



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

97-73

На правах рукописи

Михайлов Юрий Викторович

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МЕТОДИКА
РЕГИСТРАЦИИ СИГНАЛОВ И СБОРА ДАННЫХ
С БОЛЬШИХ РЕГУЛЯРНЫХ СТРУКТУР
ФОТОУМНОЖИТЕЛЕЙ**

01.04.20. — физика высоких энергий

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук

Протвино 1997

Работа выполнена в Институте физики высоких энергий (г.Протвино).

Официальные оппоненты: доктор физ.-мат. наук Р.С.Шувалов, доктор физ.-мат. наук П.Ф.Ермолов, доктор физ.-мат. наук А.А.Петрухин.

Ведущая организация - Институт теоретической и экспериментальной физики (г.Москва).

Консультанты: академик РАН Ю.Д.Прокошкин, член-корреспондент РАН С.П.Денисов.

Защита диссертации состоится "_____" 1998 г. в
_____ часов на заседании диссертационного совета Д043.02.01 при Институте
физики высоких энергий по адресу: 142284, Протвино Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИФВЭ.

Автореферат разослан "_____" 1997 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д043.02.01

Ю.Г.Рябов

© Государственный научный центр
Российской Федерации
Институт физики высоких энергий, 1997

Содержание

Общая характеристика работы	3
1. Системы регистрации и сбора данных с экспериментальных установок ГАМС-2000 и ГАМС-4000	5
1.1. Установки ГАМС-2000, ГАМС-4000	5
1.2. Организация триггера первого уровня установки ГАМС-2000	7
1.3. Система сбора данных спектрометров ГАМС-2000 и ГАМС-4000	8
1.4. Организация триггера второго уровня установки ГАМС-2000 в эксперименте по исследованию центральных соударений адронов	12
1.5. Тестовые и управляющие модули спектрометров ГАМС	14
2. Электронная аппаратура станции мечения и сбор данных Комплекса меченых нейтрино	14
2.1. Комплекс меченых нейтрино	14
2.2. Триггерная электроника станции мечения Комплекса меченых нейтрино	16
2.3. Структура электроники системы сбора данных с больших гадоскопов станции мечения Комплекса меченых нейтрино	17
2.4. Структура регистрирующей электроники электромагнитного калориметра станции мечения КМН	19
2.5. Организация передачи данных со спектрометра БАРС в Комплексе меченых нейтрино	21
Заключение	21
Литература	23

Общая характеристика работы

В 1973 г. в ИФВЭ начались работы по созданию новой экспериментальной методики регистрации γ -квантов с помощью гаммоскопических черенковских детекторов. Развитие этого процесса привело к созданию крупных гаммоскопических многофотонных спектрометров. Базовым детектором VI совместного эксперимента ИФВЭ-ЦЕРН в ИФВЭ является спектрометр ГАМС-2000. ГАМС-4000 использовался в ряде экспериментов в ЦЕРНе. Целью этих экспериментов является изучение реакций с нейтральным конечным состоянием типа



где M^o — нейтральная частица или группа частиц, распадающихся в конечном счете на гамма-кванты.

Характерной отличительной особенностью спектрометров типа ГАМС является небольшой поперечный размер отдельных счетчиков (38×38 мм 2), сравнимый с шириной электромагнитного ливня, развивающегося в спектрометре. Выбор такой геометрии позволяет при сохранении энергетического разрешения, полученного для спектрометров с крупной ячейкой, измерять координаты γ -квантов с точностью $1 \div 2$ мм. В итоге, разрешение по массе распавшихся на гамма-кванты частиц составляет $1 \div 3\%$ в зависимости от геометрии эксперимента и топологии изучаемой реакции.

Уникальные характеристики гаммоскопических спектрометров ГАМС могли быть реализованы только с помощью соответствующей электронной аппаратуры.

Решение актуальной задачи по созданию такой аппаратуры описано в **первой части** диссертации, которая состоит из 5 глав и охватывает разработку и создание следующих систем:

- Триггер первого уровня установки ГАМС-2000.
- Комплекс амплитудного анализа сигналов спектрометров ГАМС и сбора данных экспериментов в целом.
- Система быстрого магнитного анализа на установке ГАМС-2000.
- Различные тестовые и управляющие электронные устройства для установок ГАМС.

Небольшой поперечный размер отдельных счетчиков приводит к тому, что спектрометр должен состоять из нескольких тысяч каналов. Это, в свою очередь, потребовало **совершенно новых подходов** к построению комплекса электронной аппаратуры регистрации и сбора данных, учитывающих кроме чисто технических характеристик такие факторы, как стоимость, занимаемый физический объем, потребляемую мощность, надежность. Особое внимание при создании систем обращалось на легкость и полноту тестирования всех элементов аппаратуры.

Другим качественно новым элементом построенных систем является быстрая обработка сигналов от самих многоканальных детекторов специальными препроцессорами, позволившими организовать многоуровневую систему триггера.

Материал, изложенный во **второй части** диссертации, которая также состоит из 5 глав, посвящен **решению актуальной задачи** по созданию уникальной и крупнейшей установки в ИФВЭ — Комплексу меченых нейтрино. Особенностью КМН является то, что он состоит из двух относительно слабо связанных между собой частей — нейтринного детектора БАРС с мюонными идентификаторами и станции мечения. Станция мечения предназначена для регистрации продуктов распада K -мезонов. Основная часть работы относится к разработке электронной аппаратуры станции мечения Комплекса, причем особое внимание обращалось на возможность ее независимой работы для исследований распадов каонов.

При создании аппаратуры Комплекса значительное развитие получили идеи, реализованные на установках ГАМС-2000 и ГАМС-4000. В первую очередь, это относится к созданию гибкой и полностью управляемой от компьютера триггерной системы первого уровня, а также более полному анализу сигналов с 2000-канального электромагнитного калориметра ГЕПАРД, где кроме амплитудного анализа были построены также временной анализ и простая система по быстрому определению числа кластеров в детекторе.

Принципиально новый подход был реализован при регистрации сигналов с больших гodosкопов станции мечения, содержащих более 4000 каналов. Использование быстродействующих элементов памяти не только позволило избежать катастрофически больших объемов кабеля для задержки сигналов, но и иметь их временную развертку в диапазоне 320 нс с шагом в 10 нс.

Нового подхода потребовало также создание системы сбора данных с нейтринного детектора БАРС, регистрирующая электроника которого состоит из 24 независимых частей, разнесенных на дистанции около 60 м. Универсальный модуль приемника/передатчика блочной последовательной связи в системе КАМАК не только решил задачу сбора данных, но и упростил загрузку программ в микроКомпьютеры контроллеров регистрирующей электроники.

Таким образом, **целью выполненной работы** являлись разработка и создание комплексов электронной аппаратуры для экспериментальных установок ГАМС-2000, ГАМС-4000 и КМН.

К защите представляются:

1. Разработка и создание триггера первого уровня установок ГАМС-2000 и КМН.
2. Разработка и создание системы сбора данных установок ГАМС-2000 и ГАМС-4000.
3. Разработка быстрого магнитного анализа импульса для эксперимента по исследованию центрального соударения адронов.
4. Разработка системы регистрации и обработки данных от больших годоскопов станции мечения КМН.
5. Создание структуры сбора данных с гамма-детектора станции мечения КМН.
6. Организация сбора данных с нейтринного детектора БАРС КМН.

Апробация работы

Разработка и создание электронной аппаратуры для установок ГАМС-2000, ГАМС-4000 и КМН изложены в работах, представленных в прилагаемом списке.

Результаты проведенных исследований и разработок, обобщенных в диссертации, опубликованы в виде препринтов ИФВЭ [2,4,5,7,10,12-14], статей в журналах ПТЭ [1,6,8,9,11], NIM [3], а также обсуждались на конференциях и семинарах ИФВЭ.

Структура диссертации

Диссертация является обобщением работ, выполненных автором в ИФВЭ, и состоит из введения, 10 глав, заключения, списка литературы, включающего 90 наименований и перечня трудов, обобщенных в диссертации (14 наименований). Объем диссертации 176 страниц, 63 рисунка и 12 таблиц.

1. Системы регистрации и сбора данных с экспериментальных установок ГАМС-2000 и ГАМС-4000

1.1. Установки ГАМС-2000, ГАМС-4000

Программа физических исследований определила структурное подобие экспериментальных установок ГАМС-2000 и ГАМС-4000, созданных в ИФВЭ и ЦЕРНе.

Схема, приведенная на рис.1, отражает основные особенности проведения экспериментов на установке ГАМС-2000 в начальный период. Для регистрации падающего на мишень пучка вторичных частиц используется система сцинтилляционных пучковых счетчиков S_1, S_2, S_3, S_4 , включенных на совпадение. Для выделения нейтральных конечных состояний жидколовородная мишень окружена системой охраняемых счетчиков.

Для выключения из триггера процессов с непровзаимодействовавшей в мишени части пучка сразу же за мишенью расположен сцинтилляционный счетчик F_2 , включенный на антисовпадение. К этому счетчику предъявляются жесткие и противоречивые требования — обеспечить высокую эффективность регистрации проходящих частиц при минимальной доле случайного подавления полезных событий.

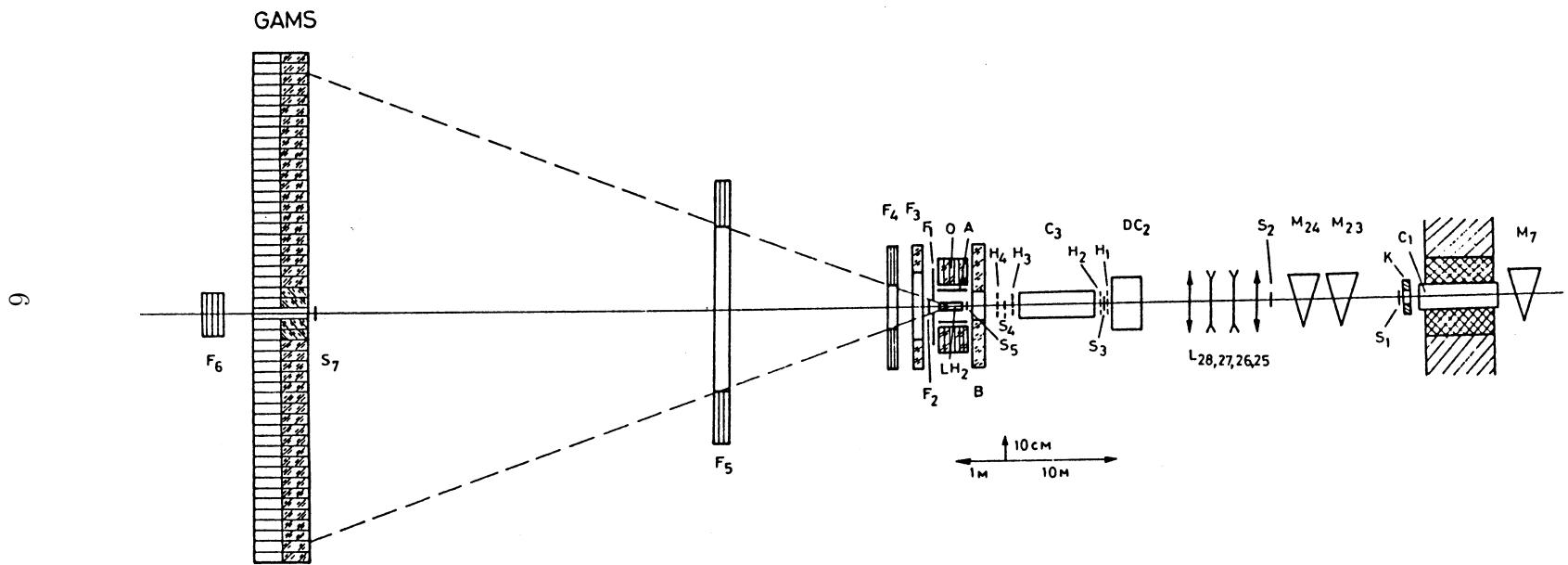


Рис. 1. Экспериментальная установка ГАМС-2000.

Спектрометр ГАМС-2000 представляет собой матрицу из 32x48 ячеек прозрачного свинцового стекла. Чerenковское излучение от заряженных частиц электромагнитного ливня, вызванного гамма-квантами или электронами высокой энергии, регистрируется с торца блока фотоэлектронным умножителем ФЭУ-84-3. Для калибровки на пучке электронов спектрометр ГАМС-2000 может перемещаться в плоскости, перпендикулярной пучку. Управление перемещением спектрометра осуществляется с помощью ЭВМ.

Импульсы счетчиков спектрометра ГАМС-2000 передаются на регистрирующую электронику по коаксиальным кабелям, которые обеспечивают необходимую задержку на время выработки триггера и сигнала открывания линейных ворот аналоговых преобразователей.

Спектрометр ГАМС-4000, установленный в ЦЕРНе, отличается от ГАМС-2000 практически только числом счетчиков (матрица 64x64).

1.2. Организация триггера первого уровня установки ГАМС-2000

Триггер первого уровня установки ГАМС-2000 обычно использует сигналы от счетчиков $S1 \div S4$, $F1$, $F2$, $F4$, $F5$, A , O , B , $F3$. Он рассчитывался на работу в пучке с интенсивностью до 10^7 частиц/сек.

Система построена по импульсно-потенцициальному принципу (рис.2), что существенно облегчает синхронизацию сигналов большого числа счетчиков. Вся система разбита на функциональные узлы-устройства выработки строб-импульса (строб-блок), регистры и модуль принятия решений.

Основная функция блока выработки строб-импульсов — обеспечить временную синхронизацию для всей системы с предварительным подавлением событий от непрозвоизводственных в мишени частиц и сигналы для мониторирования потока частиц на мишень установки. Основной проблемой при разработке и создании строб-блока являлась реализация эффективных антисовпадений при сохранении низкого уровня случайных выключений полезных событий.

Рис.3 иллюстрирует решение проблемы антисовпадений в строб-блоке. Работа схемы практически не зависит от длительности сигналов, поступающих на вход D , эффективность антисовпадений определяется только временным рассогласованием сигналов, поступающих на входы триггера.

Структура охранной системы установки ГАМС-2000 определила логическую организацию регистров, каждый из которых обслуживает 12 каналов. В зависимости от типа счетчика охранной системы в качестве входного ограничителя-формирователя используются схемы двух видов — пороговая или дифференциальная.

Окончательная выработка триггера осуществляется блоком принятия решения, который выполняет простейшие логические функции над суммарными выходами регистров. Блок принятия решения строится задержанным строб-импульсом, поэтому временная привязка триггера не изменяется при различной логике принятия решения.

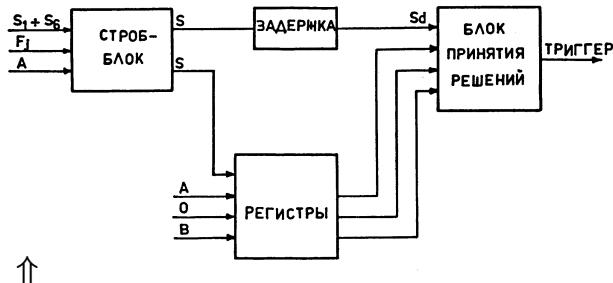
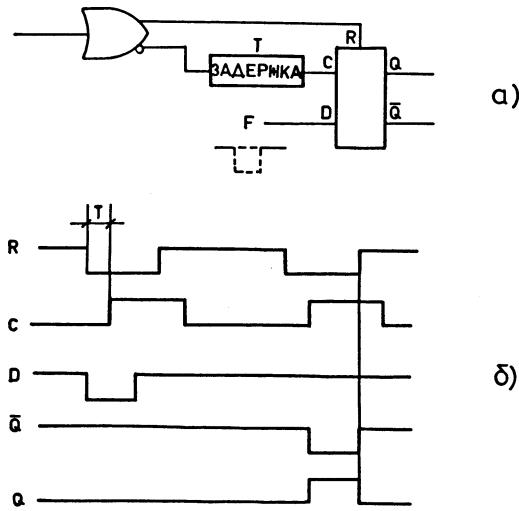


Рис. 2. Организация триггера первого уровня.

Рис. 3. Антисовпадения в строб-блоке:
а) логическая схема; б) временная диаграмма.



1.3. Система сбора данных спектрометров ГАМС-2000 и ГАМС-4000

При разработке систем сбора данных установок ГАМС-2000 и ГАМС-4000 естественным выглядело желание сделать их максимально подобными. Эта цель была достигнута, основная электроника систем сбора данных двух установок одинакова. Некоторые различия, не имеющие принципиального характера, относятся к реализации препроцессоров предварительной обработки данных в этих экспериментах.

Основу системы сбора данных составляет амплитудный анализ сигналов со счетчиков спектрометра. Основные требования к системе амплитудного анализа:

- линейность не хуже 0,2% во всем диапазоне входных сигналов;
- диапазон — 12 двоичных разрядов;
- определение полного энерговыделения и других моментов за время $\ll 1$ мс для организации многоуровневого триггера с участием информации от самих спектрометров ГАМС;
- быстрое время преобразования для сокращения общего “мертвого” времени, поэтому кодировка ведется на частоте 50 мГц;
- простота программно-аппаратной проверки как отдельных модулей электроники, так и всего собранного комплекса.

Аналоговые сигналы со счетчиков спектрометров ГАМС поступают на вход преобразователей заряд-время. Длительность выходного сигнала этих преобразователей пропорциональна входному заряду, собранному в течение времени открывания линейных ворот, встроенных в преобразователь. Его преобразование в код осуществляется 12-разрядным двоичным счетчиком.

Для регистрирующей электроники был выбран один из типов каркаса в стандарте *EURONORM* с количеством модулей в каркасе 27. Два таких каркаса жестко соединяются между собой. В верхнем каркасе расположены 24 16-канальных модуля преобразователей заряд-время, в нижнем — соответствующие им двоичные

счетчики. Оставшиеся 6 мест в верхнем и нижнем каркасах использованы под специальный каркасный контроллер.

Функционально специализированный каркасный контроллер разбивается на две части:

- электронику выработки управляющих сигналов для модулей АВП и двоичных счетчиков;

- контроллер опроса счетчиков и передачи данных в разрывающий буфер системы.

Блок-схема контроллера опроса счетчиков приведена на рис.4. Внутренний канал объединяет все основные узлы контроллера:

- регистр адреса опроса двоичных счетчиков;
- память на пьедесталы емкостью 384×9 бит;
- арифметическое устройство (АУ) для проверки условия

$$D_i - P_i > \Delta.$$

где D_i — данные от ячейки спектрометра, P_i — пьедестал соответствующего канала, Δ — общий для всего каркаса порог;

- регистр для хранения Δ (4 бита);
- блок управления.

Временная диаграмма работы каркаса приведена на рис.5. Полное время сканирования каркаса занимает $180 \div 260$ мкс, в зависимости от числа сработавших ячеек, амплитуды в них и расположения по порядку сканирования. Если триггер второго уровня выработал сигнал “Быстрый сброс”, каркасный контроллер обрабатывает сканирование каркаса, а еще через 6 мкс снимается блокировка триггерной электроники.

Блок-схема препроцессора передачи и обработки данных от контроллеров установки ГАМС-2000 приведена на рис.6.

Основные задачи, выполняемые препроцессором:

- Объединение отдельных быстрых каналов передачи данных каркасных контроллеров в единый канал.
- Нормировка получаемых значений амплитуд.
- Вычисление значений пулевого и радиального моментов

$$M_0 = \sum A_i, \quad M_r = \sum A_i r_i.$$

где $A_i = D_i C_i$ — нормированная амплитуда сигнала от i -го счетчика; D_i — значение амплитуды, переданное каркасным контроллером; C_i — калиброчный коэффициент соответствующей ячейки; r_i — расстояние от центра спектрометра ГАМС-2000 до центра i -ячейки; M_0 соответствует полному энерговыделению в спектрометре, а M_r пропорционален инвариантной массе распавшихся частиц:

$$m^2 \approx 1/L^2 M_0 M_r - p_i^2.$$

- Хранение порогов для M_0 и M_r , сравнение с ними полученных в каждом событии значений и принятие решения о его приеме или отбраковке.

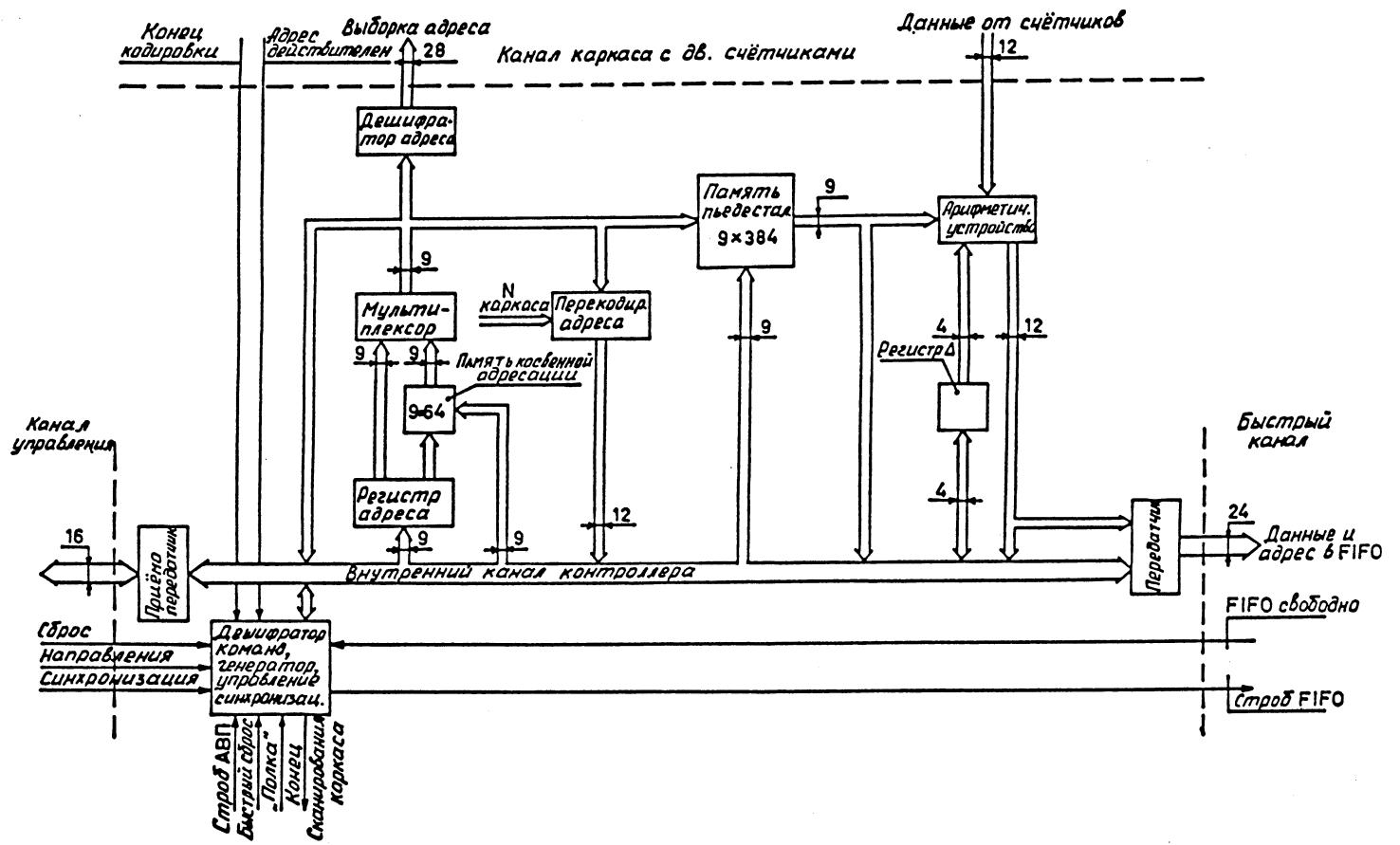


Рис. 4. Блок-схема специального каркасного контроллера.

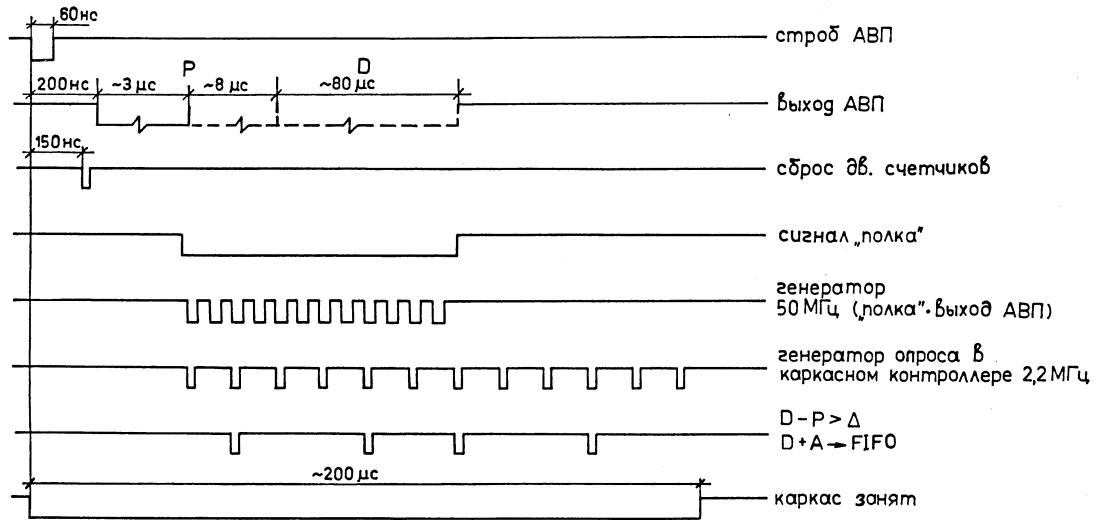


Рис. 5. Временная диаграмма работы каркаса.

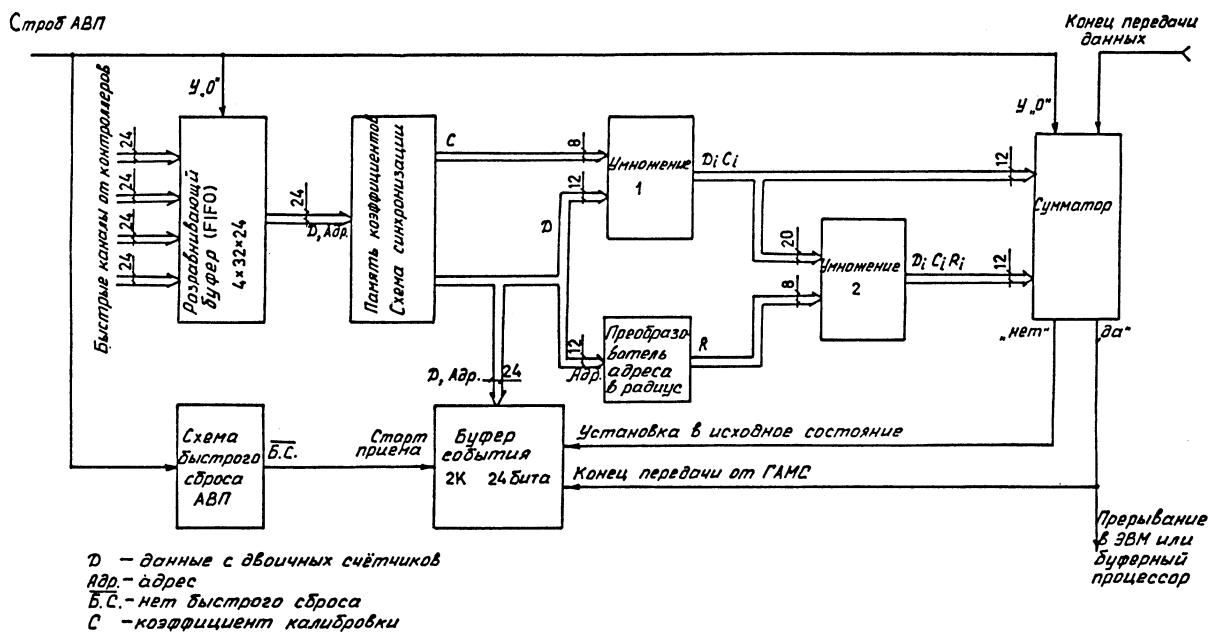


Рис. 6. Блок схема препроцессора установки ГАМС-2000.

При разработке аппаратуры и программного обеспечения большое внимание отводилось легкости и простоте тестирования всех частей систем сбора данных. С этой целью для подготовки систем к работе в сеансах на ускорителях были выбраны простые алгоритмы, потребляющие немного времени ЭВМ, чувствительные к различным неисправностям, возникающим в аппаратуре, и не требующие перекоммутаций в системе.

Одним из чувствительнейших и простых методов контроля работы преобразователей является проверка стабильности их пьедесталов. Тест двоичных счетчиков и диапазона преобразователей амплитуда-код использует зависимость выхода преобразователей МСТ200 от длительности входного строба. Эта возможность позволяет носить произвольные коды в двоичные счетчики легла в основу как проверки цепей передачи данных по быстрому каналу, так и всей окончательной процедуры проверки.

1.4. Организация триггера второго уровня установки ГАМС-2000 в эксперименте по исследованию центральных соударений адронов

Для проведения исследований центральных взаимодействий адронов на 70-ГэВ ускорителе ИФВЭ описанная выше установка ГАМС-2000 была модифицирована. Схема ее приведена на рис.7.

В исследуемой реакции центрального образования нейтральных частиц M^o

$$\pi^- N \sim \pi N M^o, \quad t\gamma$$

наряду с γ -квантами, измеряемыми спектрометром ГАМС-2000, необходимо регистрировать вылетающий из мишени π^- -мезон, отличая его от π^- -мезона, прошедшего через мишень без взаимодействия. Основным детектором установки остается ГАМС-2000, регистрирующий γ -кванты от распада состояния M^o . Импульс π^- -мезона, вылетающего из мишени, измеряется узкоапertureным гадоскопическим магнитным спектрометром, информация от которого используется при формировке триггера второго уровня всей установки.

Специализированный процессор предназначен для быстрого определения импульса π^- -езона. Он состоит из регистров (блоков, определяющих координату и число частиц в плоскости гадоскопов) и блоков решения.

Сигналы с фотоумножителей всех плоскостей гадоскопов подаются на входы регистров. Конфигурация входных сигналов в момент прихода стробирующего импульса (триггер первого уровня) запоминается и поступает на адресные входы специально запрограммированных постоянных запоминающих устройств, выход которых формирует 5-битный код номера сработавшего элемента (при условии прохождения через гадоскоп одной частицы) и число частиц (2 бита).

Информация о координате и числе частиц передается в блок принятия решений, который работает на основе таблиц решений. В таблицы предварительно заносятся данные для вычисления разности углов трека до и после магнита, определения координаты частицы в фокальной плоскости магнита, а также множественности частиц. Результат вычислений сопровождается 3 сигнальными битами, которые используются для выработки триггера второго уровня.

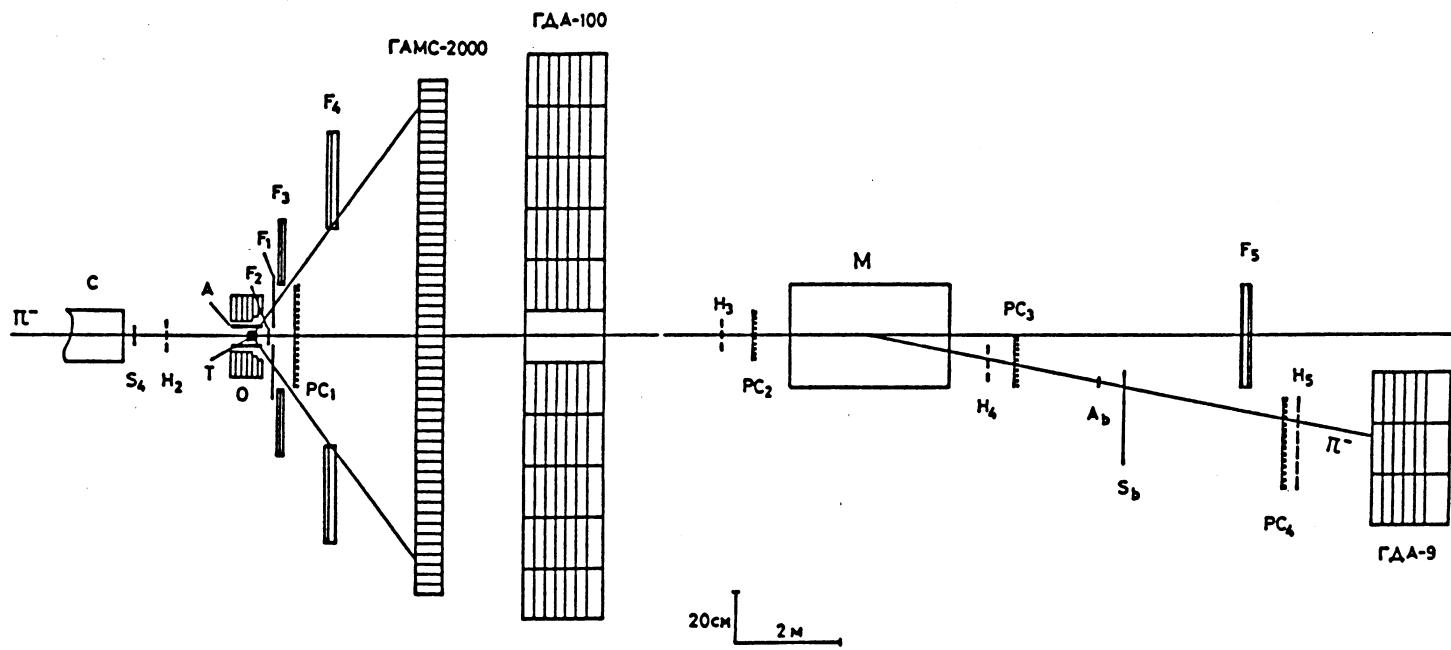


Рис. 7. Схема установки для исследования центрального взаимодействия адронов.

1.5. Тестовые и управляющие модули спектрометров ГАМС

Для автоматизации процедур настройки отдельных подсистем установок и управления спектрометров ГАМС были созданы специальные **электронные модули**:

- 16-канальный генератор импульсов с управляемой от ЭВМ амплитудой был создан для быстрой проверки линейности и разброса коэффициентов преобразования различных каналов системы амплитудного анализа. Диапазон и форма выходных сигналов подобны импульсам от ФЭУ-84-3. Генератор также оказался чрезвычайно полезным при комплексной проверке электрических соединений внутри каркасов.
- 16-канальный генератор логических импульсов и потенциалов фактически представляет собой универсальный выходной регистр, обеспечивший простоту и гибкость управления работой системы сбора данных.
- 15-канальный регистр расширения прерываний был разработан и создан по спецификации on-line системы.
- Коммутатор логических сигналов обеспечивал их оперативное переключение под управлением системы КАМАК.
- Модуль управления перемещением спектрометров ГАМС позволил полностью автоматизировать процедуру калибровки спектрометра на электронном пучке.

2. Электронная аппаратура станции мечения и сбор данных Комплекса меченых нейтрино

2.1. Комплекс меченых нейтрино

Принцип мечения нейтрино от распадов каонов $K_{\mu 2}^\pm$ и $K_{e 3}^\pm$ заключается в регистрации всех продуктов указанных распадов с помощью специальной станции мечения, расположенной в конце распадной базы. При этом оказывается возможным с хорошей точностью восстановить энергию, траекторию и точку образования нейтрино.

Особенностью Комплекса меченых нейтрино является то, что он состоит из двух установок — нейтринного детектора и станции мечения, которые могут работать как совместно, так и автономно, над различными физическими задачами.

Детектор нейтрино состоит из Большого жидкогоаргонового спектрометра БАРС и мюонного спектрометра из намагниченной стали и плоскостей дрейфовых трубок. БАРС представляет собой два независимых криогенных танка, в которых размещается система электродов. Соседние сигнальные плоскости электродов развернуты под углом 120° , образуя систему координат X , Y , V .

Станция мечения состоит из четырех одинаковых трековых детекторов — годоскопов $H1 \div H4$ и электромагнитного калориметра ГЕПАРД. Три годоскопа $H1 \div H3$ измеряют координаты всех заряженных частиц, Четвертый годоскоп $H4$ служит в качестве мюонного идентификатора. Годоскопы станции мечения имеют вид пра-

вильного восьмиугольника. Каждый годоскоп состоит из двух плоскостей X и Y , содержащих по 512 сцинтилляционных палочек.

Электромагнитный спектрометр полного поглощения ГЕПАРД состоит из 2012 модулей. Модули выполнены в виде сандвичей свинец-сцинтиллятор со световодами — сместителями спектра. Сцинтилляционный свет собирается на фотокатод фотоумножителя ФЭУ-84-3.

Энергетическое и пространственное разрешение детектора для электронов с энергией 25 ГэВ равно 3% и 3 мм соответственно.

Для настройки канала и работы с пучком относительно низкой интенсивности, включая калибровку электромагнитного калориметра на электронах, геометрическую привязку всех детекторов на пучке, а также проведение самостоятельных экспериментов по распадам каонов только со станцией мечения, на канале 23 располагаются:

- восемь сцинтилляционных счетчиков;
- три пороговых черенковских счетчика;
- два дифференциальных черенковских счетчика;
- пять пучковых годоскопов, четыре из которых расположены до распадной трубы и один после.

Распадная труба длиной 58,5 м находится под давлением 10^{-4} атм.

Система сбора данных станции мечения основана на сети микроЭВМ, арбитром которой является персональная ЭВМ типа IBM PC, связанная с центральной ЭВМ эксперимента и компьютерами вычислительного центра ИФВЭ. В систему входят 9 микроЭВМ (рис.8).

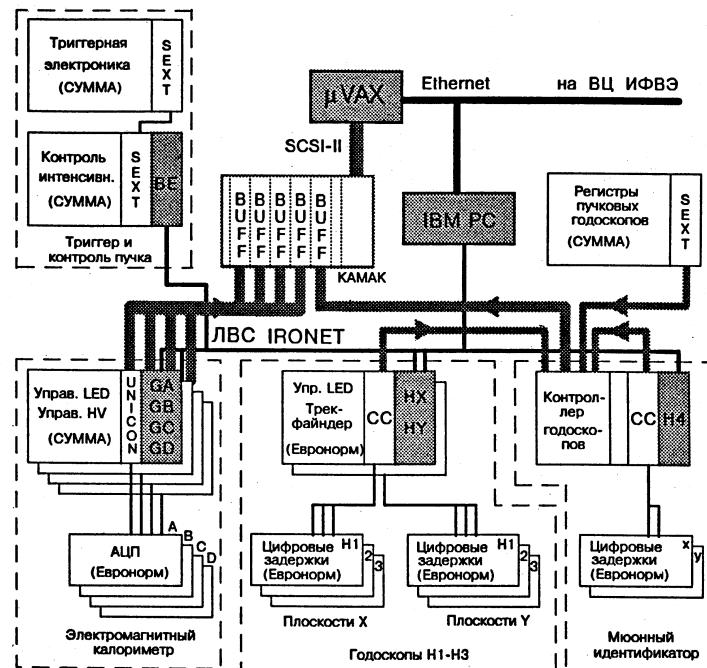


Рис. 8. Организация системы сбора данных станции мечения КМН.

Система сбора данных может работать в двух различных режимах, когда данные поступают либо в память микроЭВМ, либо в пять независимых и параллельно работающих буферов. Контроллеры системы передают в буфера только значимую информацию. Передача данных в центральную ЭВМ производится в промежутках между выводами пучка ускорителем.

2.2. Триггерная электроника станции мечения Комплекса меченых нейтрино

Система быстрого триггера КМН представляет собой программно-аппаратный комплекс, состоящий из 6 различных типов взаимосвязанных модулей, работающих под управлением специальных программ.

Модули системы имеют следующие названия:

- стробирующий модуль (*SI*);
- модуль черенковских счетчиков (*DC*);
- модуль универсальной логики (*EX*);
- итоговый модуль (*FT*);
- модуль обработки сигналов отбраковки (*RJ*);
- модуль обработки сигналов “Занято” (*GB*).

Кроме этого, в систему включено специальное устройство для измерения интенсивности (до $10^7/\text{с}$) и анализа временной структуры сброса пучка — интенсиметр.

Все модули системы управляются только от компьютера, на панелях модулей нет никаких органов управления, а только коаксиальные разъемы и светодиоды индикации.

Блок-схема триггерной системы станции мечения КМН показана на рис.9. Сигналы от сцинтилляционных счетчиков пучкового телескопа поступают в стробирующий модуль *SI*. Их (управляемое) совпадение используется для стробирования модуля черенковских счетчиков. Заданное (анти)совпадение сигналов от черенковских счетчиков приводит к появлению импульса на выходе *DC*. Этот сигнал разветвляется и, пройдя через задержки, стробирует модуль универсальной логики *EX*, триггерный модуль на электромагнитном калориметре *TL* и регистры пучковых гадоскопов. Кроме того, он подается на итоговый модуль *FT*, определяющий детекторы, участвующие в выработке триггерного сигнала. Задержки подбираются таким образом, чтобы на вход итогового модуля триггерные сигналы от БАРСа и пучковых счетчиков приходили одновременно. Выходные сигналы модулей *EX* и *TL* также поступают на входы итогового модуля.

Триггерный сигнал *T* запускает АЦП электромагнитного калориметра и останавливает генератор, переключающий адреса цифровых задержек больших гадоскопов. Кроме того, сигнал *T* запускает таймер модуля обработки сигналов отбраковки. В зависимости от того, приходит сигнал отбраковки в течение времени ожидания или нет, вырабатывается либо сигнал быстрого сброса АЦП, либо сигнал разрешения чтения данных из регистрирующей электроники.

Для измерения интенсивности (до 10^7 /с) и анализа временной структуры сброса пучка на Комплексе меченых нейтрино было разработано и создано специальное электронное устройство интенсиметр, который измеряет и запоминает интенсивность пучка в 1024 последовательных одинаковых интервалах времени. Величина кванта может программно изменяться в диапазоне от 4 мкс до 4 мс.

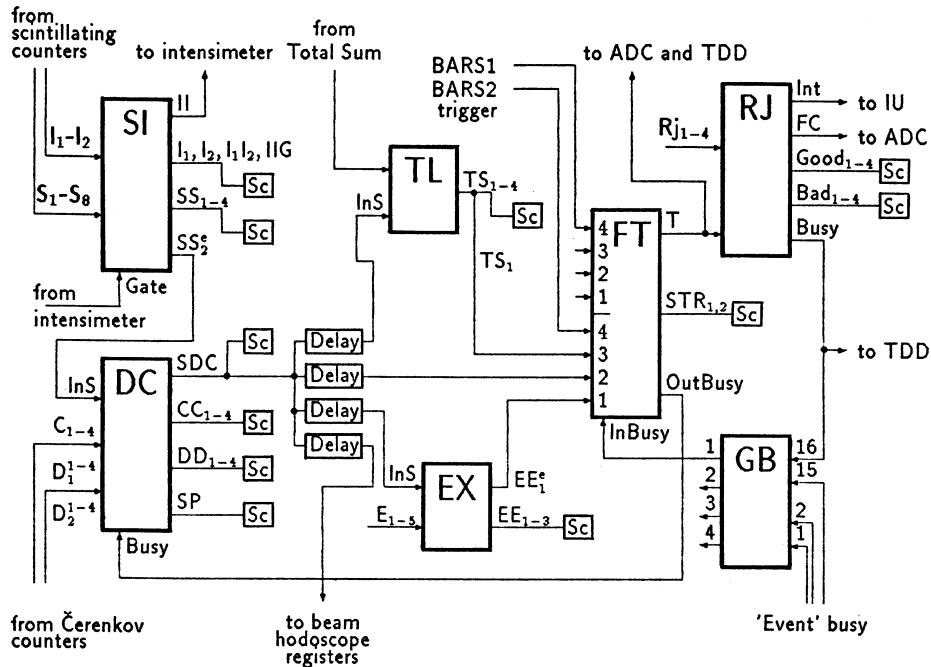
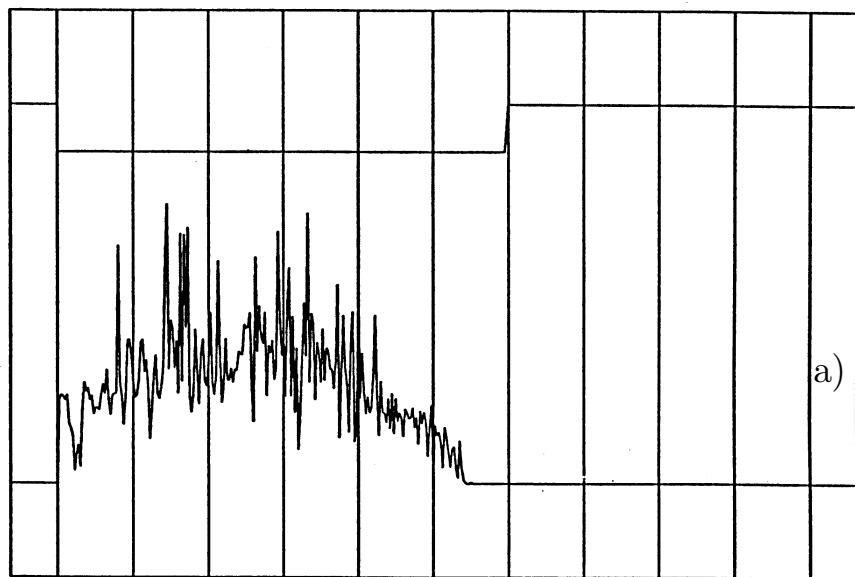


Рис. 9. Организация триггерной системы станции мечения. SI — стробирующий модуль; DC — модуль черенковских счетчиков; TL — калориметрический модуль; EX — модуль универсальной логики; FT — итоговый модуль; RJ — модуль отбраковки; CB — модуль обработки сигналов “Занято”; Sc — пересчетки; $Delay$ — задержки, TDD — управляющий модуль цифровых задержек; IU — модуль синхронизации.

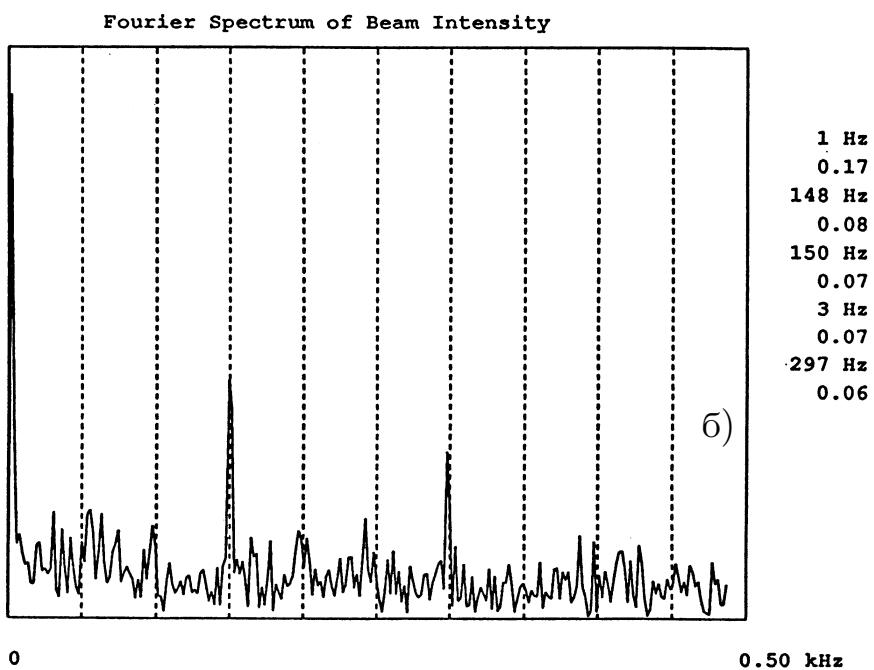
Пример изображения, сформированного по данным с интенсиметра, вместе с частотным спектром приведен на рис.10.

2.3. Структура электроники системы сбора данных с больших гадоскопов станции мечения Комплекса меченых нейтрино

В соответствии с функциональным назначением трековых детекторов станции мечения и для увеличения скорости обработки информации электроника гадоскопов разделена на три отдельные подсистемы, работающие асинхронно и независимо. Одна из них обслуживает гадоскоп H_4 , расположенный за мюонным фильтром, две другие совершенно одинаковы и обрабатывают проекции треков X и Y первых трех гадоскопов. Найденные по информации от гадоскопов X - и Y -проекции треков заряженных частиц связываются в треки при анализе информации от γ -детектора станции мечения КМН. Каждая из двух подсистем разбита на 4 одинаковые и почти независимые части, соответствующие четырем квадрантам координатной плоскости.



a)



б)

Рис. 10. (а) Пример вывода пучка медленным выводом. (б) Частотный спектр вывода, изображенного на рис.10а.

В традиционной электронике сигналы ФЭУ по кабелю поступают на дискриминаторы с фиксированным порогом и по стробирующему сигналу триггера затем запоминаются в регистре. Кабель выполняет двойную функцию: с одной стороны, он передает сигнал, с другой — обеспечивает необходимую задержку на время выработки триггера. Однако при большом числе каналов и большой задержке, как в нашем случае, это приводит к значительной стоимости и объему необходимого кабеля.

Для регистрации сигналов с гадоскопов был разработан модуль цифровой задержки на основе 100 МГц ИС запоминающих устройств с произвольной выборкой (ЗУПВ). Модуль цифровой задержки регистрирует логические сигналы, поэтому выходы ФЭУ предварительно формируются компараторами, которые расположены на плате делителя ФЭУ. Логические сигналы компараторов передаются в модули цифровых задержек по витым парам телефонного кабеля длиной 70 м. Принцип работы модуля цифровой задержки заключается в том, что сформированные сигналы ФЭУ поступают на входы ИС ЗУПВ и записываются в ячейки, адреса которых переключаются каждые 10 нс. ЗУПВ (32 бита на один канал) позволяют регистрировать по каждому каналу сигналы в интервале 320 нс с шагом 10 нс, а в общем случае — в интервале $32T$, где $T \gg 8$ нс. Модуль рассчитан на регистрацию сигналов по 32 каналам.

В одном каркасе регистрации размещено 16 модулей задержек на 512 каналов для подключения одной плоскости гадоскопа. Один каркас управления обслуживает три одноименные плоскости гадоскопов. В систему входят два одинаковых каркаса управления, работающих полностью независимо и параллельно. Каркас управления гадоскопа H_4 обслуживает два каркаса регистрации, соответствующие X - и Y -координатам гадоскопа.

2.4. Структура регистрирующей электроники электромагнитного калориметра станции мечения КМН

Система сбора данных с электромагнитного калориметра состоит из трех подсистем:

- 1) амплитудного анализа;
- 2) временной привязки;
- 3) триггерной системы быстрого анализа энерговыделения.

Структурная схема всей системы приведена на рис.11. В систему амплитудного анализа входят преобразователи амплитуда-время АТС, преобразователи время-код SC , контроллеры чтения UNICON, а также некоторые другие вспомогательные блоки.

В систему временной привязки входят модули аналоговых сумматоров TSUM, модули дифференциальных дискриминаторов DD и модули стробируемых регистров.

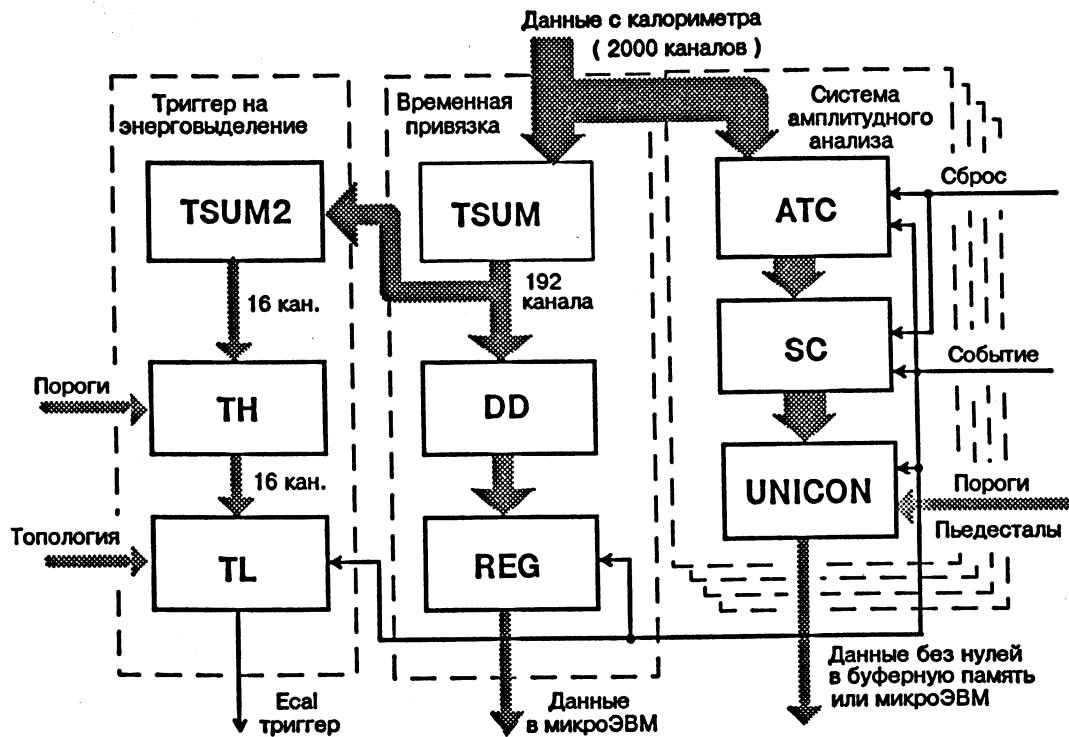


Рис. 11. Структура системы сбора данных с электромагнитного калориметра ГЕПАРД.

Триггерная система осуществляет быстрый анализ величины и топологии энерговыделения в модулях детектора. В нее входят модули аналоговых сумматоров первой TSUM и второй TSUM2 ступеней, модуль дискриминаторов с индивидуально программируемыми порогами TH и модуль выработки триггера по энерговыделению и количеству кластеров TL.

Система амплитудного анализа счетчиков электромагнитного калориметра состоит из четырех совершенно независимых частей, соответствующих четырем квадрантам детектора, организация ее аналогична установкам ГАМС.

Предложенная система временного анализа основана на регистрации суммарного сигнала с 12 ФЭУ, что более чем на порядок уменьшает число каналов регистрации. Кроме этого, фактическое время сигнала не измеряется, а задается временное окно, при попадании сигнала в которое он интерпретируется как относящийся к событию.

Триггерная система быстрого анализа энерговыделения электромагнитного калориметра ГЕПАРД, в первую очередь, предназначена для использования в экспериментах по распадам K^- -мезонов. Система основана на аналоговом суммировании сигналов со 144 ячеек спектрометра, т.е. с этой точки зрения, калориметр состоит всего из 16 элементов. Система позволяет вырабатывать триггер на любое количество и положение кластеров энерговыделения в калориметре ГЕПАРД.

2.5. Организация передачи данных со спектрометра БАРС в Комплексе меченых нейтрино

Электроника приема и сбора данных со спектрометра БАРС состоит из 24 независимых и автономно работающих частей. Управляющая электроника одной части размещена в одном каркасе системы КАМАК. Она состоит из контроллера управления и считывания данных из каркасов регистрации, микроЭВМ с модулем прерывания и специального модуля быстрой последовательной связи для передачи данных в центральную ЭВМ системы сбора данных.

Эта передача осуществляется между циклами ускорителя. Буфером на время сброса является память микроЭВМ. Для осуществления односторонней связи необходимы два модуля, по одному с каждой стороны, и один коаксиальный кабель. Двухстороннюю связь можно осуществить, добавив еще один кабель. При обмене информацией между модулями использовалось широтно-импульсное кодирование. Амплитуды всех сигналов передней панели соответствуют стандарту NIM.

Вся система двухсторонней передачи данных между каркасами управляющей электроники спектрометра БАРС и центральной ЭВМ состоит из 48 одинаковых модулей однократной ширины. Модули передают и принимают блоки данных размером $1K \times 16$ -разрядных слов по паре коаксиальных кабелей.

Заключение

В диссертации изложены результаты разработки и реализации электронных систем регистрации сигналов и сбора данных на установках ГАМС-2000, ГАМС-4000 и Комплексе меченых нейтрино.

1. Разработана система триггера первого уровня установки ГАМС-2000 и, в первую очередь, организация антисовпадений, которая позволила работать с максимально возможной в канале 4В интенсивностью потока частиц $\approx 10^7/\text{с}$, сведя к минимуму потери статистики из-за мертвого времени, что существенно повысило эффективность использования дорогостоящего времени работы ускорителя У-70.

2. Высокий параллелизм при одновременной и независимой работе каркасных контроллеров, передача данных в буфер и работа препроцессора являются основными чертами построенных систем сбора данных со спектрометров ГАМС-2000 и ГАМС-4000. Первичная обработка данных препроцессорами с использованием калибровочных коэффициентов, полученных при калибровках детекторов на электронном пучке, позволила организовать триггер второго уровня, существенно подавить фоновые события до их записи на постоянный носитель и тем самым значительно обогатить статистику редкими событиями, изучение которых и представляет реальный интерес.

3. Для исследований центральных соударений адронов реализован триггер второго уровня. Его существенной особенностью является универсальность, т.е. возможность изменения параметров и критериев отбраковки программным путем.

Благодаря выбранным техническим решениям и развитой диагностике неисправностей, базовые варианты систем сбора данных ГАМС-2000 и ГАМС-4000, а также тестовые и управляющие модули продемонстрировали свою замечательную живучесть и надежность с начала эксплуатации в 1980-1981 гг.

В результате только **первого этапа** проведенных на установках исследований были получены следующие результаты:

- при исследовании образования мезонов с большими массами и спинами был обнаружен $r(2510)$ -мезон со спином 6, распадающийся на $2\pi^0$;
- исследования редких распадов легких мезонов с многофотонными конечными состояниями на установке ГАМС-2000 привели к обнаружению распада

$$\eta \rightarrow \pi^0 \gamma \gamma,$$

успешному поиску нарушающего изоспин распада

$$\eta' \rightarrow 3\pi^0,$$

обнаружению редкого распада $f(1270)$ -мезона

$$f \rightarrow \eta\eta$$

прецизионному измерению нейтральных мод распада η и η' -мезонов;

- в экспериментах по изучению систем из псевдоскалярных мезонов, поисками среди них глюболов и других тяжелых частиц были исследованы $\eta\eta$ - и $\eta\eta'$ -системы с массой до 2 ГэВ и обнаружен скалярный $G(1590)$ -мезон. Существование G -мезона подтвердили эксперименты на ГАМС-4000 при более высоких энергиях, где также был впервые выделен редкий распад $h \rightarrow \eta\eta$.

4. Созданный триггер первого уровня станции мечения КМН представляет единый программно-аппаратный комплекс, причем модули системы триггера не имеют органов ручного управления.

Устройство интенсиметра оказало существенное влияние на изучение и улучшение структуры выведенного пучка канала 23. Информация от этого устройства специально транслируется по сети ETHERNET на пульт медленного вывода для диагностики временной структуры и наладки пучка.

5. Создана система регистрации и сбора данных с больших годоскопов станции мечения КМН основанная на модулях цифровых задержек. Их использование, кроме экономии колоссального объема коаксиального кабеля, позволило иметь временную развертку сигналов детектора с шагом 10 нс.

6. Реализована система обработки сигналов с электромагнитного калориметра ГЕПАРД, которая кроме стандартного амплитудного анализа включает в себя временную анализ поступивших сигналов, а также относительно простую, но гибкую систему быстрого анализа энерговыделения в калориметре, причем данная обработка осуществляется на первом уровне триггера.

Детекторы станции мечения вместе с созданными электронными системами сбора данных не только обеспечивают “метку” при регистрации нейтринных событий спектрометром БАРС, но и предоставляют уникальные возможности для изучения некоторых распадов K -мезонов. Оценки и предварительные эксперименты показывают, что за сутки станция мечения уже в настоящее время может зарегистрировать до 10^5 распадов $K^\pm \rightarrow \pi^0\pi^0\pi^\pm$, в которых по некоторым теоретическим предпосылкам должна нарушаться СР-инвариантность.

7. Разработаны и созданы простые и надежные модули *TR61*, которые являются основой системы передачи данных с 24 микроЭВМ нейтринного детектора БАРС в центральный компьютер.

Автономная работа нейтринного детектора БАРС представляет уникальную возможность для изучения высокоэнергичных космических мюонов, а также широких атмосферных ливней.

Литература

1. Котов И.В., Михайлов Ю.В., Шагин П.М., Щукин А.В. Универсальная система логической электроники предварительного отбора событий. // ПТЭ, 1985, № 6 (ч. 1, п.1.2).
2. Kotov I.V., Mikhailov Yu.V. Anticoincidences at High Intensities. IHEP Preprint 84-127, Serpukhov, 1984 (ч.1, п.1.2).
3. Alde D., Binon F., Boget D., Bricman C., Donskov S.V., Dromby C., Dufraud J., Duteil P., Gouanere M., Kachanov V.A., Kakauridze D.B., Khaustov G.V., Knapp E., Lac C.D., Lagnaux J.P., Lednev A.A., Michotte D., Mikhailov Yu.V., Monthuy. T., Peigneux J.P., Peter J., Possoz A., Prokoshkin Yu.D., Rodnov Yu.V., Sillou D., Stroot J.P., Sugonyaev V.P. Acquisition System for Hodoscope Spectrometer GAMS-4000. // NIM. 1985, A240. P.343-350 (ч. 1. п. 1.3).
4. Бинон Ф., Гуанер М., Донсков С.В., Дюфурно Ж., Дютейль П., Инякин А.В., Леднев А.А., Михайлов Ю.В., Пенье Ж.П., Роднов Ю.В., Сугоняев В.П., Хаустов Г.В. Система сбора данных спектрометра ГАМС-2000. — Препринт ИФВЭ 88-179. Серпухов, 1988. (ч. 1, п. 1.3).
5. Клименко С.В., Лебедев А.А., Михайлов Ю.В. Сопряжение ЭВМ HP2100A с системой КАМАК/СУММА. — Препринт ИФВЭ 77-43. Серпухов, 1977 (ч. 1, п. 1.3).
6. Донсков С.В., Инякин А.В., Михайлов Ю.В., Синьковский А.В., Сугоняев В.П., Шагин П.М., Штанников А.В. Специализированный процессор для отбора частиц по импульсу в эксперименте по исследованию центральных соударений адронов. // ПТЭ. 1990, № 4, с. 96-100 (ч. 1, п. 1.4).
7. Донсков С.В., Инякин А.В., Леднев А.А., Михайлов Ю.В. Тестовые и управляющие модули спектрометров ГАМС. — Препринт ИФВЭ 88-180. Серпухов, 1988 (ч. 1, п. 1.5).

8. Михайлов Ю.В. Система отбора событий станции мечения Комплекса мечевых нейтрино. // ПТЭ, 1994, № 2, с. 43-52 (ч. 2, п. 2.2).
9. Козелов А.В., Лебедев А.А., Медведь С.А., Михайлов Ю.В. Устройство для измерения интенсивности и временной структуры выведенного пучка. // ПТЭ. 1994, № 2, с. 53-56 (ч. 2, п. 2.2).
10. Васильев А.В., Козелов А.В., Лебедев А.А., Манджавидзе И.З., Медведь С.А., Михайлов Ю.В. Структура электроники системы сбора данных с больших годоскопов станции мечения Комплекса мечевых нейтрино. — Препринт ИФВЭ 90-139. Протвино, 1990 (ч. 2, п. 2.2).
11. Денисенко А.А., Котов И.В., Лебедев А.А., Медведь С.А., Михайлов Ю.В., Щукин А.В. Модуль задержки и регистрации наносекундных импульсов на быстродействующих запоминающих устройствах. // ПТЭ. 1987, № 1, с. 92-94 (ч. 2, п. 2.3).
12. Гилицкий Ю.В., Козелов А.В., Михайлов Ю.В., Струздюмов Д.Ю., Федякин Н.Н. Структура системы сбора данных с гамма-детектора станции мечения КМН. — Препринт ИФВЭ 93-10. Протвино, 1993 (ч. 2, п. 2.4).
13. Лебедев А.А., Медведь С.А., Михайлов Ю.В. Модуль быстрой последовательной связи. — Препринт ИФВЭ 88-28. Серпухов, 1988 (ч. 2, п. 2.5).
14. Vasiliev A.V., Mikhaailov Yu.V. A 5 Mbytes/s Serial Link Data Transfer System. — IHEP Preprint 92-26, Protvino, 1992 (ч. 2, п. 2.5).

Рукопись поступила 5 ноября 1997 г.

Ю.В. Михайлов.

Экспериментальная методика регистрации сигналов и сбора данных с больших
регулярных структур фотоумножителей.

Оригинал-макет подготовлен с помощью системы L^AT_EX.

Редактор Н.В.Ежела.

Технический редактор Н.В.Орлова.

Подписано к печати 10.11.97. Формат 60 × 84/8. Офсетная печать.

Печ.л. 3,1. Уч.-изд.л. 2,4. Тираж 100. Заказ 1153. Индекс 3649.

ЛР №020498 17.04.97.

ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий
142284, Протвино Московской обл.

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т 97-73, И Ф В Э, 1997
