другой девятки —  $W = 0$ , а для остальных элементов вес вычисляется по формуле  $W = W_T / (n_L W_L + n_D W_D)$ . Здесь  $W_L (W_D)$  — усредненный по координате входа  $\gamma$ -кванта в опорный блок вес прилегающего (диагонального) элемента;  $n_L (n_D)$  — чис-

ло повторений рассматриваемого элемента как прилегающего (диагонального) в разных девятках.  $W_T$  равен  $W_L$ , если элемент является прилегающим, или  $W_D$ , в случае, когда он расположен по диагонали от опорного блока. Веса  $W_L$  и  $W_D$  были определены по результатам моделирования процессов развития электромагнитного ливня в ЛГД с помощью программы ELSS <sup>/11/</sup>.

С учетом весов определяется энерговыделение в ЛГД кандидата в ливень:  $E_{\text{ЛГД}} = \sum_{i=1}^9 E_i W_i$ , где  $E_i$  — энергия, зарегистрированная в  $i$ -м элементе девятки, и проверяется, удовлетворяет ли данный кандидат некоторому условию "компактности" энерговыделения, связанному с характерным размером поперечного профиля ливня в свинцовом стекле. Количественно критерии "компактности" также подобраны по результатам моделирования. Потери ливней из-за накладываемых критериев отбора учитываются впоследствии при вычислении эффективности регистрации событий и не превышают 8%.

Далее вычисляется полная энергия электромагнитного ливня:

$$E = E_{\text{ЛГД}} + \Delta E_z(x, y, E) + \Delta E_{\text{АК}} + \Delta E_y(E).$$

Здесь  $\Delta E_z$  — поправка на потерю энергии в зазорах между радиаторами элементов. Она вычисляется на основе экспериментальных измерений <sup>/4/</sup> и в самых неблагоприятных случаях составляет до 40% от  $E$ .  $\Delta E_{\text{АК}}$  — выделившаяся в активном конверторе доля энергии ливня. В случаях, когда через элемент АК прошло более одной частицы, инициировавшей ливень в ЛГД,  $\Delta E_{\text{АК}}$  вычисляется на основе данных моделирования. Как правило,  $\Delta E_{\text{АК}}$  составляет 5-10% от  $E$ . Поправка  $\Delta E_y$ , связанная с утечкой части ливня за калориметр, вычисляется как функция от  $E_{\text{ЛГД}} + \Delta E_z + \Delta E_{\text{АК}}$ . Вид этой функции определен нами на базе моделирования. Величина  $\Delta E_y$  меняется в пределах 3-7% от полной энергии. Как видно, в самых неблагоприятных случаях вычисляемые поправки могут достигать 55% от  $E$ . Однако, как показано в <sup>/4/</sup>, энергетическое разрешение детектора даже в этих случаях ухудшается ненамного (на 10%), что указывает на корректность процедуры учета потерь энергии.

Координаты оси ливня вычисляются как

$$x = f \left( \frac{\sum_{i=1}^9 x_i E_i}{\sum_{i=1}^9 E_i} \right); \quad y = f \left( \frac{\sum_{i=1}^9 y_i E_i}{\sum_{i=1}^9 E_i} \right),$$

где  $x_i, y_i$  — координаты центров элементов девятки, а функция  $f$  определена экспериментально <sup>/4/</sup>.

Поперечные координаты  $x, y$  считаются найденными не на передней поверхности детектора, а на плоскости, соответствующей максимальному энерговыделению ливня в продольном направлении. Это обеспечивает частичный учет зависимости функции  $f$  от угла влета  $\gamma$ -кванта или электрона (позитрона) в калориметр.

Восстановленные таким образом энергии и координаты ливней, а также параметры проекций треков заряженных частиц записываются на ЛСР первого поколения.

Кроме указанных выше программа реконструкции выполняет и некоторые другие функции, например, коррекцию временного дрейфа спектрометрических каналов ЛГД и АК по светодиодным реперам, вычисляет и заносит в протокол обработки трековую эффективность координатных детекторов, периодически "спасает" свое состояние на дисковом файле для организации рестарта после сбоев ЭВМ и т.п. Время обработки одной первичной ленты (~30 тысяч событий) по программе реконструкции составляет 1-2 ч на ЭВМ ЕС-1060. В среднем из трех первичных лент получается одна ЛСР первого поколения.

### ОБРАБОТКА СОБЫТИЙ С ЛСР ПЕРВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Для статистического анализа необходимо вычисление некоторых величин, определяющих топологию события и характеризующих его кинематику. Это делается в рамках программы обработки ЛСР первого поколения.

На этом этапе, во-первых, восстанавливается полная пространственная картина события. Если в событии зарегистрировано несколько заряженных частиц, то для устранения известной неоднозначности (см., например, <sup>12/</sup>) при сопоставлении проекций треков используется ЛГД в качестве двухкоординатного годоскопа. По пересечению пучкового трека с треками вторичных заряженных частиц определяется точка взаимодействия.

Во-вторых, производится вычисление кинематических параметров (фeyнмановская переменная  $x_F$ , поперечный импульс  $P_T$  и т.п.) и определение эффективных масс различных комбинаций зарегистрированных частиц.

В-третьих, идентифицируются электроны (позитроны). Для этого анализируются величины энерговыделения в элементах АК и ЛГД, через которые проходят найденные пространственные треки. Если эти величины превосходят некоторые пороговые значения, соответствующая частица метится как электрон (позитрон). Значения этих порогов определены в <sup>14/</sup>.

В результате работы программы создается ЛСР второго поколения, а также дисковые файлы данных, содержащие в упакованном виде вычисленные кинематические параметры событий определенной топологии. Эти файлы являются входными для этапа статистической обработки.

### РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕГИСТРАЦИИ

Эффективность регистрации событий рассчитывалась методом Монте-Карло. Рассмотрим кратко два опробованных нами варианта расчета эффективности в эксперименте по изучению инклюзивного образования  $\eta$ -мезонов <sup>13/</sup>, регистрируемых по распаду  $\eta \rightarrow \gamma\gamma$ .

В первом случае разыгрывались события, соответствующие образованию в мишени пар  $\gamma$ -квантов с переменной инвариантной массой и кинематическими параметрами в заданном диапазоне. Если  $\gamma$ -кванты удовлетворяли критериям геометрической проверки, то рассчитывалось энерговыделение в счетчиках АК и ЛГД на основе простой модели электромагнитного ливня. Далее проверялось, может ли сгенерированное событие инициировать запуск установки и удовлетворяет ли оно критериям обработки в режиме офф-лайн. Результатом расчета является функция эффективности регистрации в зависимости от инвариантной массы и кинематических параметров пары  $\gamma$ -квантов. Эта функция затем использовалась для взвешивания экспериментальных спектров эффективных масс  $\gamma$ -пар в каждом интервале разбиения по кинематическим переменным.

Преимущество такого метода состоит в его простоте и экономичности. Очевидный недостаток заключается в том, что не учитывается сопровождение регистрируемых  $\eta$ -мезонов другими частицами.

Второй алгоритм расчета в общих чертах следует описанному в <sup>14,15/</sup>. Для каждого реального события производилось вращение группы зарегистрированных энергичных  $\gamma$ -квантов вокруг оси пучка. Далее каждая пара  $\gamma$ -квантов рассматривалась как происходящая от распада некоторого промежуточного состояния с определенной инвариантной массой и заново генерировался изотропный распад этого состояния. Затем имитировалась регистрация электромагнитных ливней в калориметре, причем энерговыделение в ячейках детектора, соответствующее сопровождению, сохранялось таким, как в исходном реальном событии. В результате применения триггерных критериев отбора, а также проверки возможности восстановления параметров электромагнитных ливней вычислялся индивидуальный вес каждого события как отношение числа благоприятных исходов проверки к общему числу генераций.

Сравнение двух вариантов расчета показало, что результаты различаются не более чем на 7% во всем диапазоне кинематических переменных для регистрируемых  $\eta$ -мезонов.

При расчете эффективности регистрации событий с заряженными частицами в конечном состоянии крайне важно контролировать эффективность трековых детекторов (пропорциональных камер и сцинтилляционных годоскопов). Обычно для решения этой задачи используется то обстоятельство, что информация от координатных детекторов, как правило, избыточна. Треки заряженных частиц восстанавливаются не по всем зарегистрированным точкам, а последова-

тельно, исключая одну или несколько координатных плоскостей<sup>/14/</sup>. Эффективность каждой камеры определяется как доля тех случаев, когда в неиспользованной камере имеется срабатывание вблизи найденного трека. Такой метод неэкономичен из-за многократного применения процедуры поиска треков. Для вычисления эффективности трековых детекторов нами был применен другой способ, также основанный на анализе реальных событий, но не требующий многократного поиска треков в одной и той же группе камер. Если используется  $n$  камер, а необходимым условием для найденного трека считается принадлежность к нему  $m$  точек,  $m < n$ , то в процессе обработки для каждой камеры можно подсчитать долю случаев  $S_i$ , когда эта камера "дала вклад" в трек. В результате несложных вычислений можно убедиться, что набор величин  $S_i$  позволяет однозначно определить эффективности камер  $\epsilon_i$ , причем вид соответствующей системы уравнений определяется разностью  $(n-m)$ . Например, для случая  $n-m=1$  получается следующая система:

$$\begin{cases} \frac{S_1}{S_1-1} d_1 + d_2 + \dots + d_n = -1, \\ d_1 + \frac{S_2}{S_2-1} d_2 + \dots + d_n = -1, \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ d_1 + d_2 + \dots + \frac{S_n}{S_n-1} d_n = -1, \end{cases}$$

здесь  $d_i = \frac{1}{\epsilon_i} - 1$ . Эффективности  $\epsilon_i$  вычисляются при геометрической реконструкции событий и заносятся в протокол обработки каждой первичной ленты.

## СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

На последнем этапе обработки производится "взвешивание" событий в соответствии с вычисленной эффективностью регистрации; строятся распределения по физическим переменным; учитываются данные фоновых экспозиций, когда мишень отсутствует; наконец, определяются значения исследуемых физических величин (полные и дифференциальные сечения и т.п.). При этом широко используются пакеты программ HBOOK<sup>/16/</sup> и MINUIT<sup>/17/</sup>.

При статистическом анализе данных с помощью ЭВМ наиболее эффективны интерактивные методы работы с привлечением средств графического отображения информации. На этом этапе нами широко применялась микро-ЭВМ SHARP PC-1501 с графопостроителем, для которой было создано необходимое программное обеспечение на языке BASIC (в частности, программа минимизации квадратичного функционала на базе FUMILI<sup>/18/</sup>).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренный комплекс программного обеспечения общим объемом около 30000 строк исходного текста (в основном на языке Фортран) был использован при получении физических результатов, представленных в<sup>/2,3,13/</sup>. Практика показала его высокую эффективность и легкость адаптации для решения различных задач. В процессе работы отдельные программные модули совершенствовались, но благодаря их функциональной обособленности и удачно организованным связям это не требовало перестройки всего комплекса.

Авторы благодарят Ю.А.Будагова, В.М.Кутыгина и В.Б.Флягина за постановку задачи и поддержку работы, В.И.Юркова за адаптацию модулей восстановления проекций треков, Ц.А.Аматуни за предоставление программы ELSS, Г.С.Бицадзе, А.М.Блика, В.И.Колосова и В.И.Романовского за многочисленные полезные обсуждения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Антюхов В.А. и др. ПТЭ, 1985, № 5, с.35.
2. Акименко С.А. и др. Препринт ИФВЭ, 85-93, SERP-E-102, Серпухов, 1985.
3. Bitsadze G.S. et al. Phys.Lett., 1986, 167B, p.138.
4. Бицадзе Г.С. и др. ОИЯИ, 13-86-105, Дубна, 1986.
5. Асмолов А.Г. и др. Тезисы докладов XII Международного симпозиума по ядерной электронике. ОИЯИ, Д13-85-359, Дубна, 1985, с.25.
6. Виноградов В.Б. и др. ОИЯИ, 13-84-805, Дубна, 1984.
7. Акименко С.А. и др. ПТЭ, 1984, № 1, с.66.
8. Виноградов В.Б. и др. ОИЯИ, Б1,10-85-837, Дубна, 1985.
9. Grote H. CERN DD/81/01, 1981, p.12.
10. Кулик А.В. и др. ИФВЭ, 85-17, Серпухов, 1985.
1. Аматуни Ц.А. ЕрФИ, ЕФИ-760(75)-84, Ереван, 1984.
2. Джелядин Р.И. и др. ИФВЭ, 79-114, SERP-E-134, Серпухов, 1979.
3. Bitsadze G.S. JINR, E1-86-129, Dubna, 1986.
4. Аматуни Ц.А. и др. ИФВЭ, 82-142, Серпухов, 1982.
5. Маниев В.М., Русакович Н.А. ОИЯИ, 1-84-423, Дубна, 1984.
6. Brun R. et al. CERN, DD/77/9, Geneva, 1979.
7. James F., Roos M. Comp.Phys.Comm., 1975, 10, p.343.
8. Silin I.N. CERN, Program Library D510, 1971.

Рукопись поступила в издательский отдел  
21 марта 1986 года.

Малюков С.Н. и др.

P10-86-138

Обработка данных в экспериментах с использованием ливневого годоскопического детектора с размером ячейки  $10 \times 10 \text{ см}^2$  установки ГИПЕРОН

Разработана система программного обеспечения для обработки данных в экспериментах с использованием ливневого годоскопического детектора с размером ячейки  $10 \times 10 \text{ см}^2$  установки ГИПЕРОН. Система включает программы анализа в режиме он-лайн, геометрической и кинематической реконструкции событий, расчета эффективности регистрации и статистического анализа. Рассмотрены все этапы обработки данных. Наибольшее внимание уделено некоторым специфическим алгоритмам восстановления параметров электромагнитных ливней. Представленный комплекс программ используется при обработке экспериментальных данных, полученных на установке ГИПЕРОН.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1986

Перевод О.С.Виноградовой

Malyukov S.N. et al.

P10-86-138

Data Processing in Experiments with the Use of Shower Hodoscopic Detector of  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  Cell Size of the HYPERON Facility

The software system is developed for data processing in experiments on HYPERON spectrometer with shower hodoscopic detector of  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  cell size. The system includes the on-line control, geometrical and kinematical reconstruction of events, registration efficiency calculation and statistical analysis. All stages of the data processing are described. Some specific algorithms for electromagnetic shower recognition are considered in more detail. The computer code system presented has been used for experimental data processing on the HYPERON facility.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1986