

индекс 3624

ЕФИ-696(II)-8

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ИНФОРМАЦИИ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ПО АТОМНОЙ НАУКЕ И ТЕХНИКЕ

БАГДАСАРЯН Г.А., ДАНИЛОВА Е.В.,
СУББОТИН Б.В.

АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ
ДЕТЕКТОРОВ УСТАНОВКИ АНИ



ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЕРЕВАН-1984

УДК 621.3.078.539.1.073

ЕФИ-696(11)-84

БАГДАСАРЯН Г.А., ДАНИЛОВА Е.В.,
СУББОТИН Б.В.

АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ
ДЕТЕКТОРОВ УСТАНОВКИ АНИ

В работе рассмотрена актуальная для современных ядерно-физических установок проблема автоматического контроля работы сцинтилляционных детекторов. Описано аппаратное и программное обеспечение системы контроля. Приведены некоторые результаты испытаний. Разработанная система предназначена для использования в установке АНИ.

Ереванский физический институт
Ереван 1984

ЕФИ-696(II)-84

G.A.BAGDASARYAN, Y.V.DANILOVA*, B.V.SUBBOTIN*

AUTOMATIC CHECK OF SCINTILLATION DETECTORS
OF ANI SETUP

We consider the problem of the automatic check of the scintillation detectors operation, which is of current interest for modern nuclear-physical setups. Described are the hardware and software of the checkout system. Some results of the tests are presented. The developed system is intended for the use in ANI setup.

Yerevan Physics Institute
Yerevan 1984

* Lebedev Physics Institute, Moscow.

ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЕФИ-696(II)-84

БАГДАСАРЯН Г.А., ДАНИЛОВА Е.В.,
СУББОТИН Б.В.

АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ
ДЕТЕКТОРОВ УСТАНОВКИ АНИ

Ереван 1984

I. Введение

Для современных экспериментов в области физики высоких энергий характерно использование большого числа детекторов заряженных частиц. Широкое распространение получили сцинтилляционные и черенковские детекторы, необходимым элементом которых является фотоэлектронный умножитель (ФЭУ). Существенным недостатком этих детекторов является низкая стабильность коэффициента умножения ФЭУ. Коэффициент умножения распространенного умножителя ФЭУ-49 испытывает случайные изменения с характерным временем около часа и с типичной величиной около 10% [1]. Температурная нестабильность коэффициента умножения ФЭУ-49 равна примерно $(0,6 \pm 1)\% \text{ град}^{-1}$. Нестабильность остальных элементов детектора (радиатор, электроника), как правило, много меньше.

В связи со сказанным при создании крупных экспериментальных установок остро стоит вопрос о контроле или поддержании на постоянном уровне коэффициентов передачи детекторов. Применяются два метода контроля. Первый метод заключается в проверке отклика канала регистрации на искусственный калиброванный световой сигнал, подающийся на фотокатод ФЭУ (используется светодиод, облучение сцинтиллятора рентгеновским источником либо радиоактивным препаратом). Второй метод использует свечение сцинтиллятора при прохождении через него частиц фона космических лучей. Контроль детектора при этом осуществляется путем

измерения и анализа параметров спектра сигналов на выходе канала регистрации. Недостатком последнего метода является необходимость набора достаточно большой статистики вследствие статистического характера процессов в сцинтилляторе. На действующих установках по исследованию космических лучей для проверки сцинтилляционного детектора таким методом обычно требуется время от 0,1 до 10 минут. Преимущество метода заключается, во-первых, в том, что в проверку включается и собственно сцинтиллятор и, во-вторых, такой контроль прост в аппаратном отношении и близок по физике к исследуемым процессам.

В настоящей работе для контроля сцинтилляционных детекторов используется излучение сцинтиллятора при регистрации фона космических лучей. Ниже описана система контроля каналов регистрации амплитудной информации сцинтилляционных детекторов установки АНИ, которая создается совместно Физическим институтом им. П.Н.Лебедева АН СССР и Ереванским физическим институтом ГКАЭ СССР для исследований взаимодействий с веществом частиц космических лучей при сверхвысоких энергиях [2].

Установка АНИ будет включать около 1000 сцинтилляционных детекторов. Детекторы разбиты на регионы (группы), каждый из которых обслуживается микро-ЭВМ "Электроника-60". Детекторы могут отстоять от центра своего региона, где находится микро-ЭВМ, на расстояние до 200 м. Непосредственно около ФЭУ находится логарифмический АЦП, преобразующий импульс ФЭУ в серию TTL-импульсов. Число импульсов в серии n связано с числом частиц, прошедших через сцинтиллятор, m_e , соотношением:

$$n = a \ln K m_e = a \ln m_e + n^*; \quad n^* = a \ln K. \quad (I)$$

Коэффициент передачи детектора K включает в себя конверсионную эффективность сцинтиллятора, коэффициент сбора фотонов на фотокатод, квантовую чувствительность фотокатода, коэффициент умножения ФЭУ, коэффициент усиления АЦП и напряжение порога АЦП, — величины, подлежащие контролю. Величина a , определяющая точность измерения амплитуды сигнала ФЭУ, равна 10. При этом точность измерения числа частиц равна 10% в диапазоне $1-10^4$ частиц.

Из формулы (I) следует, что проблема контроля коэффициента передачи K сводится к определению наименее вероятного числа n^* импульсов в серии, возникающей на выходе АЦП от одной частицы. Амплитудное распределение сцинтилляционного детектора при регистрации фона космических лучей обычно называют "одночастичным". Типичное одночастичное распределение для детектора площадью 1 м^2 приведено на рис.1. Для сцинтилляторов, используемых в установке АНИ, максимум распределения определяется наиболее вероятной вспышкой от частиц с энергией более 10 МэВ. Подъем в левой части распределения (пунктир) связан с частицами меньших энергий, не представляющих интереса для исследований на установке АНИ. Поэтому порог АЦП устанавливается в области минимума распределения. Так как энергетические потери в сцинтилляторе частиц с энергиями более 1 МэВ практически не зависят от энергии, то положение максимума зависит от величин, входящих в коэффициент передачи K . Ширина распределения зависит, в основном, от дисперсии коэффициента умножения ФЭУ. Кроме того, на форму распределения могут влиять некоторые неисправности детектора, например, появление нелинейности характеристик при малых сигналах, самовозбуждение из-за паразитных

обратных связей, нарушение светоизоляции кожуха и т.п.

На макете региона установки АНИ, действовавшем на высокогорной станции "Арагац" ЕрФМ в 1982 г., получены следующие средние характеристики одночастичных распределений. Для детекторов площадью 1 м^2 отношение интенсивности в максимуме распределения к интенсивности в минимуме равно в среднем 2,7; ширина распределений на полувысоте составляет 7,2 канала распределения. Для детекторов площадью $0,09 \text{ м}^2$ эти величины равны 3,8 и 4,7 соответственно.

Серии импульсов от АЦП поступают в центр региона, где в крейте КАМАК находятся модули, обеспечивающие отбор информации (фильтрацию), ее регистрацию, контроль за работой установки, в том числе описываемый в настоящей работе контрольный модуль. От контрольного модуля информация поступает в микро-ЭВМ "Электроника-60", в памяти которой для каждого сцинтилляционного детектора накапливается одночастичное распределение. Для группы из 16 детекторов спектры строятся одновременно. По окончании заданного времени, достаточного для набора статистических данных во всех каналах, происходит обработка полученных распределений. При этом для каждого детектора микро-ЭВМ составляет и хранит в ОЗУ матрицу поправок, используемую при обработке физической информации. Если при обработке распределения выявляются особенности, свидетельствующие о той или иной неисправности, то микро-ЭВМ вырабатывает и заносит в память данные диагностирования. Информация от такого канала в дальнейшем не обрабатывается. Затем микро-ЭВМ переходит к проверке следующей группы детекторов. Этот цикл повторяется непрерывно. Каждый детектор проверяется не реже, чем раз за полчаса. Если при последующей

проверке состояние детектора изменилось, то в память заносятся новые данные. Так осуществляется непрерывный контроль всех сцинтилляционных детекторов установки.

Задача контроля является фоновой. Она прерывается при регистрации физической информации, а также по команде оператора. Все данные, получаемые при контроле, — собственно распределения, величины, характеризующие их, данные диагностирования неисправностей, по требованию оператора могут быть выданы на терминал и использованы для контроля, ремонта или настройки системы.

2. Аппаратное обеспечение контроля сцинтилляционных детекторов

Модуль для контроля сцинтилляционных детекторов (КСЦД), разработанный в стандарте КАМАК, обеспечивает программно-управляемое построение одночастичных распределений в ОЗУ микро-ЭВМ "Электроника-60" и визуальный контроль интенсивности фона для выбранного оператором детектора. При построении распределений происходит затрата времени на ожидание серии и ее анализ. Потеря времени на ожидание обратно пропорциональна интенсивности серий. Поэтому система работает тем эффективнее, чем больше детекторов проверяется одновременно. Выбор числа, одновременно проверяемых детекторов, равного 16, обусловлен удобством организации системы в стандарте КАМАК, объемом ОЗУ, занимаемым распределениями, предполагаемым числом детекторов в регионе (не более 256). Блок-схема соединения КСЦД с детекторами показана на рис.2. Один крейт КАМАК содержит до 16 сигнальных модулей

(СМ1-СМ16), предназначенных для сбора физической информации. В каждом сигнальном модуле установлен селектор-мультиплексер, выбирающий один из 16 сцинтилляционных детекторов для соединения с КСЦД. Номер детектора на адресных шинах всех селектор-мультиплексеров устанавливает КСЦД на резервных шинах Р магистрали КАМАК. Таким образом, один КСЦД может обслуживать до 256 сцинтилляционных детекторов.

Структурная схема КСЦД представлена на рис.3,4. Модуль состоит из дешифратора адресов и команд КАМАК и трех функциональных частей, которые можно условно назвать анализатором, таймером и интенсиметром.

Анализатор (рис.3) включает 16 входных каналов (канал I - канал 16), пятиразрядный двоичный счетчик импульсов в серии Сч1, одновибратор длительности серии Од1, шифратор Ш номера входа, на который поступила серия, триггер LAM-запроса ТгЛ, схему выбора режима работы ВР, схему совпадений СС. Каждый входной канал содержит ключ (К1-К16), двое ворот (И1-И16, И17-И32) и триггер (Т1-Т16).

В исходном состоянии счетчик Сч1, триггер ТгЛ, триггеры всех входных каналов сброшены в "0". При этом ворота И1-И32 открыты. При появлении на входе любого из каналов первого импульса серии одновибратор Од1 вырабатывает сигнал "строб", по фронту которого триггеры Т1-Т16 запоминают наличие или отсутствие импульса в соответствующих каналах. Триггер канала, на вход которого поступает серия, остается в состоянии "0", триггеры остальных каналов переводятся в состояние "1", закрывая свои ворота из И1-И16. Шифратор Ш определяет номер канала, на вход которого поступает серия. Серия импульсов проходит на одновиб-

ратор Од1 и счетчик Сч1. Как правило, число импульсов в серии меньше 31 (см.рис.1). В этом случае по окончании серии Од1 вырабатывает сигнал "конец", стробирующий ТгЛ. Триггер ТгЛ устанавливается в "1", в магистрали крейта генерируется LAM-запрос. Если число импульсов в серии превышает 31, то счетчик Сч1 стробирует ТгЛ, получив 31-й импульс. В любом случае при переключении триггера ТгЛ в состояние "1" все ворота И17-И32 закрываются. Следующие импульсы на входах КСЦД не могут изменить состояние счетчика Сч1.

Получив запрос на прерывание, ЭВМ опрашивает счетчик Сч1 и шифратор Ш. Число импульсов в серии передается по шинам R2-R6 магистрали КАМАК, номер входа - по шинам R7-R10. Переданный в ЭВМ код является адресом ячейки ОЗУ, содержимое которой следует увеличить на "1". Сигнал "сброс", следующий после чтения данных, возвращает анализатор в исходное состояние.

Для разработанной схемы анализатора возможны такие срабатывания, когда несколько входных каналов остаются открытыми или, напротив, все входные каналы закрываются. В таких случаях определение шифратором номера входа, на который поступила серия, является ошибочным. Схема СС позволяет выявить такие срабатывания. Она разрешает генерацию LAM-запроса в случае, когда в состоянии "0" находится один и только один триггер из Т1-Т16. В противном случае по сигналу "конец" от одновибратора Од1 происходит сброс анализатора.

Предусмотрена проверка работы анализатора с помощью серий с заранее известным числом импульсов, поступающих по шине У1 магистрали КАМАК. При этом блокируется прием сигналов от сцинтилляционных детекторов и разрешается прохождение контрольных

серий на вход заданного канала модуля.

Таймер (рис.4) объединяет задающий генератор Г, ворота И33, делители частоты Сч2 и Сч3, триггер конца экспозиции ТгК, триггер неисправности ТгН, четырехразрядный двоичный счетчик Сч4, индикационное табло ИТ1, размещенное на лицевой панели модуля. Таймер фиксирует "живое" время накопления данных от группы из 16 сцинтилляционных детекторов, выбранной селектор-мультиплексе-рами. Это время складывается из промежутков, в течение кото-рых анализатор ждет появления серии на каком-нибудь входе.

В результате неисправности сцинтилляционного детектора возмож-но появление непрерывной серии импульсов на входе КСЦД. Поэто-му накопление данных от группы детекторов ограничивается также в текущем времени. Таймер обеспечивает экспозиции: 6 или 60 с "живого" времени (основная экспозиция 60 с) и 60 или 600 с те-кущего времени (основная экспозиция 600 с). Экспозиции задают-ся с помощью перемычек Е1 и Е2.

Частота задающего генератора Г-1 МГц. Импульсы генератора поступают на делители частоты Сч2 и Сч3. Ворота И33 открывают-ся сигналом "сброс" и закрываются сигналом "строб" Од1 анали-затора. Сосчитав число импульсов, соответствующее экспозиции "живого" времени, Сч2 переводит в состояние "1" триггер ТгК. При этом счет текущего времени прекращается (счетчик Сч3 бло-кируется). При считывании данных анализатора в магистраль КАМАК одновременно поступает признак конца экспозиции R16=1. Если экспозиция текущего времени заканчивается раньше экспо-зиции "живого" времени, то в состояние "1" переводятся оба триг-гера ТгК и ТгН. В этом случае бит R16=1 означает наличие не-исправности.

Счетчик Сч4 обеспечивает управление селектор-мультиплексе-рами сигнальных модулей. Программно в счетчик заносится и уве-личивается на "1" номер контролируемой группы детекторов. При этом происходит сброс таймера - сброс Сч2, Сч3, ТгК и ТгН. Со-держимое Сч4 индицируется на табло ИТ1 и может быть считано ЭВМ по шинам R1-R4 магистрали КАМАК.

В модуле дешифрируются и выполняются следующие команды КАМАК:

- | | | |
|------------|--|-------|
| NA(0)F(1) | - чтение данных таймера; | Q = 1 |
| NA(0)F(2) | - чтение и сброс данных анализатора, чтение признака конца экспозиции; | Q = 1 |
| NA(0)F(16) | - запись номера проверяемого входно-го канала анализатора; | Q = 1 |
| NA(0)F(17) | - запись номера контролируемой группы детекторов, сброс анализатора и таймера; | Q = 1 |
| NA(0)F(25) | - увеличение на "1" номера контро-лируемой группы детекторов, сброс анализатора и таймера. | Q = 0 |

При выполнении перечисленных команд КСЦД генерирует в магис-трали крейта сигнал X=1.

При проведении профилактических работ часто бывает достаточ-но знать лишь интенсивность событий в данном канале. Для этого модуль дополнен интенсиметром (рис.4). Интенсиметр является са-мостоятельной частью, не связанной с магистралью КАМАК. Двоич-но-десятичный 16-разрядный счетчик Сч6 считает импульсы, выраба-тываемые одновибратором Од2 при поступлении серий от АЦД детек-тора на вход интенсиметра. Делитель частоты Сч5 получает им-пульсы от задающего генератора Г таймера и через промежутки

времени, выбранные переключателем П на лицевой панели (6, 12, 30 или 60 с), посылает импульсы на формирователь Ф пары импульсов. Первый импульс ("запись") записывает содержимое счетчика Сч6 в регистр Rг, второй импульс ("сброс") очищает Сч6. Содержимое регистра индицируется на табло ИТ2. Триггер ТгП запоминает наличие переполнения счетчика Сч6. Если число серий за выбранный промежуток времени превысило 10^4 , то по сигналу "запись" индикаторы гасятся до конца текущего периода.

Модуль КСЦД занимает две станции в крейте КАМАК, содержит около 90 микросхем серий К155, К561, К514 и потребляет ток не более 2 А по цепи +6 В.

3. Программное обеспечение контроля сцинтилляционного детектора

Программа контроля сцинтилляционных детекторов для микро-ЭВМ "Электроника-60" составлена на языке АССЕМБЛЕР. Блок-схема программы приведена на рис.5. Программа содержит три части: 1) накопление одночастичных распределений; 2) вычисление параметров одночастичных распределений; 3) вывод на терминал одночастичных распределений, данных диагностики неисправностей, таблицы параметров.

Для построения одночастичных распределений каждому из 16 детекторов, обслуживаемых КСЦД одновременно, отводится в ОЗУ микро-ЭВМ область из 32 слов. В каждом слове программно ведется счет серий с определенным числом импульсов от данного детектора. Содержимое последнего слова является количеством серий с числом импульсов 31 и более. Содержимое указанной области памяти, рассматриваемой в целом, и составляет одночастичное

распределение для данного сцинтилляционного детектора.

Накопление данных происходит в режиме прерываний от контроллера крейта КАМАК. Очистив область памяти, предназначенную для распределений, микро-ЭВМ задает КСЦД номер обслуживаемой группы детекторов и начало экспозиции. Требование прерывания, возникшее в результате LAM-запроса КСЦД, инициирует выполнение обработки серии. Обработка включает считывание информации и сброс КСЦД, проверку признака конца экспозиции, увеличение на "1" содержимого слова ОЗУ, соответствующего полученному от КСЦД коду. Если признак конца экспозиции RIG=1, ЭВМ переходит к анализу полученных распределений, если нет - возвращается в режим ожидания. С учетом скорости реакции микро-ЭВМ "Электроника-60" на требование прерывания время обработки одного LAM-запроса ("мертвое" время работы КСЦД) составляет около 100 мкс.

За 60 с "живого" времени накапливаются статистические данные, соответствующие примерно $3 \cdot 10^4$ срабатываниям детектора площадью 1 м^2 и $2,5 \cdot 10^3$ срабатываниям детектора площадью $0,09 \text{ м}^2$. Если все 16 одновременно обслуживаемых детекторов имеют площадь 1 м^2 ($0,09 \text{ м}^2$), то живое время 60 с соответствует 108 с (64 с) текущего времени.

При анализе одночастичных распределений ЭВМ определяет номер обслуживаемой группы детекторов и причину конца экспозиции (истечение экспозиции живого или текущего времени). При наличии неисправности одного из детекторов микро-ЭВМ немедленно выдает данные диагностирования на терминал, поскольку такой детектор должен быть исключен из системы регистрации и, как можно, скорее.

На первом этапе анализа распределений вычисляются следующие параметры:

- число импульсов в серии, соответствующее максимуму одночастичного распределения n_{max} ;
- число импульсов в серии, соответствующее минимуму распределения n_{min} ;
- статистика S и общая интенсивность серий J ;
- интенсивность серий J_1 с числом импульсов более 7;
- отношение R количества серий в максимуме распределения

к количеству серий в минимуме распределения $R = N(n_{max}) / N(n_{min})$, где $N(n)$ - количество серий с числом импульсов n . Число импульсов в серии, соответствующее максимуму распределения, находится, исходя из двух требований. Во-первых,

$N(n_{max}) > N(n_{max} \pm 1)$, во вторых $N(n_{max})$ соответствует наибольшему количеству серий среди всех n , которые удовлетворяют первому условию. Число импульсов, соответствующее минимуму распределения n_{min} , находится из условия:

$N(n_{min}) \leq N(n)$; $1 \leq n \leq n_{max}$. Интенсивности J и J_1 вычисляются, исходя из живого времени накопления данных - 60с. Далее микро-ЭВМ проверяет достаточность статистики S и пригодность формы распределения для поиска положения максимума с лучшей точностью, анализируя параметры R ; $n_{max} - n_{min}$; J ; J_1 .

Алгоритм поиска максимума одночастичного распределения приведен на рис.6. Алгоритм использует для вычислений симметричную область распределения вблизи максимума. Он основан на следующем свойстве симметричного распределения с одним экстремумом. Если в произвольно выделенном интервале $[\ell, h]$ вычислить координату

центра тяжести $g = \frac{\sum_{\ell}^h nN(n)}{\sum_{\ell}^h N(n)}$, то справедливо одно из неравенств:

$$\frac{\ell+h}{2} \leq g \leq x \quad \text{или} \quad x \leq g \leq \frac{\ell+h}{2},$$

где X - максимум распределения. Алгоритм выделяет такие две области распределения, что $g_1 < x < g_2$, т.е. максимум расположен между g_2 и g_1 , причем разность $\Delta = g_2 - g_1 \leq 0,5$. В этом случае для симметричного распределения точность определения положения максимума не хуже $\pm 0,25$. Первоначально вычисляется координата центра тяжести по области из 5 каналов распределения вокруг n_{max} . Затем область сдвигается в ту же сторону (L и R - число сдвигов влево и вправо соответственно), в какую сдвинут центр тяжести относительно центра области, и снова вычисляется координата центра тяжести. Цикл повторяется до тех пор, пока разность $g - \frac{\ell+h}{2}$ не изменит знака. Сдвиг осуществляется путем добавления в область или исключения из нее крайнего канала. За положение максимума принимается середина отрезка между g_2 и g_1 : $n^* = g_1 + \Delta/2$. Для проверки независимости результата вычислений от выбора областей были обработаны 17 одночастичных распределений тремя методами, в которых ширина сдвигаемой области составляла 3-4, 4-5, 5-6 каналов. Были получены значения n_1^* , n_2^* и n_3^* соответственно. Максимальное расхождение между n_1^* и n_2^* составило 0,06; между n_1^* и n_3^* - 0,07 для 16 распределений. В одном случае расхождение между n_1^* и n_3^* оказалось равным 0,3. Анализ показал, что в этом случае третий алгоритм использовал один канал распределения из области несимметрии слева. В целом полученный результат свидетельствует в пользу пригодности описанного алгоритма

для обработки одночастичных распределений. Подъем распределения слева и замедленный спад справа практически не влияют на результат работы программы. В дальнейшем использовался алгоритм, вычисляющий координату центров тяжести в областях из 4-5 каналов. В случае необходимости включения в вычисления каналов слева от ρ_{min} распределение считается негодным для определения положения максимума.

Фактическая точность нахождения положения максимума равна $\Delta/2$ и составляет примерно 0,25-0,3. Для детекторов площадью 1 м^2 ($0,09 \text{ м}^2$) статистическая ошибка вычисления равна примерно 0,01 (0,03) при накоплении данных в течение 60 с.

Вычисленные параметры $R, J, J_1, \rho^*, \Delta$ заносятся в таблицу. Если в течение накопления и анализа распределений поступил запрос оператора, то перед накоплением данных от следующей группы детекторов микро-ЭВМ выводит на терминал все распределения, данные диагностики неисправностей и таблицу параметров.

На обработку 16 распределений микро-ЭВМ "Электроника-60" затрачивает 0,5-1 с. Таким образом, полный цикл контроля 256 детекторов площадью 1 м^2 ($0,09 \text{ м}^2$) составляет 29 (17) минут, что приемлемо практически для любого эксперимента.

4. Некоторые результаты испытаний системы контроля

Система контроля сцинтилляционных детекторов испытывалась в 1982 г. на макете региона установки АНИ на высокогорной станции "Арагац" ЕрФИ. Ниже приведены некоторые результаты.

Преимущество описанного выше алгоритма определения ρ^* за-

ключается в его простоте, что позволяет проводить обработку достаточно быстро. Недостатком является то, что значение ρ^* , вычисленное программой, строго совпадает с реальным ρ_{max} из соотношения (1) только для симметричного распределения. Часть одночастичного распределения (5-9 каналов вблизи максимума), обусловленного частицами с энергиями более 10 МэВ, симметрична с высокой степенью точности. Симметрия распределения искажается вкладом низкоэнергичной компоненты фона. Вследствие этого значение ρ^* , найденное программой, будет сдвинуто влево относительно максимума и тем сильнее, чем больше вклад левой части, т.е. чем хуже выделен одночастичный пик. Четкость выделения одночастичного пика зависит от характеристик световода, соединяющего сцинтиллятор с фотокатодом, от спектра и интенсивности собственных шумов ФЭУ, дисперсии коэффициента усиления ФЭУ, от функции преобразования "амплитуда - число импульсов в серии", от внешних воздействий на электрические цепи детектора ("наводок") и меняется от детектора к детектору. Мерой четкости выделения одночастичного пика и мерой симметрии распределения может служить отношение интенсивностей в максимуме и минимуме распределения. Для 22 детекторов, испытанных на макете, эта величина лежит в пределах от 1,5 до 5 при наивероятном значении 2,7.

Для проверки величины сдвига ρ^* от максимума сцинтиллятор в кожухе детектора закрывался так, чтобы свет от него не попал на фотокатод. На фотокатод поступали вспышки светодиода. Режим работы светодиода и ФЭУ подбирался таким образом, чтобы на выходе детектора получалось распределение, близкое к одночастичному. Значение ρ^* совпадает в этом случае с положением

максимума. Часть распределения, связанная с низкоэнергичными частицами, имитировалась флуктуациями светового потока от лампочки накаливания, помещенной также около фотокатода. Изменяя ток через лампочку накаливания, можно менять "вклад низкоэнергичной части". Разность величин ρ^* для распределений, полученных с включенной лампочкой и без нее, даст сдвиг ρ^* относительно максимума. Оказалось, что при отношении интенсивностей в максимуме и минимуме распределений от 1,7 до 5,8, соответствующем вариациям реальных распределений, величина сдвига меняется от 0,48 до 0,17 интервала между импульсами в серии. Это соответствует разнице в амплитудах 4,8% и 1,7%. Длительная в течение года эксплуатация детекторов показала, что отношение интенсивностей для заданного (исправного) канала меняется во времени не более, чем на 30%. Другие величины, характеризующие распределение, также меняются слабо. Это означает, что сдвиг относительно положения максимума практически постоянен. Следовательно, вычисляемое программой значение ρ^* вполне пригодно для контроля коэффициента передачи амплитудного канала сцинтилляционного детектора.

Для проверки чувствительности метода контроля к изменению коэффициента передачи менялась амплитуда электрических импульсов, подаваемых на светодиод. При этом наблюдалось изменение амплитуды импульса на аноде ФЭУ и величины ρ^* . Оказалось, что с точностью до ошибок измерений выполняется зависимость

$$\rho^* \sim \ln V_c, \quad \text{где } V_c - \text{амплитуда импульса на аноде ФЭУ.}$$

В состав макета региона установки АНИ помимо сцинтилляционных детекторов входит годоскоп газоразрядных счетчиков. Один из модулей годоскопа находится непосредственно над сцинтилля-

ционным детектором. Таким образом, для каждого срабатывания установки имелась возможность сравнить число частиц, зарегистрированных этими детекторами. С изменением напряжения питания менялся коэффициент умножения ФЭУ сцинтилляционного детектора. Для каждого напряжения определялось значение ρ^* и находилось среднее значение градуировочного коэффициента — отношение плотности частиц, зарегистрированное сцинтиллятором к плотности, зарегистрированной годоскопом. В программе нахождения градуировочного коэффициента использовалась неизменная величина перевода числа импульсов в серии на выходе АЦП в плотность частиц. Полученные данные представлены на рис.7. На этом же рисунке приведена расчетная зависимость. Хорошее согласие экспериментальных данных с ожидаемой зависимостью дает возможность использования выбранного нами метода и его практической реализации для контроля сцинтилляционных детекторов.

Среди других проверок системы сделана следующая. В течение примерно 25 часов велся непрерывный контроль 22 сцинтилляционных детекторов макета региона. Примерно раз в 20 минут на терминал выводились все одночастичные распределения и результаты их обработки. На рис.8 представлено изменение во времени величины ρ^* для нескольких детекторов. На зависимостях видна характерная особенность — скачкообразность изменения значений ρ^* . Величина скачка для данного детектора практически постоянна. Для разных детекторов она лежит в пределах от 0,1 до 0,35 канала распределения. Наряду со скачкообразными изменениями ρ^* существуют и плавные изменения ρ^* во времени. Аналогичные работы установки и одночастичных распределений показали, что изменения второго рода связаны с действительными флуктуациями

коэффициента передачи. Изменения первого рода характеризуют ошибку определения положения максимума, обусловленную дискретным характером распределения на выходе детектора и свойствами алгоритма нахождения Π^* . Одночастичные распределения, для которых значения Π^* отличаются на величину скачка, в пределах статистических ошибок одинаковы. При увеличении статистики на порядок величина скачка не меняется. Она зависит от конкретного вида распределения — чем шире распределение, тем больше величина скачка.

Полная ошибка нахождения относительного значения коэффициента передачи детектора не превышает 3–4%. Такая точность достаточна для решения многих физических задач. В случаях, когда такая точность неудовлетворительна, необходимо использование алгоритмов поиска положения максимума, основанных на аппроксимации одночастичного распределения плавной кривой. Однако такие алгоритмы безусловно более сложны, чем используемый в настоящей работе и потребуют большего времени на обработку информации.

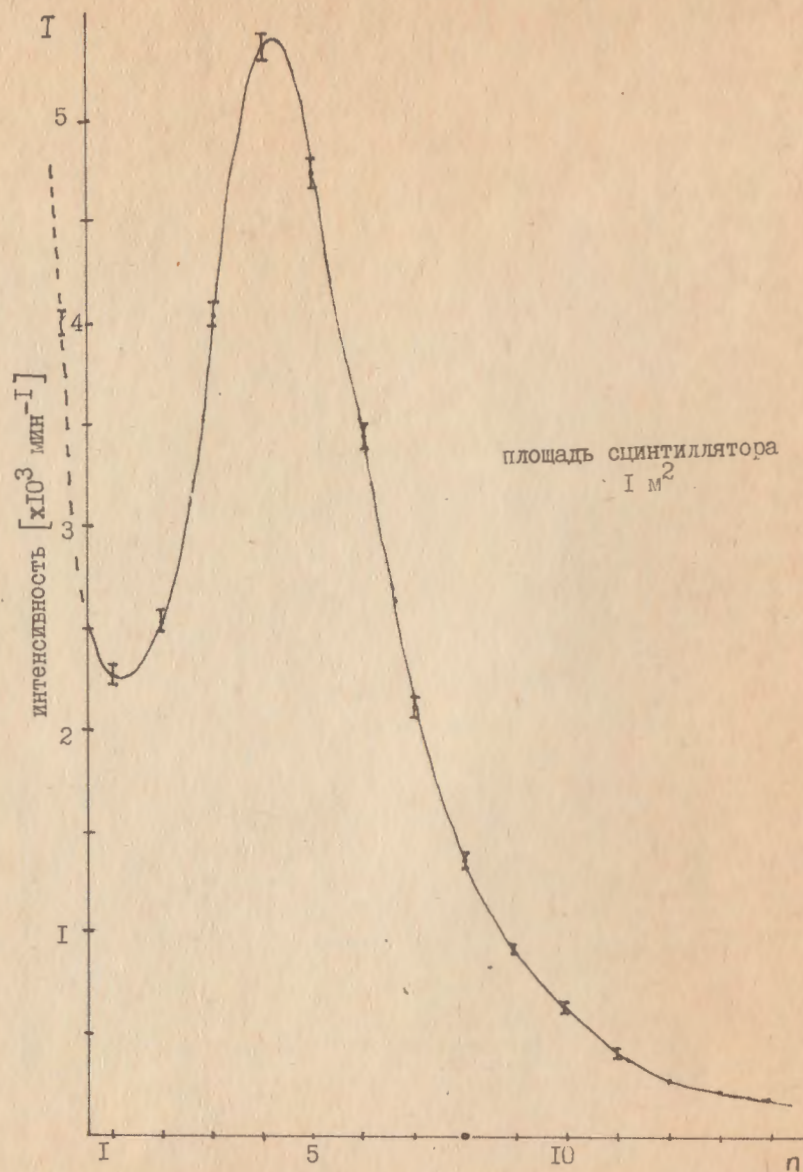


Рис. I Распределение по числу импульсов в серии на выходе АЦЦ при регистрации сцинтилляционным детектором фона космических лучей

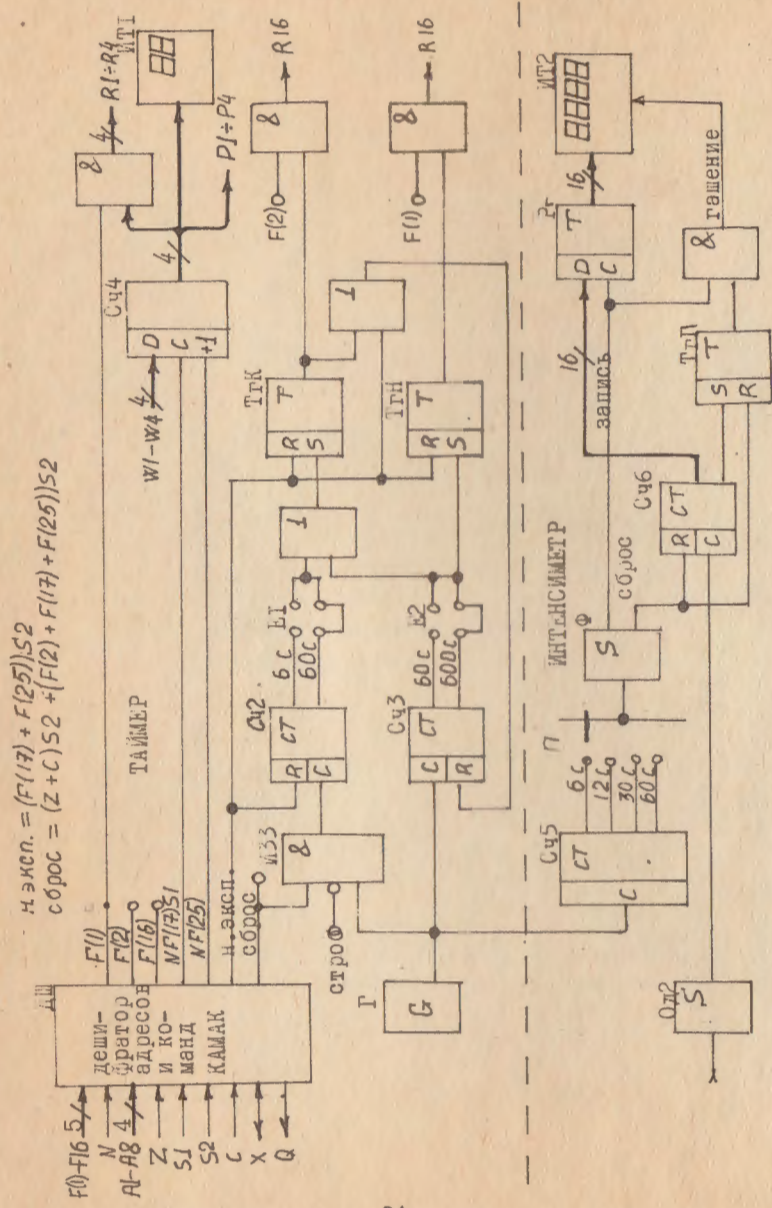


Рис. 4 Структурная схема КСИД (таймер и интенсивметр).

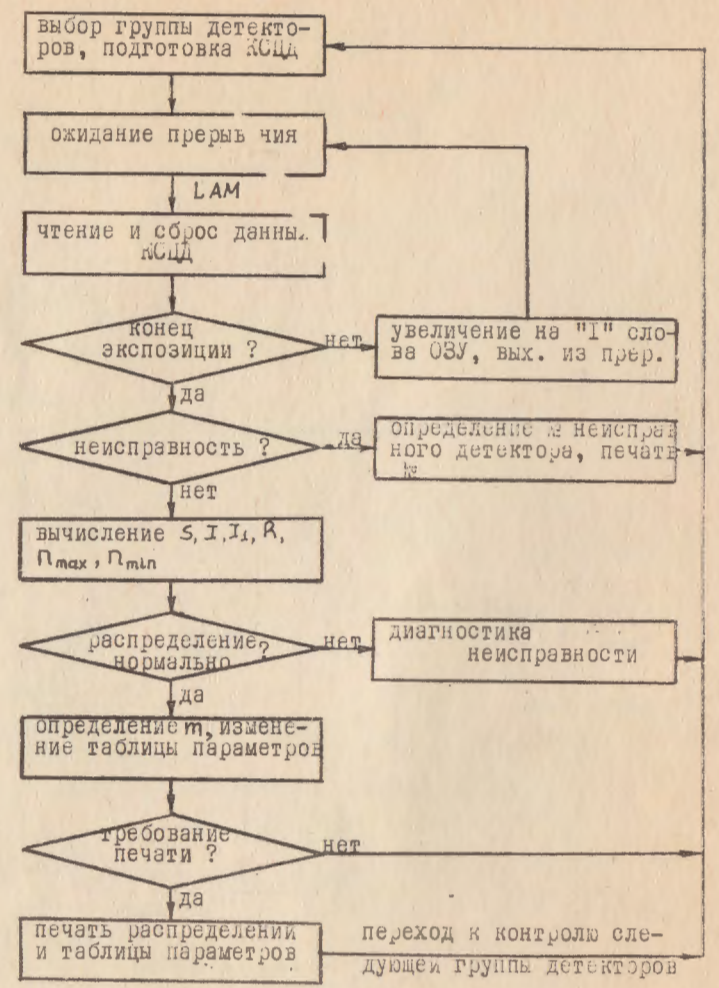


Рис. 5 Блок-схема программы контроля сцинтилляционных детекторов.

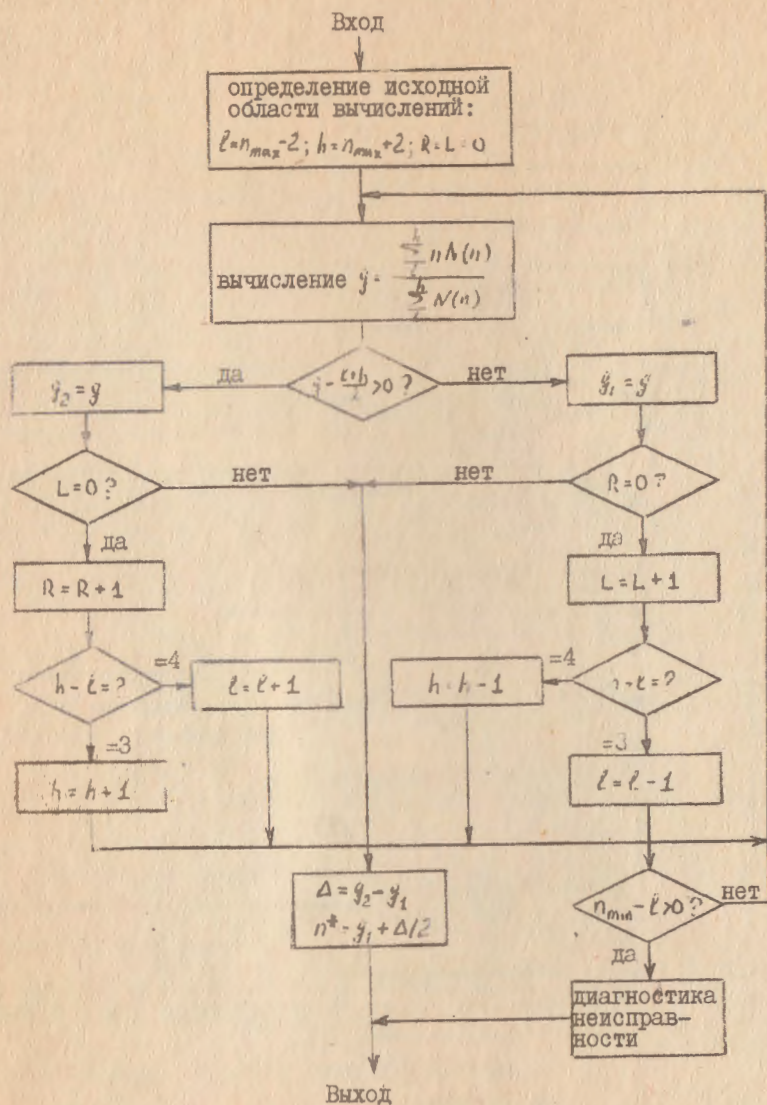


Рис. 6 Алгоритм поиска максимума одночастичного распределения

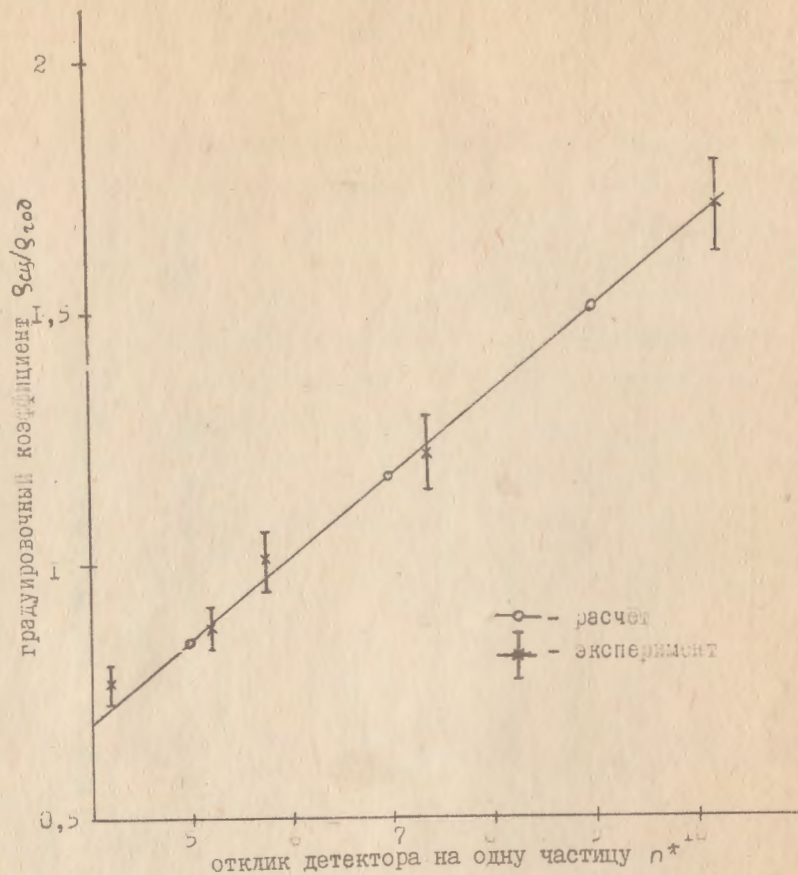


Рис. 7 Изменение градуировочного коэффициента при изменении коэффициента передачи сцинтиляционного детектора

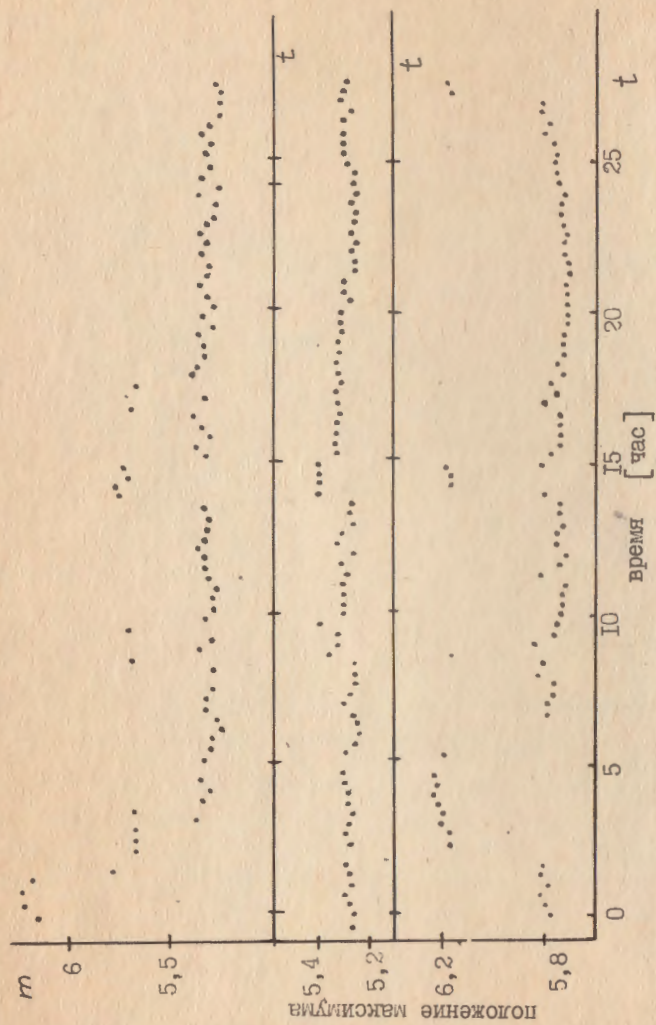


Рис.8 Изменение во времени положения максимума одночастичного распределения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ромахин В.А. Применение фотоэлектронного умножителя ФЭУ-49 в детекторах ионизирующего излучения. Препринт ФИАН СССР № 28, 1980
2. Авакян В.В., Авакян К.М., Данилова Т.В., Дунаевский А.М. и др. Проект эксперимента по исследованию взаимодействий адронов в области энергий $10^3 \div 10^5$ ТэВ (эксперимент АНИ) Изв. АН АрмССР, Физика, 1982, т.17, вып. 3-4, с. 129-232

Рукопись поступила 3 ноября 1983 г.