



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ИФВЭ 97-33

ОНФ

С.В. Беликов, В.В. Липаев, С.В. Лось

**ОРГАНИЗАЦИЯ СБОРА ДАННЫХ
НА ДЕТЕКТОРЕ БАРС**

Протвино 1997

Аннотация

Беликов С.В. и др. Организация сбора данных на детекторе БАРС: Препринт ИФВЭ 97-33. – Протвино, 1997. – 19 с., 8 рис., библиогр.: 11.

В статье приводится описание системы сбора и передачи информации для 27648 каналов электроники Большого жидкоАргонного Спектрометра (БАРС). Система обеспечивает темп приема до 1500 событий/с и скорость передачи данных в главный компьютер до 2 Мбайт/с.

Abstract

Belikov S.V. et al. Data Acquisition at Detector BARS: IHEP Preprint 97-33. – Protvino, 1997. – p. 19, figs. 8, refs.: 11.

A procedure of the data acquisition and transfer for the 27648 electronic channels of the Big liquid ARgon Spectrometer (BARS) is described. The system throughput is up to 1500 events/s and the data transfer rate to the host computer is up to 2 Mbyte/s.

Введение

БАРС используется в качестве детектора-мишени на Комплексе меченых нейтрино (КМН) [1]. Детектор облучается пучком мюонных и электронных нейтрино, образующихся при распадах $K_{\mu 2}$ и $K_{e 3}$ заряженного каонного пучка.

Спектрометр БАРС представляет собой автономную систему, включающую в себя выработку триггера и полный цикл преобразования и накопления данных. Поэтому, кроме исследований в области нейтринной физики в составе КМН, в настоящее время детектор используется и для измерения спектров горизонтальных космических мюонов большой энергии [2], а также предполагается его применение при изучении широких атмосферных космических ливней.

1. Общее описание

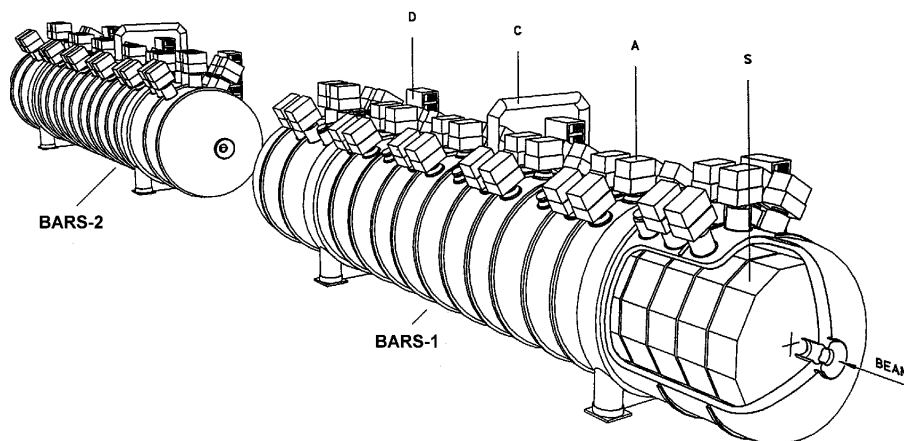


Рис. 1. Большой жидкоаргоновый спектрометр БАРС. S — секции ионизационных камер; A — боксы с РЭ электроникой; C — трубопровод для аварийного сброса газообразного аргона; D — стойки электроники ССД.

Большой жидкоаргоновый спектрометр состоит из двух одинаковых криостатов — БАРС-1 и БАРС-2 (рис. 1), расположенных один за другим вдоль оси пучка и заполненных жидким аргоном. Внутри каждого криостата расположены

24 ионизационные камеры (ИК), перемежающиеся сцинтилляционными триггерными детекторами (рис. 2).

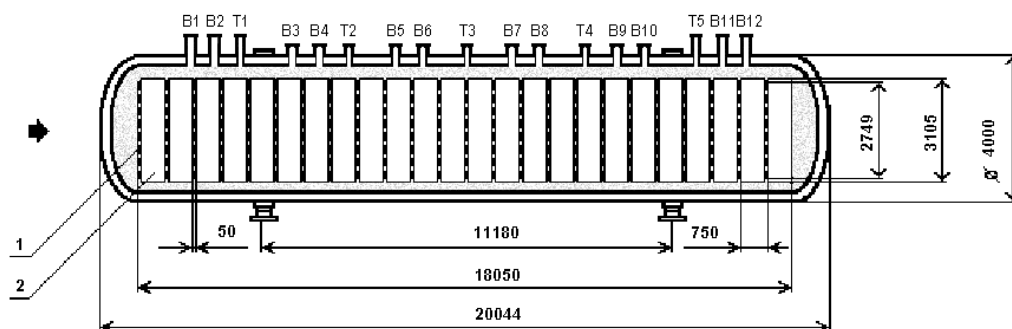


Рис. 2. Расположение детекторов внутри криостата. 1 — триггерная плоскость; 2 — секция ионизационных камер; B1, ..., B12 — выводные фланцы для ионизационных сигналов; T1, ..., T5 — выводные фланцы для сигналов триггерных счетчиков. Все размеры указаны в миллиметрах.

Ионизационные камеры внутри БАРС-1 и БАРС-2 состоят из расположенных вдоль оси пучка идентичных элементарных двухзорных регистрирующих структур (бигэп). Бигэп представляет собой три параллельные алюминиевые пластины, разнесенные на 24 мм друг от друга. Первая и третья пластины заземлены, а на среднюю, являющуюся сигнальным электродом, подается высокое напряжение. Каждый сигнальный электрод сегментирован в поперечном направлении на 48 стрипов. Ориентация стрипов такова, что в каждом последующем бигэпе они повернуты на 120° по отношению к предыдущему (рис. 3).

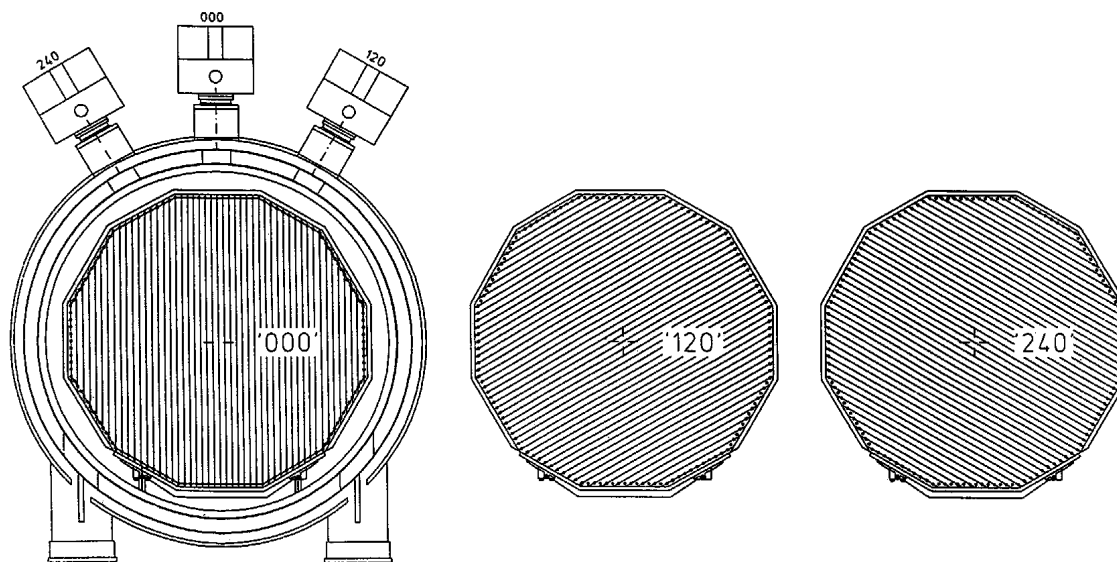


Рис. 3. Ориентация стрипов в X-, U-, V-проекциях.

Внутри каждого из криостатов электроды сгруппированы в 24 секции. Секция включает в себя 12 бигэпов (по четыре для каждой координаты), объединяя таким

образом 576 сигнальных стрипов. Секции смонтированы попарно на 12 алюминиевых подвижных платформах. Такая конструкция получила название “вагон”. Из детектора сигналы выводятся витыми парами через герметизированные многоконтактные разъемы, установленные на выводных фланцах криостата. Суммарное количество ионизационных сигналов детектора БАРС – 27648.

Триггерная логика первого уровня основана на сигналах от 48 сцинтилляционных плоскостей [3], расположенных перед каждой секцией системы электродов. Все триггерные плоскости вместе с ФЭУ и их высоковольтными делителями находятся непосредственно в жидком аргоне. Высоковольтные и сигнальные кабели счетчиков выведены на фланцы триггерной системы детектора БАРС через герметичные разъемы.

2. Электроника

Электроника БАРС состоит из 4 связанных между собой систем:

1. Электроника быстрого сцинтилляционного триггера [6], используемая для выработки триггера первого уровня и контроля работы системы быстрого триггера.
2. Регистрирующая электроника (РЭ) [7], предназначенная для регистрации и кодировки ионизационных сигналов.
3. Электроника системы сбора данных (ССД), выполненная в стандарте КАМАК, выполняющая анализ поступающих триггерных сигналов, выработку команд для РЭ, считывание, предобработку и промежуточное накопление цифровой информации.
4. Электроника ССД второго уровня, обеспечивающая прием данных от всей цифровой электроники обоих детекторов БАРС, а также управление режимами работы системы сбора данных.

Организация электроники БАРС показана на рис. 4.

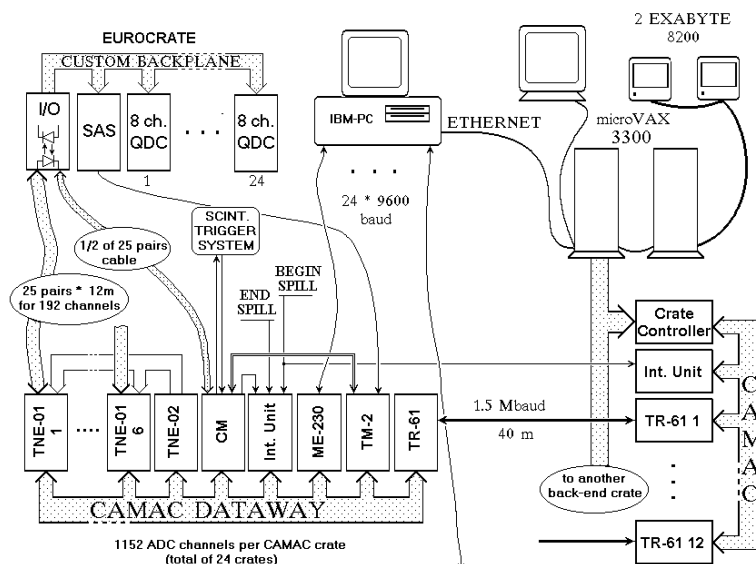


Рис. 4. Организация электроники БАРС.

2.1. Регистрирующая электроника

Для размещения РЭ используются каркасы, установленные попарно непосредственно на выводных фланцах детектора. Такая конструкция из пары каркасов и общего для них источника питания получила название “QDC-бокс”. В каждом каркасе размещено 24 модуля регистрирующей электроники (QDC-карты), модуль селективной аналоговой суммы (*SAS – Selective Analog Sum*), адаптер связи с системой сбора данных (I/O-карта) и распределитель калибровочного сигнала.

QDC-карта включает в себя полную цепь обработки ионизационных сигналов: усиление, формировку и оцифровку (рис. 5). Одна QDC-карта содержит 8 каналов регистрации, а также схему, суммирующую аналоговым образом сформированные сигналы всех каналов карты. Выходной суммарный сигнал передается в модуль селективной аналоговой суммы, где он сравнивается с регулируемым порогом. В SAS суммируются только те сигналы, которые превысили этот порог. Таким образом, только карты со значительным ионизационным сигналом вносят вклад в формирование выходного суммарного сигнала, который используется для выработки триггера второго уровня.

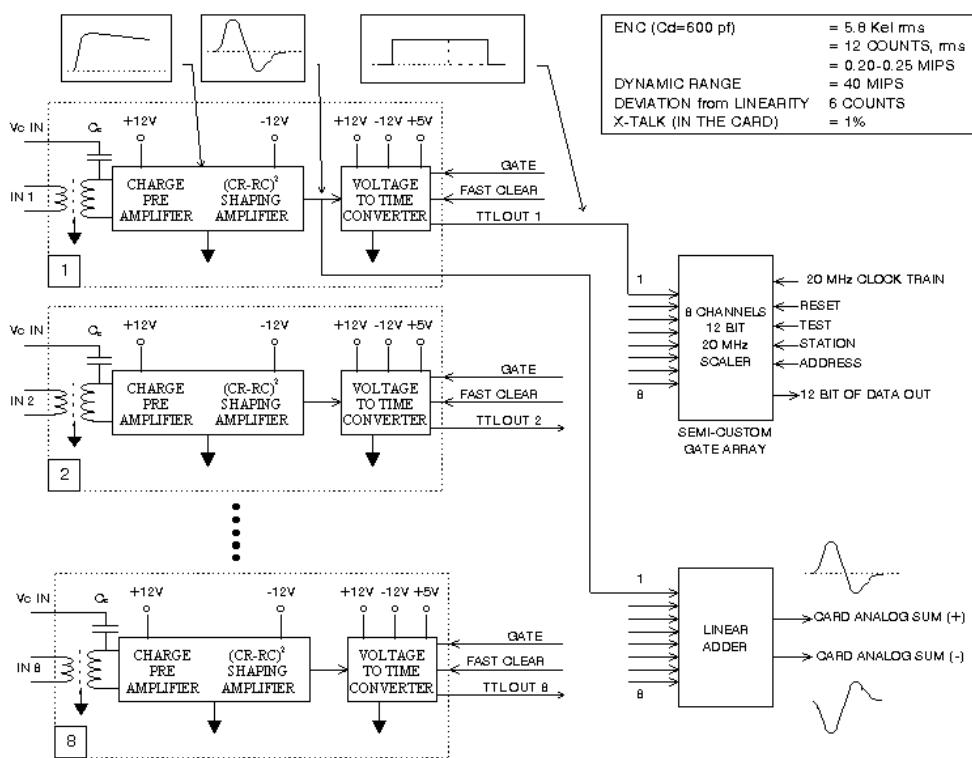


Рис. 5. Блок схема QDC-карты.

I/O-карта является интерфейсом между каркасом РЭ и системой сбора данных. Через эту карту в каркас РЭ поступают сигналы управления оцифровкой ионизационных сигналов детектора; через нее же осуществляется чтение результатов преобразования.

Электроника двух каркасов QDC-бокса подключена к сигнальным электродам одной из координат двух секций одного вагона. С системой сбора данных QDC-бокс соединен тремя 25-парными плоскими кабелями. Два из них используются для чтения данных, а по третьему передаются сигналы управления преобразованием и выходные сигналы модулей SAS.

2.2. Электроника системы сбора данных

Электроника ССД выполнена в стандарте КАМАК и размещена в 24 крейтах, сгруппированных по четыре в 6 стойках. Один крейт обслуживает три QDC-бокса, подключенных к одному вагону системы электродов (1152 канала РЭ). Электроника всех крейтов (кроме одного) однотипна и состоит из:

- шести модулей чтения и предварительной буферизации данных TNE-01;
- контроллера управления чтением данных TNE-02;
- Command Module (CM), управляющего кодировкой данных в QDC-картах;
- модуля триггера второго уровня ТМ-2;
- модуля запросов (МЗ);
- модуля связи TR-61;
- микрокомпьютера ME-230;
- каркасного контроллера ССМ-1.

Модуль TNE-01 [8] предназначен для приема, предобработки и хранения данных, поступающих от 24 QDC-карт одного каркаса РЭ. Он соединен с I/O-картой этого каркаса 25-парным плоским кабелем. TNE-01 может работать в двух режимах: с вычитанием пьедесталов или без него. В первом случае из поступающих данных вычитаются величины, записанные в пьедестальную память (P-RAM) модуля. Результаты сравниваются с порогами, хранящимися в той же P-RAM. Если значение выше порога, то результат и адрес соответствующего канала заносятся в буферную память модуля, в противном случае данные отбрасываются. Такой подход обеспечивает уменьшение объема поступающих данных и облегчает их последующую обработку. В случае работы без вычитания пьедесталов все данные и соответствующие им адреса записываются в буферную память без изменения.

Контроллер TNE-02 [8] управляет параллельной работой всех шести модулей TNE-01, подключенных к нему спецмагистралью. Через TNE-02 осуществляется выбор режима работы, диапазона адресов опрашиваемых каналов РЭ, скорости их сканирования, а также запускается чтение данных. Контроллер TNE-02 выставляет LAM-запрос на магистраль крейта по окончании передачи данных в буферные памяти модулей TNE-01. Параллельная передача данных позволяет снизить в 6 раз время сбора информации от РЭ, обслуживаемой одним крейтом ССД.

Командный модуль CM вырабатывает последовательность сигналов, управляющих кодировкой данных в QDC-картах. С каждым QDC-боксом CM соединен 25-парным плоским кабелем. По приходу триггера первого уровня CM сначала устанавливает сигнал “Занят” и посылает в РЭ сигнал очистки скейлеров, а затем строб-импульс длительностью 5 мкс, во время которого запоминаются пиковые

значения сигналов. Если от системы триггера второго уровня в течение 9 мкс не пришел сигнал быстрого сброса, то СМ вырабатывает последовательность счетных импульсов (2400 импульсов с частотой 20 МГц), используемых при кодировке амплитуд сигналов, по окончании которой посылает сигнал в модуль запросов. Таким образом, суммарное время оцифровки составляет 129 мкс. В случае же прихода сигнала быстрого сброса, СМ передает его в QDC-боксы, что приводит к быстрой разрядке конденсатора пикового детектора. При этом последовательность счетных импульсов и сигнал в модуль запросов не посылаются. Дав разрядиться пиковому детектору, СМ снимает сигнал “Занят”. Мертвое время составляет в таком случае 15 мкс.

Модуль триггера второго уровня ТМ-2 используется для быстрой оценки энерговыделения в одном вагоне БАРС. Для этого 6 сигналов от модулей SAS складываются попарно, формируя суммы сигналов трех проекций вагона. Эти сигналы оцифровываются в трех АЦП параллельного типа, выходы которых поступают на схему таблицы решений. Таблица запрограммирована так, что положительное решение вырабатывается при наличии во всех проекциях сигналов, амплитуды которых лежат в заданном диапазоне. Если ни в одном из 12 вагонов одного детектора БАРС не было выработано положительное решение, то для всей электроники этого детектора вырабатывается сигнал быстрого сброса.

Модуль запросов используется для синхронизации работы микрокомпьютера ME-230 с прочей электроникой системы. На входы МЗ приходят 4 сигнала: “Начало вывода пучка” (НП), “Конец вывода пучка” (КП), запрос от СМ и запрос от TR-61. Модуль запросов запоминает входные импульсы в виде бит регистра, который доступен микрокомпьютеру для чтения. Общий запрос выставляется на шину КАМАК в виде сигнала LAM.

Модуль приема-передачи TR-61 [9] используется для обмена информацией между системой сбора данных и главной ЭВМ. Передача между двумя модулями TR-61 идет по двум коаксиальным кабелям. Данные посылаются пакетами по 2 Кбайта, время передачи одного пакета составляет 10 мс. Для формирования и приема пакетов в модулях имеется буфер на 1К 16-разрядных слов. По получении очередного пакета TR-61 посылает сигнал готовности в МЗ.

В состав микрокомпьютера входят процессорная плата ME-230 [10] и дополнительный контроллер КАМАК [11], обеспечивающий доступ процессора к магистрали крейта. Основу платы ME-230 составляет совместимый с I8086 микропроцессор КР1810 ВМ86 со 128 Кбайт ОЗУ. Загрузка программ в память ME-230 осуществляется по последовательной линии со скоростью 9600 бод. Микрокомпьютер управляет всем процессом чтения, накопления и передачи данных, а также осуществляет калибровку и тестирование электроники детектора. На передней панели ME-230 имеются два разъема, в один из которых поступают сигналы от триггерной системы первого уровня, а во второй — сигналы от ТМ-2. Первый разъем подсоединен к 12-разрядному счетчику, а сигнал от второго формирует 13-ый бит.

Минимальный контроллер ССМ-1 обеспечивает работу дополнительных контроллеров КАМАК в крейте в соответствии со стандартом EUR-6500.

2.3. Электроника ССД второго уровня

Электроника ССД второго уровня размещена в двух крейтах КАМАК неподалеку от главной ЭВМ детектора. В задачу этой электроники входит прием данных из всех крейтов ССД и триггерной системы, а также передача служебной и управляющей информации в обратном направлении. В каждом крейте расположены:

- 13 модулей TR-61, 12 из которых обеспечивают связь с электроникой ССД одного из детекторов БАРС, а последний предназначен для приема информации от триггерной электроники этого же детектора ;
- модуль запросов, в который заведены сигналы готовности от всех 13 TR-61, используется для синхронизации обмена между TR-61 и главной ЭВМ;
- контроллер крейта Kinetic Systems 3922, подключенный к интерфейсной карте в главном компьютере, обеспечивает доступ последнего к магистрали крейта.

В качестве главной ЭВМ в настоящее время используется μ VAX-3300. Каждый крейт обслуживает один из детекторов (БАРС-1 и БАРС-2), образуя таким образом две независимые ветви системы сбора данных.

3. Программное обеспечение

Многозадачная операционная система реального времени VPV, зашитая в ПЗУ микрокомпьютера, осуществляет общение с внешними устройствами через два последовательных порта со скоростью 9600 бод и обеспечивает загрузку и запуск стандартных исполняемых “.exe” файлов MS-DOS. Один из портов может быть подключен к терминалу, а второй — к коммутатору, связывающему все 24 ME-230 с интерфейсной картой IBM-PC. Подготовка матобеспечения осуществляется стандартными программными средствами на IBM-PC. К ним предъявляются следующие требования:

- так как скорость передачи по последовательной линии низка, то для уменьшения времени загрузки размер программы должен быть по возможности минимален;
- задача не должна использовать системные вызовы DOS, которые не поддерживаются системой VPV.

На программы on-line сбора данных налагаются дополнительные ограничения:

- так как производительность микропроцессора невелика, то для уменьшения мертвого времени системы все операции чтения и передачи данных должны быть максимально оптимизированы по скорости;
- чтобы избежать перезагрузки программ они должны быть максимально универсальны и выполнять все операции, необходимые при работе установки в режиме набора данных;
- после запуска на исполнение программы должны работать автономно и управляться только от главного компьютера MicroVAX-3300.

3.1. Создание программ

Для выполнения первых двух требований компоновка программ осуществлялось следующим образом:

1. Основное тело подпрограммы создается в виде подпрограммы `main()` на языке Си и компилируется в объектный файл.
2. Все подпрограммы чтения электроники, предобработки и анализа данных пишутся на языке Ассемблер.
3. Главная (инициализирующая регистры процессора и вызывающая подпрограмму `main`) часть также написана на Ассемблере.
4. Сборка всех частей в единую программу осуществляется компоновщиком MS-DOS.

Такой подход позволяет не допустить подключения к программе системных вызовов, которые автоматически добавляются всеми компиляторами языка Си. Благодаря этому удастся не только уменьшить размер программы, но и избежать появления невыполняемых VPV системных вызовов. Язык Си был выбран для создания логической части программы, так как он имеет большой набор битовых операций и возможность прямой адресации к физической памяти. В то же время он является языком высокого уровня и облегчает создание сложных логических связей при сохранении оптимальности кода, свойственной Ассемблеру. Тем не менее компиляторы Си редко используют строчные операции процессора (`LODSW`, `STOSW` и др.), поэтому процедуры чтения и обработки массивов данных были написаны на Ассемблере с использованием этих операторов, что позволило максимально оптимизировать быстродействие программ. Для уменьшения размеров загружаемого кода программы все необходимые для хранения и обработки данных массивы создаются при запуске программы на исполнение путем резервирования динамической области памяти. Благодаря такому подходу размер программы сбора и обработки данных составляет лишь ~ 20 Кбайт.

Для удобства операторов установки БАРС загрузка программ в микрокомпьютеры осуществляется с помощью специальных командных файлов, запускаемых на исполнение простым нажатием клавиши *Enter* или с помощью обычной мыши. Эти программы инициируют аппаратный сброс микрокомпьютеров ME-230, загружают программы и запускают их на исполнение. Благодаря тому, что коммутатор позволяет осуществлять параллельную передачу одновременно во все микропроцессоры, загрузка всей системы занимает меньше одной минуты.

3.2. Основная программа

Хотя VPV является многозадачной системой, было принято решение использовать одну универсальную программу во избежание потери процессорного времени на переключение с одной задачи на другую. Блок-схема этой программы показана на рис. 6. При запуске программа заказывает необходимую для работы память: 64 Кбайт — для хранения данных и ~ 4 Кбайт — для вспомогательных массивов.

Если требуемая память выделена, то производится инициализация электроники, подключение драйвера обработки прерываний от модуля запросов. Разрешив выработку сигнала LAM этим модулем, программа устанавливает в его регистре маски бит, разрешающий прохождение сигналов от модуля приема-передачи, посылает в μVAX сообщение о готовности к работе и уходит в ожидание прерывания. С этого момента программа управляется только командами, поступающими от μVAX через TR-61.

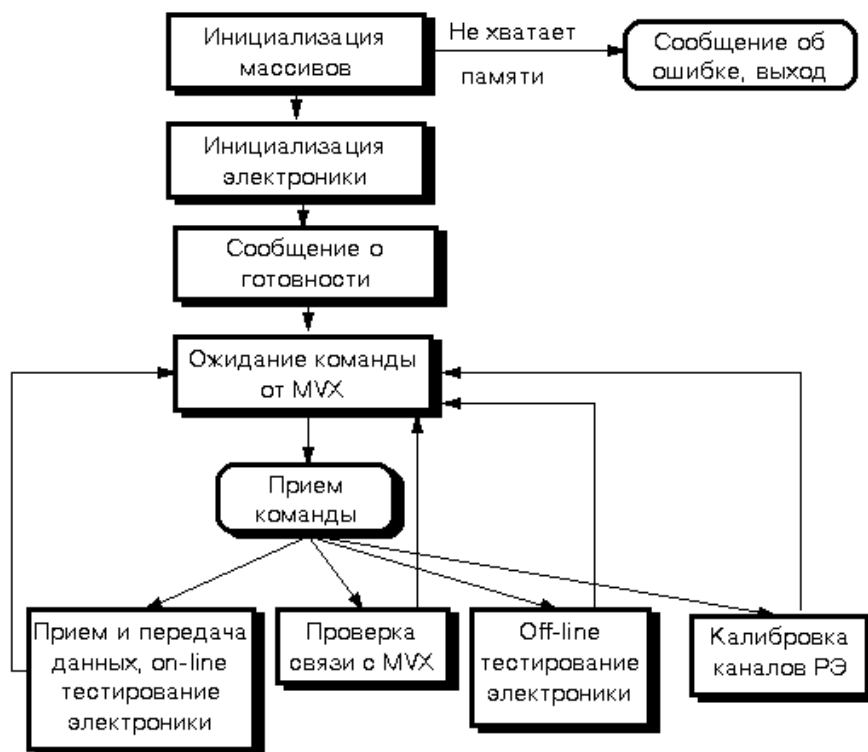


Рис. 6. Блок-схема основной программы.

Тем не менее по последовательной линии можно “заглянуть” в память программы и по значению глобальных переменных и содержимому регистров процессора оценить ее состояние и место нахождения в данный момент (например, специальная глобальная переменная ComPlace, адрес которой можно найти в MAP-файле, принимает различные значения в зависимости от той процедуры, которая в данный момент выполняется).

Команда от главного компьютера μVAX (ГК) представляет собой одно положительное целое 16-битное слово, а ответы ME-230 — такое же, но отрицательное число. Такое разделение позволяет при отладке понять, было ли число записано в память TR-61 главным компьютером, или было принято от ME-230. Кроме того, данные, поступающие от микрокомпьютеров, представляют собой положительные числа, а все служебные слова и коды ошибок — отрицательные, что позволяет легко их идентифицировать.

Основные команды ГК:

1. Прекратить работу и ждать новую команду.
2. Выполнить проверку связи с ГК.
3. Провести off-line тестирование электроники.
4. Прокалибровать все каналы электроники.
5. Начать сбор данных.

3.3. Проверка связи с главным компьютером

Проверка связи заключается в следующем. Получив подтверждение о готовности проведения данной процедуры, ГК присылает ME-230 два числа, первое из которых является некоторым начальным произвольным значением, а второе указывает длину требуемого блока. Микрокомпьютер формирует массив требуемой длины, величина первого элемента которого равна переданному произвольному значению, а остальные представляют собой инкрементированные значения предыдущего элемента. Этот массив записывается в буферную память TR-61, и данный блок пересылается ГК, где он сравнивается с ожидаемыми значениями. Такая процедура повторяется заданное число раз, при этом начальное значение каждый раз изменяется. В случае обнаружения ошибок ГК сообщает о них оператору.

Надо отметить, что перед установкой в крейт модули TR-61 проходят более тщательную проверку: в их памяти записываются последовательности, представляющие собой бегущий ноль, бегущую единицу и два бегущих с разной скоростью бита, образующих апериодическую последовательность чисел, а также проверяется правильность передачи и приема этих последовательностей. Поэтому описанная выше процедура проводится лишь для быстрой проверки связи между всеми ME-230 и ГК. Кроме того, правильность передачи проверяется каждый раз при отправке накопленных данных с помощью контрольной суммы, добавляемой в конец массива.

3.4. Off-line тест электроники

Цель данного теста заключается в контроле достоверности данных, передаваемых из регистров QDC-карт в память микрокомпьютера. В цепочке есть три звена, каждое из которых может исказить информацию: QDC-карта, адаптер связи и модуль TNE-01. Сложность проверки обусловлена тем, что данная цепь является однонаправленной — данные можно прочитать из QDC-карт, но нельзя их в нее записать. Поэтому тестирование осуществляется следующим образом.

При получении команды от ГК ME-230 сначала производит проверку памяти хранения данных и пьедесталов у всех шести модулей TNE-01, записывая и читая перечисленные выше (смотри пункт 3.3) битовые последовательности. При обнаружении ошибки микрокомпьютер посылает соответствующий код главному компьютеру и прекращает дальнейшую работу. Если же тест памяти завершился успешно, то ME-230 выставляет в регистре маски модуля запросов биты, разрешающие прохождение сигналов запросов от TR-61 и от CM, и уходит в ожидание прерывания. В случае прихода запроса от TR-61 программа прекращает тест и переходит к выполнению новой команды.

Программа для одного выделенного микрокомпьютера несколько отличается от той, которая загружается в остальные ME-230. В крейте, где расположен этот микрокомпьютер, кроме перечисленных выше модулей имеется один дополнительный — 16-канальный цифроаналоговый преобразователь (ЦАП). Один из его выходов используется для задания амплитуды калибровочного сигнала, вырабатываемого генератором импульсов (ГИ), второй выход используется для блокировки сигналов триггерной электроники, а третий — для разрешения (запрещения) прохождения сигнала "Занят" в модуль триггерной логики. Данный микрокомпьютер, прежде чем перейти в режим ожидания прерывания, устанавливает определенное опорное напряжение для ГИ и посылает команду в TNE-02, по которой тот вырабатывает импульс для запуска генератора. ГИ формирует калибровочный сигнал заданной амплитуды, поступающий во все распределители калибровочного сигнала, и синхроимпульс, который посылается во все командные модули ССД.

Так как триггерная система второго уровня при проведении теста электроники отключена, то СМ производят полный цикл оцифровки поступивших калибровочных сигналов, по окончании которого посылают сигнал в МЗ. (Полученные данные хранятся в регистрах QDC-карт до тех пор, пока СМ не пришлет сигнал очистки, поэтому эти результаты можно считать многократно.)

Сигнал LAM, выставляемый при этом модулем запроса, вызывает прерывание микрокомпьютера. Программа, обработав это прерывание и выяснив, что запрос пришел от СМ, посылает в TNE-02 команду на начало цикла передачи данных из РЭ в буферную память TNE-01, по окончании которого считывает эти данные в оперативную память. При этом такую процедуру программа проделывает трижды, каждый раз меняя условия режима передачи данных. Первый раз данные считываются при высокой скорости передачи (в начале теста она выставляется равной 680 нс/канал) в режиме без вычитания пьедесталов, второй раз — в том же режиме, но при медленной скорости (1,87 мкс/канал), третий раз — при высокой скорости и с вычитанием пьедестала. Значения первых двух массивов сравниваются между собой, по величинам второго массива и значениям записанных в PRAM пьедесталов и порогов вычисляется массив величин, ожидаемых при вычитании пьедесталов, и сравнивается с прочитанными данными.

Кроме того, для каждой прочитанной серии данных проверяется правильность последовательности адресов каналов. При обнаружении каких-либо расхождений формируется код ошибки, описывающий тип ошибки и номера TNE-01, в которых она была обнаружена, и отсылается ГК, а скорость считывания снижается на дополнительные 170 нс/канал. Такой цикл проверки повторяется при одной и той же амплитуде калибровочного сигнала заданное число раз, при этом при каждом новом цикле изменяются значения пьедесталов и порогов в каждой ячейке памяти PRAM модулей TNE-01. Затем амплитуда калибровочного сигнала увеличивается, и вся процедура повторяется вновь. Шаг изменения амплитуды выбирается так, чтобы с учетом шумов электроники (в среднем порядка 11 отсчетов) при прохождении всего диапазона амплитуд калибровочного сигнала коды, приходящие из каждого канала, принимали все возможные значения — от величины пьедестала до максимально

возможного значения. Тогда при вычислении логических "И" и "ИЛИ" для всех значений амплитуд каждого канала можно проверить, все ли биты регистров QDC-карты принимают значения 0 и 1. Если нет, то сообщение об этом посылается в ГК.

Микрокомпьютер может прекратить тест прежде, чем калибровочный сигнал достигнет своего максимального значения, если ошибки будут обнаруживаться даже при снижении скорости чтения до 1,36 мкс/канал. Проверка считается успешно прошедшей, если сообщения об ошибках перестают приходить при времени сканирования одного канала ≤ 1 мкс.

3.5. Калибровка каналов QDC-карт

Одновременно с командой "Начать калибровку" ГК сообщает всем ME-230, сколько калибровочных точек нужно промерить и какова должна быть статистика в каждой точке. Микрокомпьютеры обнуляют необходимые для работы массивы, устанавливают режим чтения данных без вычитания пьедесталов и сообщают ГК о своей готовности к работе. Получив такое сообщение от всех участвующих в калибровке ME-230, ГК посылает всем значение амплитуды калибровочного канала для данной точки. При этом микрокомпьютеры уходят в ожидание прихода сигнала от СМ, а выделенный ME-230, управляющий ГИ, устанавливает требуемое напряжение и инициирует выработку калибровочного сигнала. Дальнейшая процедура аналогична описанной выше: командные модули производят оцифровку сигналов, после чего данные считываются в память микрокомпьютера. Измерение в данной точке повторяется до тех пор, пока не будет набрана вся требуемая статистика. Программа вычисляет средние значения сигналов для каждого канала и их дисперсии и передает полученные результаты в ГК, а затем запрашивает переход на измерение новой точки.

Завершив измерения при всех значениях калибровочного сигнала, программа проводит линейную аппроксимацию калибровочной кривой и отсылает полученные результаты в ГК, а затем, сообщив об окончании процедуры, уходит в ожидание новой команды. ГК записывает все полученные данные в файлы, которые потом используются для:

- оценки шумов электроники по величинам средних дисперсий;
- нахождения каналов с аномально большими шумами, очень высокими пьедесталами, с низкими наклонами калибровочной кривой (возможно отсутствие контакта, обрыв кабеля или неисправность усилителя), или, наоборот, слишком высокими (неисправность скейлера);
- формирования пьедесталов и порогов для TNE-01 по величинам сигналов и их дисперсий, полученных при нулевой амплитуде калибровочного сигнала;
- определения степени линейности каналов.

3.6. Сбор данных

Блок-схема процедуры сбора и передачи данных показана на рис. 7. Ее структура учитывает цикличность работы ускорителя: во время вывода пучка в течение

0,6÷1,2 с программа принимает данные из РЭ и накапливает их в оперативной памяти микроЭВМ, а в интервале между выводами (~8 с) сортирует и передает полученную информацию, и затем до прихода следующего сигнала “Начало вывода пучка” (НП) проводит калибровку и тест электроники.

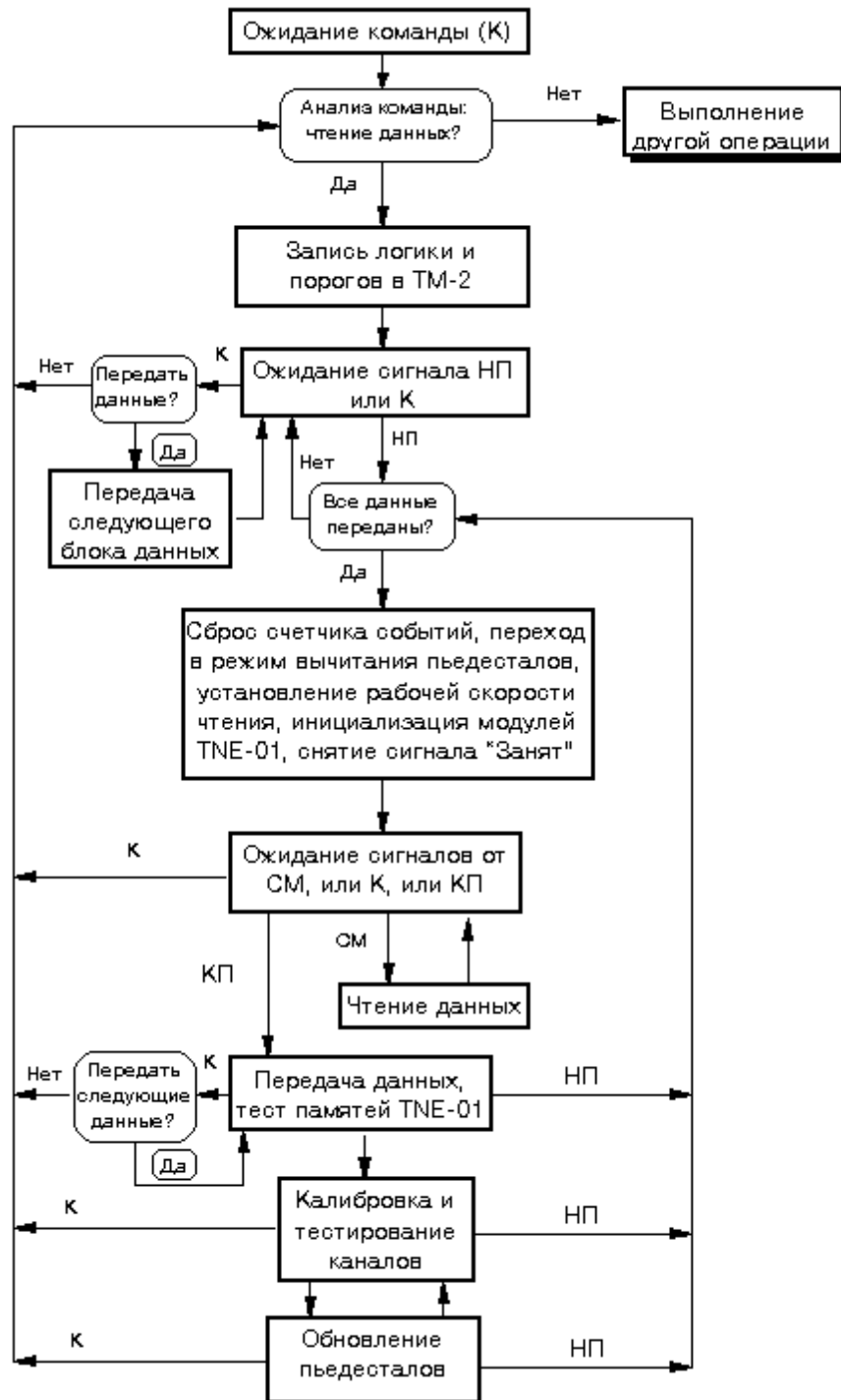


Рис. 7. Блок-схема цикла сбора данных.

Перед началом сбора данных, если пьедесталы и пороги еще не были записаны в PRAM TNE-01, ГК посылает команду на их загрузку. Величины пьедесталов и порогов определяются по результатам калибровки каналов РЭ: в качестве пьедесталов выбираются средние значения, полученные при нулевом калибровочном сигнале, а пороги определяются в зависимости от величины их дисперсий. Из этих величин ГК формирует массив 16-битных слов, в которых в младших 12 битах находится величина пьедестала, а в 4 старших — $1/4$ величины порога.

При получении команды загрузки пьедесталов каждый ME-230 принимает этот массив и заносит его значения в пьедестальные памяти TNE-01. Вместе с командой на начало чтения данных ME-230 получает значения порогов и логики для модуля триггера второго уровня. Занеся их в память ТМ-2, программа записывает в МЗ маску, разрешающую прохождение сигналов ГК и НП, и уходит в ожидание прерывания.

При приходе НП (сигнал “Начало пучка” приходит за 100 мс до реального вывода, оставляя программе время на проведение необходимых подготовительных операций) производится сброс счетчика номера события и счетчиков памяти TNE-01, модули TNE-01 переводятся в режим чтения данных с вычитанием пьедесталов, устанавливается рабочая скорость передачи данных из РЭ. Запретив прерывания от любого сигнала, программа начинает непрерывно читать регистр запросов МЗ, ожидая прихода какого-либо сигнала. Это делается для того, чтобы уменьшить время анализа источника сигнала — обработка прерывания занимает ~ 120 мкс, в то время как чтение и анализ регистра требует лишь ~ 20 мкс. При приходе сигнала от командного модуля, означающего окончание оцифровки сигналов, программа посылает в TNE-02 команду на начало пересылки данных из РЭ в памяти TNE-01, а пока идет передача, считывает номер события и готовится к приему пришедшей информации. Затем программа ждет окончания пересылки данных, следя за появлением сигнала LAM от TNE-02.

При его появлении считываются счетчики памяти TNE-01 и проверяется, достаточно ли осталось в памяти места для приема пришедших данных. Если нет, то компьютер оставляет сигнал “Занят” выставленным, тем самым прекращая поступление новых триггеров в детектор, а сам ждет прихода сигнала “Конец вывода пучка” (КП). Если места в памяти достаточно, то ME-230 снимает сигнал “Занят”, разрешая тем самым приход новых триггерных сигналов и их обработку триггерным модулем второго уровня, а сам начинает чтение данных из памяти TNE-01 в буфер данных. Таким образом, мертвое время детектора в случае принятия события составляет 129 мкс (время оцифровки) + 192 мкс (время передачи) + ~ 100 мкс (процессорное время) ≈ 420 мкс. Временная диаграмма процедуры приема данных показана на рис. 8.

Если во время чтения данных придет новое событие, то оно будет оцифровано, и результаты будут храниться в регистрах QDC-карт, а компьютер, закончив чтение и увидев запрос, начнет новый цикл передачи и чтения данных.

Прием событий продолжается до тех пор, пока не придет сигнал “Конец вывода пучка”. По этому сигналу программа начинает сортировку накопленной ин-

формации, формируя массив, включающий в себя полный размер информации и отдельные структуры, каждая из которых объединяет: номер события, его длину и амплитуды сработавших каналов вместе с их адресами. При этом проверяется правильность последовательности адресов, и формируется контрольная сумма, представляющая собой исключающее ИЛИ всех величин в массиве. Эти данные (или первые 1024 слова, если длина массива больше 1024 слов) записываются в память TR-61, и инициируется их передача в ССД второго уровня. Дождаясь прихода команды от ГК (запрос новой порции данных или подтверждение приема всего массива данных и контрольной суммы) или сигнала НП, программа производит тестирование памяти TNE-01, записывая и читая описанные в пункте 3.3 битовые последовательности.

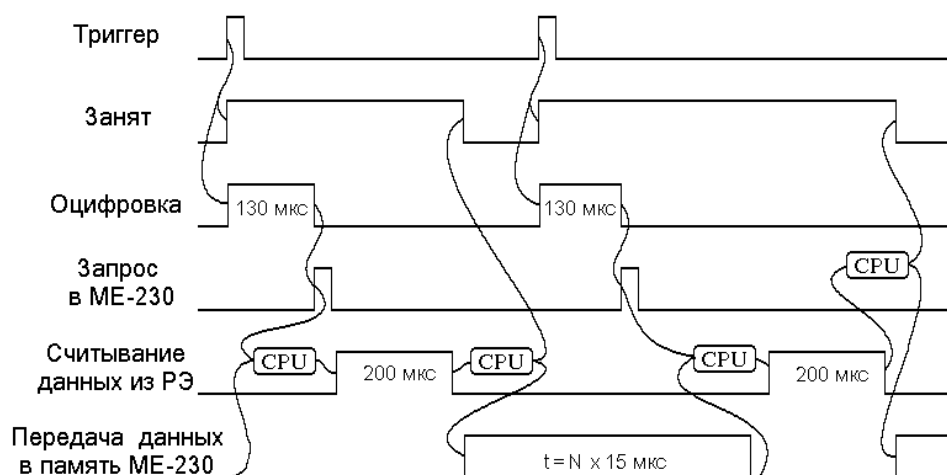


Рис. 8. Временная диаграмма работы электроники ССД первого уровня.

Если в это время приходит сигнал НП, то программа игнорирует новый вывод пучка до тех пор, пока не будет завершена передача всей накопленной информации и получено подтверждение от ГК о приеме ее в полном объеме. Только после этого программа переходит в ожидание нового вывода пучка.

Если все данные были переданы, а сигнал НП еще не пришел, то, завершив проверку памяти TNE-01, микрокомпьютер начинает цикл калибровки каналов регистрирующей электроники и одновременно тестирование тракта передачи данных. Эти процедуры полностью аналогичны описанным в пунктах 3.4 и 3.5 off-line операциям, за исключением того, что ГК посылает команду на изменение амплитуды калибровочного сигнала только после того, как получит результаты измерения в предыдущей точке от всех участвующих в работе микрокомпьютеров. Выделенный ME230, управляющий ГИ, не ждет при этом команду на выработку каждого калибровочного импульса, а посылает их самостоятельно каждый раз после обработки предыдущего сигнала и завершения цикла проверочного чтения.

Микрокомпьютеры, набравшие заданную статистику для данной амплитуды калибровочного сигнала, вычисляют средние значения сигналов и их дисперсии для всех каналов РЭ и передают полученные данные в ГК, после чего переходит

в ожидание сообщения об изменении калибровочной амплитуды. При этом средние значения сигналов, полученные при нулевой амплитуде калибровочного сигнала, записываются в пьедестальные памяти TNE-01, а величины порогов сохраняются неизменными. Такое обновление пьедесталов позволяет компенсировать их уход, обусловленный колебаниями температуры и дрейфом базовой линии усилителей.

Обнаруженные при тестировании ошибки в приеме данных кодируются и передаются в ГК. При приходе сигнала НП все микрокомпьютеры прекращают калибровку и тестирование каналов и возвращаются к процедуре приема новой информации.

3.7. Главный компьютер

Система сбора данных в ГК представляет собой многопрограммный комплекс, управление которым, а также задание режимов работы и корректировка необходимых параметров осуществляется с терминала через специально разработанный многоуровневый диалоговый интерфейс на базе системного пакета SMG. Все компоненты электроники, участвующие в процессе приема/передачи данных при работе с БАРС и расположенные в двух каркасах КАМАК, а также связи между ними, описаны в корректируемой базе данных.

Все программы функционально делятся на три группы. В первую входят те, которые осуществляют предпусковую наладку и контроль электроники БАРС. Ко второй группе относятся программы, обеспечивающие считывание, предварительный анализ, контроль и сохранение данных со всего КМН в режиме реального времени. Наконец, третья группа объединяет программы обработки физической информации в режиме off-line.

Прием данных на уровне программного обеспечения ГК осуществляется для всех программ по общей схеме. В соответствии с предварительно сформированным списком ME-230, участвующих в работе, создается рабочая таблица, содержащая для каждого ME-230 местоположение связанного с ним TR-61 и номер входа в модуль запросов, куда поступает сигнал от TR-61 после приема данных. На основании этой таблицы формируется битовая маска, которая записывается в регистр маски МЗ и программа переходит в ожидание прерывания. При приходе данных от микрокомпьютеров в связанные с ними модули TR-61 ССД второго уровня последние посылают сигналы в модуль запросов. Отфильтрованные регистром маски сигналы попадают в регистр требований, и в результате вырабатывается сигнал ЛАМ, вызывающий аппаратное прерывание ГК. При обработке этого прерывания считывается значение регистра требования и тем самым определяется, от каких модулей приема-передачи пришли запросы. Протокол обмена информацией между микрокомпьютерами и ГК определяется конкретным режимом работы (калибровка, контроль линий связи, тест электроники, считывание физических данных и т.д.).

Если рассмотреть в качестве примера прием физических данных, то их общая длина может значительно превышать размер внутреннего буфера TR-61. При этом первым передаваемым из каждого ME-230 словом является общая длина данных. При чтении данных главный компьютер в соответствии с размером ожидаемого

массива, резервирует сегмент памяти, необходимый для хранения всей информации от данного МЕ-230, и считывает содержимое буфера в эту память. После этого ГК либо подтверждает прием всей информации, либо посылает запрос на передачу следующего блока данных (если общая длина данных превышает размер буферной памяти TR-61). Затем, не дожидаясь ответа, переходит к следующему модулю приема-передачи, выставившему запрос. Такой сканирующий режим чтения данных позволяет достигнуть скорости приема информации 2 Мбайт/с (одно 16-разрядное слово за 1 мкс — время цикла КАМАК).

Приняв всю информацию от детектора БАРС, ГК сортирует ее по номерам событий, объединяя данные от различных микрокомпьютеров, относящиеся к одному событию, и, добавив информацию, полученную от других частей комплекса (триггерной системы, станции мечения, магнитного спектрометра), записывает полученные данные в выходной файл, а оперативная информация о них (общее число принятых событий, объем информации и т. п.) отображается на мониторе. Кроме того, эти данные передаются в IBM-PC, где по ним восстанавливаются и отображаются в графическом виде геометрические и энергетические параметры произошедших в детекторе событий, а также отбираются кандидаты на искомые взаимодействия.

При получении кода ошибок ГК декодирует его и записывает в файл, а также отображает в оперативном окне информацию об источнике ошибки и ее типе, позволяя дежурному персоналу оперативно устранить неполадки.

Заключение

Благодаря использованию 24 встроенных микроЭВМ и оптимально разработанному программному обеспечению, нам удалось создать систему сбора данных, максимально оптимизированную по скорости и в то же время обладающую высокой гибкостью и универсальностью работы.

Значительно снизить мертвое время установки и время обработки полученной информации позволяет организация параллельной работы различных процессов:

- Чтение данных из буферных памяти TNE-01 в оперативную память микрокомпьютера происходит одновременно с обработкой вновь поступающих триггерных сигналов, что позволяет снизить мертвое время до ≈ 420 мкс по сравнению с $420 \text{ мкс} + 15 \text{ мкс} \times (\text{число сработавших каналов в наиболее загруженном вагоне})$ при последовательной обработке событий.
- Сканирующий режим чтения информации из буферных памяти модулей TR-61 главным компьютером, при котором прием команды и передача новой порции данных отдельным микрокомпьютером, занимающие около 25 мс, происходят одновременно с чтением данных от других МЕ-230, что позволяет достичь скорости приема 2 Мбайт/с.

Хотя канал передачи данных от регистрирующей электроники является односторонним, разработанный метод его тестирования позволяет с высокой надежно-

стью в режимах on-line и off-line проверять достоверность приходящей информации. Оперативный контроль за состоянием электроники, обеспечиваемый этой методикой, позволяет в ходе работы установки устранять замеченные неисправности, практически не останавливая процесс набора информации.

Вывод реконструированных событий в графическом виде на монитор персонального компьютера позволяет следить за качеством полученных данных: наличием паразитных наводок, неправильным подключением кабелей к QDC-картам и т.д. Кроме того, on-line отбор кандидатов на искомые взаимодействия позволяет следить за качеством проведения сеанса: скоростью набора полезных событий, их энергетическими параметрами и т.д.

Список литературы

- [1] IHEP(Serpukhov) - INFN(Pisa) - IHEP(Zeuthen) - JINR(Dubna) Collaboration, Experiments with Tagged Neutrino Beams at IHEP Accelerator, Proposal SERP-E-152, Serpukhov, 1984.
- [2] Belikov S.V. et al. – Preprint IHEP 96-65. Protvino, 1996.
- [3] Беликов С.В., Гуржиев С.Н., Кочетков В.И., Старцев В.С. – Препринт ИФВЭ 92-160. Протвино, 1992.// ПТЭ, 1993, т. 6, с. 56.
- [4] Беликов С.В., Гуржиев С.Н., Дьячков А.П. и др. – Препринт ИФВЭ 92-47. Протвино, 1992.// ПТЭ, 1993, т. 3, с. 79.
- [5] Беликов С.В., Гуржиев С.Н., Дьячков А. П. и др. – Препринт ИФВЭ 92-55. Протвино, 1992.// ПТЭ, 1993, т. 3, с. 85.
- [6] Беликов С.В., Гуржиев С.Н., Гутников Ю.Е. и др. – Препринт ИФВЭ 94-68, Протвино. 1994.// ПТЭ, 1995, т. 2, с. 43.
- [7] "BARS, the liquid argon detector-target for tagged neutrino beams at the IHEP of Serpukhov", presented by F. Sergiampietri, Proceedings of the Fourth International Conference of Calorimetry in High Energy Physics, La Biodola, Isola d'Elba, Italy 19-25, September 1993, ed. A. Mezione and A. Scribano (World Scientific, 1994), p. 357.
- [8] Ermolin Yu.V., Los S.V., Sytin A.N.. "Big Liquid Argon Spectrometer Data Acquisition Electronics for the Tagged Neutrino Experiment", Proceedings of the Fourth International Conference of Calorimetry in High Energy Physics, La Biodola, Isola d'Elba, Italy 19-25, September 1993, ed . A. Mezione and A. Scribano (World Scientific, 1994), p. 286.
- [9] Vasiliev A.V., Mikhailov Yu.V. – Preprint IHEP 92-26. Protvino, 1992.

- [10] Говорун В.Н., Горбунов Н.В., Ермолин Ю.В. и др. – Препринт ИФВЭ 86-16. Серпухов, 1986.
- [11] Говорун В.Н., Давиденко А.М., Ермолин Ю.В. и др. В кн: Сборник трудов АН СССР "VIII международный симпозиум по проблемам модульных информационно-вычислительных систем и сетей ICS-NET, САМАС-91", Дубна, 9-14 сентября 1991 г., с. 336. – М.: Инновационно-коммерческое агентство, 1992.

Рукопись поступила 3 июня 1997 г.

С.В. Беликов и др.
Организация сбора данных на детекторе БАРС.

Оригинал-макет подготовлен с помощью системы \LaTeX .
Редактор Н.В.Ежела. Технический редактор Н.В.Орлова.

Подписано к печати 06.06.97. Формат $60 \times 84/8$. Офсетная печать.
Печ.л. 2,4. Уч.-изд.л. 1,82. Тираж 220. Заказ 1086. Индекс 3649.
ЛР №020498 17.04.97.

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

