

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

М-295

УДК 539.1.075

13-85-147

МАРТЬЯНОВ
Игорь Серафимович

**МЕТОДЫ И АППАРАТУРА
ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПОЛУЧЕНИЯ ДАННЫХ
С ИОНИЗАЦИОННЫХ КАЛОРИМЕТРОВ
БОЛЬШОЙ ПЛОЩАДИ**

Специальность: 01.04.01 - экспериментальная физика

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Дубна 1985

Работа выполнена в Институте физики высоких энергий АН КазССР,
Алма-Ата

Научный руководитель:
кандидат физико-математических
наук, ст.н.с.

Юрий Александрович
Еременко

Официальные оппоненты:
доктор физико-математических
наук, профессор

Юрий Константинович
Акимов

кандидат физико-математических
наук, ст.н.с.

Владимир Иванович
Яковлев

Ведущее научно-исследовательское учреждение:
Институт ядерной физики АН КазССР, Алма-Ата.

Защита состоится " " _____ 1985 г. на заседании специализи-
рованного совета Д-047.01.02 при Лаборатории высоких энергий Объе-
диненного института ядерных исследований, г.Дубна, Московской облас-
ти, Лаборатория высоких энергий, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Лаборатории высо-
ких энергий ОИЯИ.

Автореферат разослан " " _____ 1985 года.

Ученый секретарь
специализированного
совета

М.Ф. Лихачев

М.Ф. Лихачев

Общая характеристика работы

Диссертация посвящена вопросам создания автоматизированных систем реального времени ионизационных калориметров большой площади для экспериментов с космическими лучами на высотах гор.

Исследования взаимодействий космических частиц с веществом остаются актуальными, несмотря на ввод в строй современных ускорителей. С переходом исследований в область сверхвысоких энергий таких частиц возрастает роль комплексных экспериментальных установок, размещенных на большой площади. Имеется проект подобной установки АНИ, сооружение которой ведется на станции Арагац (ФИАН СССР, БрФИ). Рассматриваемый в настоящей работе калориметр "Адрон-44" [16], дополненный системой ливневых датчиков, позволит проводить исследования с хорошей статистикой при энергиях частиц космического излучения до 10^{17} эВ.

Актуальность работы. Эксперименты с космическими лучами при сверхвысоких энергиях требуют использования больших калориметров с площадями в десятки и сотни квадратных метров, работающих на линии с ЭВМ. Однако в настоящее время отсутствуют перспективные разработки электронной аппаратуры нового поколения на базе средств микроэлектроники для таких калориметров.

В существовавших ранее калориметрах первоначальное запоминание сигналов от большого числа ионизационных камер осуществлялось в емкостной аналоговой памяти, что затрудняет разработку устройств регистрации лавин в современных электронных системах, рассчитанных для работы с малыми уровнями сигналов (< 10 В).

В калориметрах, работающих в области космических лучей, не была решена проблема создания гибкой системы автоматической цифровой коррекции (градуировки) характеристик каналов на базе ЭВМ с целью поддержания высокой степени их однородности.

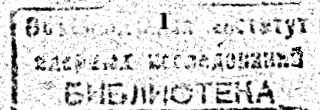
Целью работы являлось решение на современном уровне задач по автоматизации получения и обработки данных с ионизационных калориметров большой площади.

Автор защищает настоящей работой:

1. Решение задач автоматизации получения данных в реальном времени эксперимента для калориметров большой площади на базе средств микроэлектроники и стандарта КАМАК.

2. Разработку метода многоканального зарядо-цифрового преобразования сигналов с широким динамическим диапазоном с первоначальным запоминанием данных калориметра в цифровой памяти.

3. Разработку гибкой системы автоматической цифровой коррекции



характеристик измерительных каналов калориметра на базе ЭВМ.

4. Теоретическое обоснование и разработку измерительного канала калориметра с преобразованием входного сигнала в интервал времени.

5. Разработку ряда узлов и блоков: 672 - канального зарядо-цифрового преобразователя на интегральных схемах с диапазоном 2000, цифровой памяти с временем записи 40-50 нс, оригинальной схемы устройства формирования спектрометрического сигнала, зарядо-временного и амплитудно-временного преобразователей с диапазоном I20 и др.

Научная новизна результатов

1. Впервые создана автоматизированная система реального времени для адронного калориметра максимальной в настоящее время площади (44 м^2) на базе средств микроэлектроники и стандарта КАМАК.

2. Впервые для калориметра большой площади разработан метод первоначального запоминания данных о развитии лавин в быстрой цифровой памяти. На основе метода разработан 672-канальный зарядо-цифровой преобразователь с динамическим диапазоном 2000 в стандарте КАМАК.

3. Для калориметра большой площади впервые разработаны метод и гибкая система автоматической цифровой коррекции характеристик измерительных каналов на базе ЭВМ, что позволяет использовать различные алгоритмы коррекции.

4. Предложено устройство для формирования спектрометрического сигнала, на которое получено авторское свидетельство [7]. На основе устройства разработаны зарядо-временной и амплитудно-временной преобразователи с диапазоном I20, отличающиеся способами зарядки накопительного конденсатора и выделения интервала разряда и имеющие преимущества по сравнению с используемыми ранее в экспериментальной физике.

Практическая ценность работы:

1. Результаты научно-технических разработок внедрены в электронную аппаратуру нового поколения, предназначенную для калориметров большой площади.

2. При разработке массового измерительного узла (зарядо-временной преобразователь) использовано изобретение автора [7], по результатам внедрения которого оформлен акт использования.

3. На основе разработанной электронной аппаратуры на Высокогорной станции космических лучей ИФВЭ АН КазССР (высота 3340 м над уровнем моря) создана автоматизированная система реального времени в стандарте КАМАК для ионизационного калориметра наибольшей в настоящее время площади (44 м^2).

4. Физические данные, полученные на 1/4 части калориметра за 1662 часа (831 событие), обработаны. Результаты обработки показали,

что установка работает в полном соответствии с заданными техническими условиями. Таким образом, на базе созданных аппаратных средств нового поколения в лаборатории космических лучей ИФВЭ АН КазССР начала функционировать АСНИ космических лучей в области сверхвысоких энергий.

5. Описанные в работе методы и электронная аппаратура могут быть использованы в разрабатываемых калориметрах и других установках экспериментальной физики.

Апробация работы и публикации. Материалы диссертации докладывались на Международной конференции по космическим лучам (Пловдив-1977 г.), Всесоюзных Совещаниях и семинарах по автоматизации научных исследований в ядерной физике и смежных областях, обсуждались на специальных семинарах Тянь-Шанской Высокогорной научной станции ФИАН СССР и ИФВЭ АН КазССР. По теме диссертации опубликовано 17 работ, в том числе получено одно авторское свидетельство.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения и приложения и содержит 137 страниц текста, включая список литературы из 102 наименований, 37 страниц рисунков и 7 таблиц.

Краткое содержание работы.

Во введении отмечается актуальность создания нового поколения электронной аппаратуры для калориметров большой площади. Изложены цель работы и перечислены основные положения, которые автор выносит на защиту.

В разделе I.2 первой главы дан обзор калориметров, предназначенных для исследований в космических лучах. Приведены результаты работ автора по калориметру площадью 9 м^2 [1, 3, 4, 5, 6].

Дан анализ систем калориметров в соответствии с методами многоканальной регистрации - параллельным, последовательным и путем развертки каналов по входному напряжению. Последний метод, в свое время предложенный и разработанный сотрудниками ФИАН СССР^{ж)}, являлся одним из наиболее совершенных по ряду параметров и длительное время успешно использовался на нескольких калориметрах Тянь-Шанской Высокогорной научной станции и на калориметре станции "Арагац".

На основе известной методики^{жж)} в разделах I.3 и I.4 оценена степень обработки результатов и показана возможность работы в реальном времени описываемого калориметра, а также предложено в качестве обобщенного критерия сравнения эффективности калориметров использовать параметр, равный
$$h = S/e, \quad (I)$$

ж) В.И. Соколовский, Б.В. Субботин, В.И. Яковлев, ПТЭ, № 2, 1963, с.86.

жж) Колпаков И.Ф. Материалы Международного симпозиума по ядерной электронике (Братислава, 1983), ОИЯИ, ДПЗ-84-53, Дубна, 1984, с.26.

где S - площадь калориметра, e - затраты на измерительный канал. Результаты сравнения калориметров по предложенному критерию представлены в виде графика. Кроме того, проведено сравнение калориметров по ряду других параметров, сведенных в таблицу.

В разделах I.5 и I.6 даны определения перспективных направлений развития автоматизированных систем реального времени больших калориметров. Главные из них: многоканальное кодирование входных сигналов на основе зарядо-временного преобразования индивидуально в каждом канале, первоначальное запоминание данных в цифровой памяти вместо аналоговой, автоматическая коррекция характеристик каналов на базе ЭВМ.

Во второй главе, в разделе 2.1 дано описание автоматической цифровой коррекции систематических ошибок измерения на базе ЭВМ "Электроника-100", позволившей снизить первоначальный разброс характеристик каналов с 30-50% до 5-7% в диапазоне 2000. Метод позволяет применять практически любые алгоритмы коррекции, что является его положительным отличием от ранее применявшихся способов коррекции (градуировки) каналов при помощи градуировочных генераторов. Введение автоматической коррекции позволило снизить требования к точности измерительных узлов и тем самым увеличить надёжность, упростить настройку и уменьшить стоимость системы.

В разделе 2.2 рассмотрен метод многоканального зарядо-цифрового преобразования в широком динамическом диапазоне (2000), разработанный с учётом возможностей микроэлектроники. Метод основан на функциональном преобразовании "заряд-время" в каждом канале и кодировании временных интервалов в общем счётчике. Особенности метода являются отсутствие необходимости кодирования адресов сработавших каналов и выработки общего синхронизирующего сигнала запуска зарядо-временных преобразователей.

В разделе 2.3 рассмотрены методы съёма сигналов с ионизационных камер калориметра и влияние на точность первой секции сопротивления нагрузки ионизационной камеры.

В разделе 2.4 изложены вопросы, связанные с шумами первой секции предусилителя. Предусилители сигналов с ионизационных камер построены полностью на интегральных схемах и осуществляют преобразование тока в напряжение и интегрирование площади сигнала. Первая секция построена на операционном усилителе (ОУ) К284УДИВ. Приводится полная шумовая модель секции. Показано, что можно исключить из рассмотрения эквивалентные генераторы напряжения и тока шумов ОУ и рассматривать только генераторы тепловых шумов сопротивления источника сигналов и сопротивления параллельной обратной связи. На основе расчётов спектров плотностей мощности тепловых шумов в безграничной полосе частот,

проведённых для первой секции, с переходом к эквивалентному усилителю напряжения показано, что преобладающее влияние на выходные шумы секции с токовым входом оказывает тепловой шум сопротивления обратной связи:

$$\overline{U_{ш\text{вых}}}^2 = \frac{kT}{C_{oc}} \left(\frac{R_{oc}}{R_u} + A \right), \quad (2)$$

где R_{oc} - сопротивление обратной связи,

R_u - сопротивление генератора сигналов,

A - коэффициент усиления ОУ без обратной связи,

k - постоянная Больцмана, T - абсолютная температура. В этом выражении члены R_{oc}/R_u и A определяют вклад шумов в выходной шум секции соответственно от R_u и R_{oc} .

Поскольку обычно

$$A \gg R_{oc}/R_u, \quad (3)$$

то

$$\overline{U_{ш\text{вых}}}^2 \approx A kT / C_{oc}. \quad (4)$$

Получены также формулы для расчёта шумов в реальной полосе частот и отношения сигнал-шум на выходе секции.

В разделе 2.5 рассмотрены вопросы, связанные со сжатием динамического диапазона входных сигналов. Сжатие диапазона с 2000 до I20 осуществляется путем нелинейного преобразования амплитуды сигналов. В связи с этим исследован вопрос о появлении случайной ошибки из-за флуктуации формы импульсов тока на выходе ионизационной камеры в том случае, когда нелинейное преобразование сигналов производится раньше их интегрирования.

В разделе 2.6 обсуждаются вопросы, связанные с разработкой массового измерительного узла системы, который использован во всех каналах амплитудно-временного преобразователя (АВП). В описываемом АВП использован предложенный автором [7] принцип активного управления зарядом накопительного конденсатора, что позволило снизить минимальный уровень сигнала на входе до 0,05-01 В и получить динамический диапазон \sim I20. К другим особенностям АВП относятся метод выделения интервала разряда [2] и хорошая повторяемость схемы в серии. Совместно со вторыми (интегрирующими) секциями предусилителей, АВП образует зарядо-временные преобразователи каналов (ЗВП).

Структурная схема АВП и эсперы напряжений в различных точках схемы приведены на рис. I. АВП состоит из накопительного конденсатора C_n , формирователя ОУ2, дифференцирующих усилителей ОУ3 и ОУ4, масштабного усилителя ОУ1, генератора разряда ГТ и аналоговых ключей K_1 и K_2 биполярных транзисторов с противоположными типами проводимости. Генератор разряда выполнен по обычной схеме транзистора с общей базой.

С приходом входного сигнала на формирователь от ОУ4 поступает

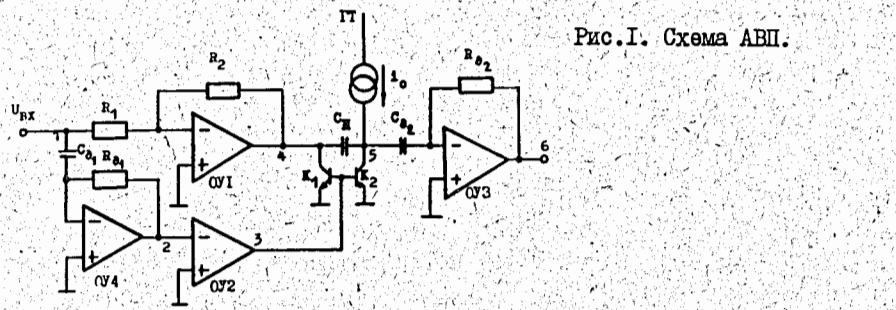


Рис.1. Схема АВП.

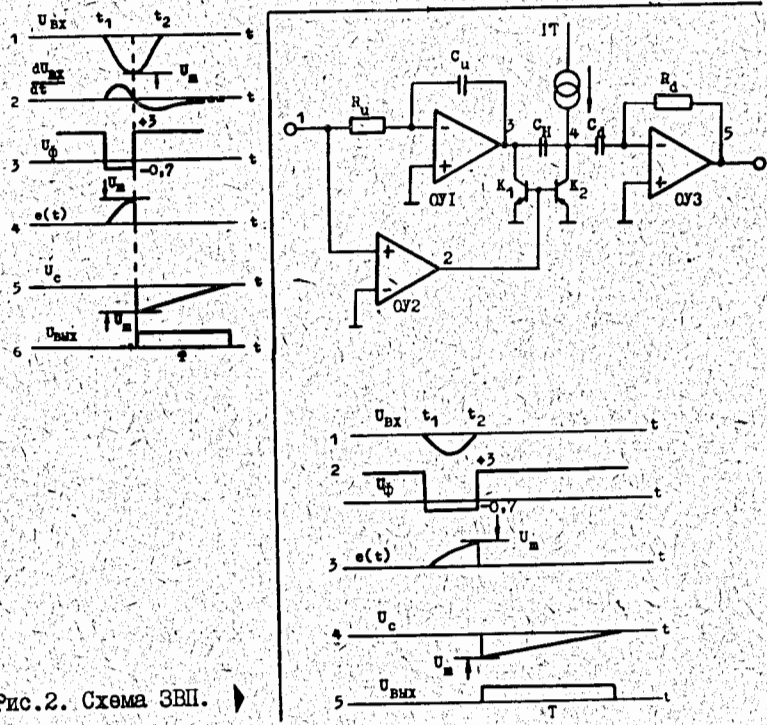


Рис.2. Схема ЗВП.

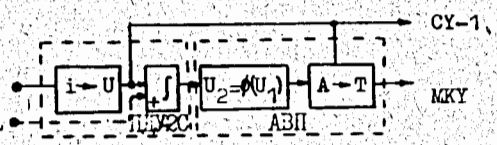


Рис.3. Измерительный канал ионизационного калориметра.

импульс, соответствующий производной входного сигнала. Таким путем осуществляется временная привязка к максимуму сигнала, где производная меняет знак (эпюры 1,2). В этой точке происходит отсекаание импульса на выходе усилителя ОУ1 и заканчивается зарядка накопительного конденсатора до амплитуды входного сигнала U_m (эпюра 4). В том случае, когда предусилитель имеет токовый вход и в нем производится интегрирование сигнала, как в описываемой системе, надобность в дифференцирующем усилителе ОУ4 отпадает, так как управляющий импульс для формирователя может быть взят непосредственно со входа интегратора. Ключи K_1 и K_2 управляют формирователем и обеспечивают зарядку и линейный разряд накопительного конденсатора (эпюры 3, 5).

Выделение интервала осуществляется путем дифференцирования напряжения накопительного конденсатора (эпюра 6) [2]. При использовании преобразователя в качестве зарядо-временного (ЗВП) его схема упрощается (см. рис.2). Дан анализ погрешности ЗВП [13].

В разделе 2.7 описан измерительный канал калориметра (см.рис.3) [17], число каналов равно 672.

Измерительные каналы определяют чувствительность, динамический диапазон сигналов, точность, стабильность, а также стоимость системы и её надёжность.

Измерительный канал образован токовым предусилителем ПДУ-2С, интегратором, блоком сжатия диапазона БСД, АВП и в целом представляет собой ЗВП с функциональной шкалой. Сигнал со входа интегратора подается также на вход суммирующего усилителя СУ-1 системы отбора и на управляющий вход АВП. Сигнал на входе канала меняется в пределах $(5 \cdot 10^{-9} + 10^{-5})$ А, длительность строба на выходе канала - $(2,5 + 300)$ мкс. Таким образом, входному диапазону 2000 соответствует выходной диапазон около 120, что согласуется с диапазоном кодирования в 7 двоичных разрядов цифрового тракта системы. Отмечается, что погрешность канала определяется в основном погрешностью недозаряда в АВП и погрешностью, вызванной разбросом точки перегиба в БСД. Достигнута хорошая временная стабильность каналов путем охвата отдельных звеньев глубокой обратной связью и всей системы - автоматической цифровой коррекцией ошибок.

В третьей главе в разделе 3.1 дано общее описание системы калориметра "Адрон-44". Аппаратные средства системы включают аналоговые и цифровые блоки. Аналоговый тракт содержит измерительные каналы, узлы отбора событий, модуль коррекции ошибок. Цифровой тракт состоит из кодирующих блоков, блоков промежуточной памяти, интерфейса, цифро-аналогового преобразователя.

В разделе 3.2 описаны предусилители ПДУ-2С и ПДУ-2. Предусилители отличаются простотой схемной реализации, высокой точностью, и практически не нуждаются в настройке [16].

В разделе 3.3 дано описание АВП, принципы построения которого детально рассмотрены во второй главе диссертации.

Раздел 3.4 посвящен описанию многоканального кодирующего устройства (МКУ) [9]. Разработанный для калориметра "Адрон-44" метод многоканального кодирования временных интервалов позволяет проектировать МКУ практически на любое число входов, однако по конструктивным соображениям для каждого ряда камер использованы отдельные МКУ, имеющие 33 входа для "нечётных" и 22 входа для "четных" рядов. Общее число МКУ составляет 12 шт. Приводится структурная схема МКУ нечётных рядов (для чётных рядов схема отличается лишь числом входов) (см. рис.4). МКУ содержит многоходовую схему ИЛИ, вентиль записи ВЗ, генератор счётных импульсов ГС, счётчик ряда СР, триггер разрешения теста ТРТ, блок переполнения БП, быструю промежуточную память БПП, логику теста, логику КАМАК. Блок переполнения БП служит для фиксации верхней границы диапазона кодирования.

Промежуточная память БПП органически входит в систему МКУ [11]. При разработке основное внимание обращалось на обеспечение высокой скорости записи кодов из счётчика ряда СР в параллельные регистры памяти. Регистры выполнены на RS-триггерах, время записи (и чтения) параллельного слова равно 40-50 нс.

Интерфейс (контроллер СК-1), служащий для передачи данных из промежуточной памяти в ОЗУ ЭВМ "Электроника-100", описан в разделе 3.5 [15].

В разделе 3.6 описывается блок коррекции, состоящий из ЦАП на 10 двоичных разрядов и модуля формирования.

Аппаратные средства отбора событий рассмотрены в разделе 3.7. На первом уровне отбор ведётся по суммарной ионизации в рядах камер. В состав аппаратуры входит логика организации внутренних и внешних триггеров запуска установки. На втором уровне отбор производится программным путем благодаря работе системы в реальном времени.

В разделе 3.8 приведены краткие сведения по программному обеспечению [10].

Четвертая глава (разделы 4.1 и 4.2) посвящена экспериментальной проверке работы электроники и первым физическим результатам, полученным на 1/4 площади калориметра, начиная с 1983 года [16].

Первая четверть калориметра (11 м²) проработала 1662 часа с энергетическим порогом регистрации космических частиц, равным 3 ТэВ.

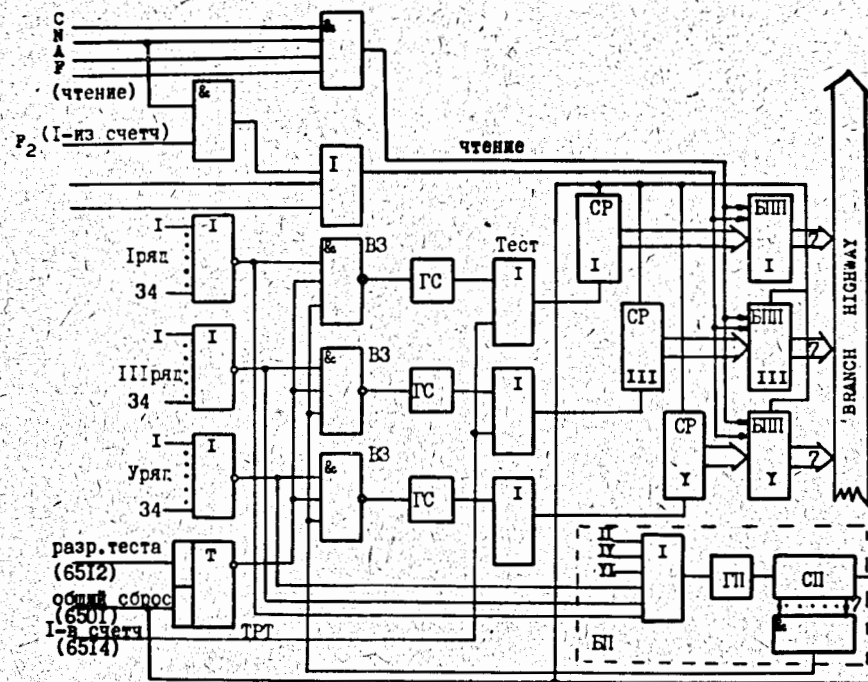


Рис.4. Структурная схема МКУ (нечётные ряды).

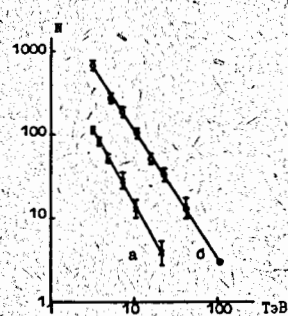


Рис.5 Интегральные энергетические спектры.

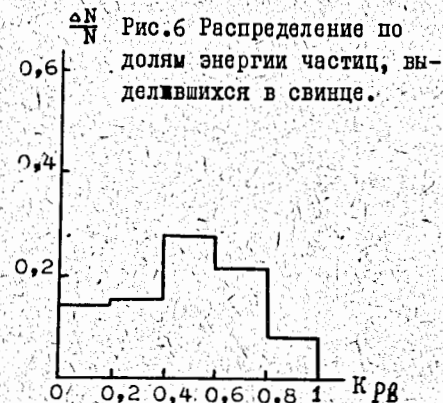


Рис.6 Распределение по долям энергии частиц, выделившихся в свинце.

Зарегистрирована 831 электронно-ядерная лавина, из них 124 одиночных каскада, идущих без сопровождения частицами из атмосферы и 707 взаимодействий, происшедших в атмосфере. На рис.5 приведены интегральные энергетические спектры для одиночных каскадов и для всех взаимодействий вместе. Показатели интегральных энергетических спектров соответственно равны $\chi_{0,9} = -1,78 \pm 0,10$, $\chi_{\text{сум}} = -1,55 \pm 0,07$, что находится в хорошем согласии с имеющимися литературными данными. На рис.6 дано распределение по долям энергии частиц, выделившихся в свинце: $\langle K_{\text{рб}} \rangle = 0,46 \pm 0,03$. Приведены распределения числа частиц по зенитным углам и по азимутальному углу (рис.7, 8). Вычислен полный поток частиц с энергией выше 3 ТэВ. Анализ первых физических результатов показал, что регистрация взаимодействий космических частиц идет правильно, без какой/либо выборки по рассмотренным параметрам. В приложение вынесены математический анализ, некоторые таблицы и рисунки.

В заключении отражены основные результаты, полученные в диссертации:

1. Проведены сравнение и анализ ионизационных калориметров. Предложен обобщенный критерий сравнения. Определены перспективные направления развития автоматизированных систем реального времени больших калориметров.

2. Впервые для быстрого первоначального запоминания данных о развитии лавин в поглотителе больших калориметров разработан метод цифрового запоминания.

3. Впервые для калориметра, предназначенного для регистрации космических лучей, разработаны метод многоканального зарядо-цифрового преобразования с функциональным преобразованием заряд-время и

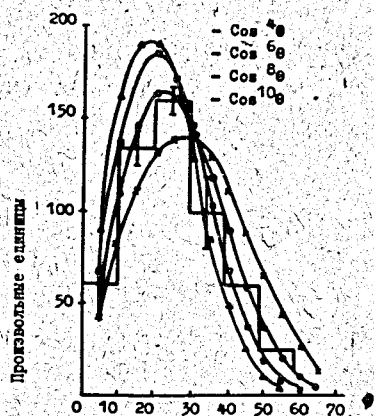
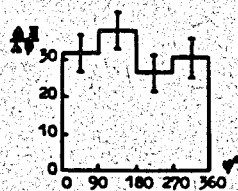


Рис.7. Распределение частиц по зенитным углам.

Рис.8. Распределение частиц по азимутальному углу.



672-канальный зарядо-цифровой преобразователь с диапазоном 2000 в стандарте КАМАК.

4. Предложено оригинальное устройство для формирования спектрометрического сигнала, на которое получено авторское свидетельство. На основе устройства разработаны амплитудно-временной и зарядо-временной преобразователи с диапазоном 120, отличающиеся методами заряда накопительного конденсатора и выделения интервала разряда (см.рис.1 и 2).

5. Для большого калориметра впервые разработаны и внедрены метод и гибкая система автоматической цифровой коррекции характеристик каналов на базе ЭЕМ. Это позволило уменьшить первоначальный разброс характеристик с 30-50% до 5-7% и снизить требования к точности узлов.

6. На Высокогорной станции космических лучей ИФВЭ АН КазССР вводится в эксплуатацию адронный калориметр с наибольшей известной площадью (44 м²), оборудованный автоматизированной системой реального времени. Это позволяет реализовать АСНИ космических лучей при сверхвысоких энергиях первичных частиц.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах:

1. Ж.С.Такибаев, ... И.С.Мартьянов и др. Исследование неупругих взаимодействий в области энергий 10^{12} эВ. Препринт ИФВЭ АН КазССР, Алма-Ата, 1972.
2. Мартьянов И.С. Выделение временного интервала в амплитудно-временном преобразователе. Изв.АН КазССР, серия физ.-мат., № 6, 1972, с.24.
3. Ю.Т.Лукин, ...И.С.Мартьянов и др. Соотношение между числами заряженных и нейтральных пионов в ядерных взаимодействиях при энергии $5 \cdot 10^{11}$ эВ. В кн.: Физика высоких энергий и космических лучей, т.2. Изд. "Наука", КазССР, Алма-Ата, 1974 г., с.45.
4. Ю.А.Бременко, И.С.Мартьянов и др. Многоканальная система сбора информации. Изв. АН КазССР, серия физ.-мат., № 4, 1975 г., с.51.
5. М.К.Бабаяев, Ю.А.Бременко, Ю.Т.Лукин, И.С.Мартьянов. Energy characteristics of gamma-gvanta from hadron inelastic interactions at high energies. 15th Intern. Cosmic Ray Conf. Plovdiv, 1977, p. 360-363.
6. К.А.Аманов, ... И.С.Мартьянов. Энергетические характеристики γ -квантов из взаимодействий адронов космических лучей в области энергий в несколько десятков ТэВ. Изв. АН СССР, серия физ., т.42, № 7, 1978 г., с.1374.
7. И.С.Мартьянов. Устройство для формирования спектрометрического сигнала. А.с.СССР, № 587426 от 01.04.76 г. Бюл.ОИПОТЗ, №1, 1978 г., с.140.

8. М.И.Алибеков, ... И.С.Мартъянов и др. Система сбора и обработки информации с ионизационного калориметра установки "Адрон-44". Материалы II Всесоюзного Соведаания по автоматизации научных исследований в ядерной физике. "Наука", Алма-Ата, 1978 г., с.101.
9. И.С.Мартъянов. Многоканальный зарядо-цифровой преобразователь для годоскопической системы. Материалы I Всесоюзного Семинара по автоматизации научных исследований в ядерной физике и смежных областях. "Дониш", Душанбе, 1980 г., с.346.
10. М.И.Алибеков, ... И.С.Мартъянов и др. Отбор событий в 700-канальном устройстве сбора и обработки информации ионизационного калориметра площадью 44 м². Материалы I Всесоюзного семинара по автоматизации научных исследований в ядерной физике и смежных областях. "Дониш", Душанбе, 1980 г., с.344.
11. И.С.Мартъянов. Система быстрой промежуточной памяти для многоканального кодирующего устройства. Препринт ИФВЭ 81-06, Алма-Ата, 1981 г.
12. М.И.Алибеков, ... И.С.Мартъянов и др. Многоканальная автоматизированная система сбора и обработки спектрометрической информации ионизационного калориметра. Материалы II Всесоюзного семинара по автоматизации научных исследований в ядерной физике и смежных областях. ИЯФ СО АН СССР, Новосибирск, 1982, с.75.
13. И.С.Мартъянов. Зарядо-временной преобразователь. Препринт ИФВЭ 83-34, Алма-Ата, 1983 г.
14. М.И.Алибеков, ... И.С.Мартъянов и др. Измерительная информационная система установки "Адрон-44". В кн.: Автоматизация физического эксперимента и приборы для научных исследований. Алма-Ата, "Наука", 1984 г., с.66.
15. В.Г.Воинов, Ю.Г.Калинин, И.С.Мартъянов, А.М.Сейтимбетов. Интерфейс для связи ионизационного калориметра с ЭВМ "Электроника-100". В кн.: Автоматизация физического эксперимента и приборы для научных исследований. Алма-Ата, "Наука", 1984 г., с.5.
16. М.И.Алибеков, ... И.С.Мартъянов и др. Ионизационный калориметр на линии с ЭВМ для изучения взаимодействий космических частиц с веществом при энергиях выше 10¹³ эВ. Препринт ИФВЭ 84-09, Алма-Ата, 1984 г.
17. И.С.Мартъянов. Измерительный канал ионизационного калориметра площадью 44 м². Материалы III Всесоюзного семинара по автоматизации научных исследований в ядерной физике и смежных областях. ИФВЭ ТГУ, Тбилиси, 1984 г., с.218.

Рукопись поступила в издательский отдел
27 февраля 1985 года.