受入
95-5-069
高工研図書室

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ИФВЭ 94-101
ОЭИ УНК, ОЭА

С.И.Битюков, Ю.Б.Бушнин, В.С.Ваньев, Н.К.Вишневский, Е.В.Власов, П.И.Гончаров, Ю.П.Гуз, Р.И.Джелядин, А.В.Екимов, А.М.Зайцев, С.А.Зимин, Ю.М.Иванюшенков, А.Н.Исаев, А.Н.Карюхин, Г.А.Ключников, А.К.Коноплянников, С.В.Копиков, М.Е.Костриков, В.Д.Матвеев, В.А.Медовиков, В.Ф.Образцов, А.П.Останков, В.А.Сенько, М.М.Солдатов, О.В.Соловьянов, Е.А.Старченко, Ю.А.Хохлов, Н.Р.Чернявский, Н.А.Шаланда, В.И.Якимчук

СИСТЕМА СБОРА ДАННЫХ УСТАНОВКИ ВЕРШИННЫЙ СПЕКТРОМЕТР ИФВЭ (Установка ВЕС)

Протвино 1994

УДК 539.1.07 М-24

Аннотация

Битюков С.И. и др. Система сбора данных установки вершинный спектрометр ИФВЭ. (Установка ВЕС): Препринт ИФВЭ 94-101. – Протвино, 1994. – 19 с., 3 рис., 4 табл., библиогр.: 22.

Описана скоростная система сбора данных (ССД), использовавшаяся для регистрации более полумиллиарда событий. При создании системы последовательно реализованы преимущества ЭСЛ-магистрали, известной как БУШНИН-БАС (или МИСС), разработанной и изготовленной в ИФВЭ. Основной отличительной особенностью системы является ее способность регистрировать свыше 30 млн. событий в сутки.

В составе установки ВЕС созданная ССД использовалась для исследования процессов множественного образования частиц в области резонансов на 70 ГэВ ускорителе ИФВЭ.

Abstract

Bityukov S.I. et al. Data Acquisition System for IHEP Vertex Spectrometer Facility: IHEP Preprint 94-101. – Protvino, 1994. – p. 19, figs. 3, tables 4, refs.: 22.

The high speed data acquisition system is described. It allows to digitize and record on magtape over 30 million of events per day. We cosecutivly realize most of advantiges of ECL backplane, known as BUSHNIN-BUS (or MISS), designed and devcloped at IHEP.

During data takins runs on VES facility for multiparticle resonance production study at IHEP 70 GeV accelerator over half billion of events have been recorded on tape.

© Институт физики высоких энергий, 1994.

Введение

Установка ВЕС [1, 2] является широкоапертурным магнитным спектрометром с возможностью регистрации как треков заряженных частиц, так и гамма-квантов. В своем составе она имеет развитую систему многопроволочных трековых детекторов, многоячеистый электромагнитный калориметр из свинцового стекла, две плоскости годоскопа сцинтилляционных счетчиков и многоканальный пороговый черенковский счетчик для идентификации вторичных продуктов взаимодействий.

Кроме того, в состав установки входят телескоп из сцинтилляционных и черенковских счетчиков с пропорциональными камерами для выделения и идентификации частиц первичного пучка, а также эффективная охранная система вокруг бериллиевой мишени, которая выделяет эксклюзивные процессы образования резонансов, попадающих в апертуру установки [3-7].

Вершинная часть установки оснащается прецизионными микростриповыми кремниевыми детекторами [8] и многопроволочными микродрейфовыми трубками [9] для выделения короткоживущих очарованных состояний в инклюзивных взаимодействиях при энергии ускорителя ИФВЭ. На рис. 1 приведено расположение основных детекторов установки.

При создании системы сбора данных [10] мы исходили из физических требований к установке, как прибору, способному осуществить за разумное время высокостатистический эксперимент в области физики резонансов с одновременной регистрацией максимального разнообразия конечных состояний [11-15]. Измерения подобного рода, выполненные в условиях одного эксперимента, позволяют минимизировать влияние систематических погрешностей при сравнительном анализе парциальных мод распада резонансов и интерпретации механизмов их рождения.

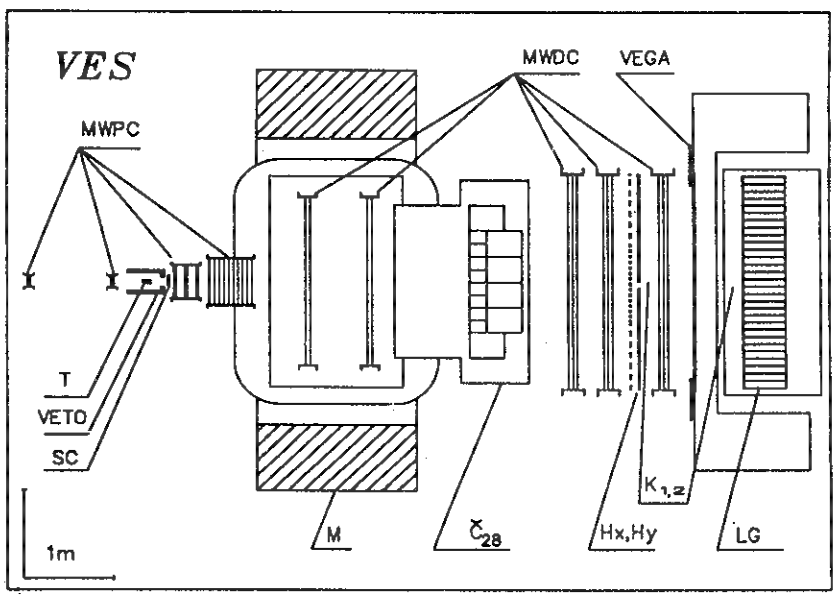

Рис. 1. Расположение детекторов Вершинного спектрометра.

Анализ использовавшихся в то время магистрально-модульных систем (КАМАК, ВЕКТОР-СУММА) показал, что они не удовлетворяют по своим скоростным качествам поставленным требованиям. Характерные времена регистрации событий с помощью этих систем составляли бы десятки миллисекунд. Даже после известных модификаций эти времена могли бы быть уменьшены не более чем в несколько раз.

Было ясно, что необходима разработка новой магистрально-модульной системы с использованием ЭСЛ технологии, способной в десятки раз повысить производительность установки. Развивавшаяся в то время система ФАСТБАС была сильно усложнена из-за ориентации на многопроцессорное использование. Ее использование при создании массовой регистрирующей электроники не могло быть оправдано по экономическим соображениям.

Требовалась относительно недорогая, надежная и быстрая система. В качестве основы нами была выбрана разработка Лаборатории электроники ОЭА ИФВЭ — БУШНИН-БАС. Предложенная её идеологом Ю.Б.Бушниным, она включала целый ряд оригинальных идей, позволявших при последовательном подходе к реализации системы удовлетворить требованиям эксперимента на установке ВЕС. Трудность сделанно-

го выбора состояла ещё в том, что большинство модулей в стандарте БУШНИН-БАС, да и сами каркасы находились либо в стадии макетных испытаний, либо в стадии проектирования. Конкретизация многих элементов системы шла одновременно с созданием установки BEC. В результате развития разработка приобрела черты функциональной завершенности и была названа **Многоканальная информационная скоростная система (МИСС)** [16].

Стоит отметить, что объективная потребность в подобных разработках нашла отражение и в других экспериментальных группах зарубежных физических центров, например Nevis Transport System Колумбийского университета [17] или Data Driven Processor Массачусетского университета [17].

К настоящему времени в системе МИСС создано свыше шестидесяти функциональных модулей, позволяющих строить разветвленную многоуровневую систему сбора данных с большими возможностями управления их потоками.

При создании установки BEC были последовательно реализованы основные преимущества МИСС:

— высокая скорость параллельного ввода данных с детекторов,

— средства обработки данных, интегрированные в систему сбора,

— программно-управляемое сегментирование каркасов, что позволяет гибко наращивать производительность системы,

— возможность многоуровневого триггерного отбора,

— эффективное разравнивание потока случайных событий благодаря использованию модулей буферной памяти.

Следует отметить, что система МИСС сама развивалась в значительной мере исходя из требований эксперимента, что и предопределило эффективность ее разработок. В то же время в качестве средств управления и медленного контроля, а также частично для организации наносекундной логики нами использовались модули в системе ВЕКТОР-СУММА и другие разработки, такие как, например, расширение магистрали Q-bus ЭВМ "Электроника-60".

Настоящая работа посвящена описанию созданной системы, а также анализу опыта работы с МИСС на установке BEC в течение нескольких продолжительных сеансов на ускорителе ИФВЭ.

1. Структура системы сбора данных установки ВЕС

С точки зрения системы сбора данных, архитектура установки ВЕС выглядит как пять самостоятельных подсистем для разных групп детекторов. Точнее говоря, подсистемы объединяют однотипную регистрирующую электронику, соответствующую методу преобразования детектируемых сигналов в цифровой код.

Разделение на подсистемы, управляемые **Аппаратными ЭВМ**, позволило подготовку и проверку детекторов и электроники перед экспозицией проводить автономно и независимо. Во время экспозицией параллельная настройка и калибровка детекторов позволили экономить ускорительное время для набора статистики. Кроме того, между циклами ускорителя аппаратные ЭВМ непрерывно выполняют необходимое тестирование, контролируя работу аппаратуры.

Подсистемы объединяли следующие детекторы:

— сцинтилляционный годоскоп, триггерные пропорциональные камеры и решающие устройства триггеров первого и второго уровней;

— пропорциональные камеры первичного пучка и магнитного спектрометра;

— систему минидрейфовых и больших дрейфовых камер магнитного спектрометра;

— электромагнитной калориметр установки ВЕС, пороговые черенковские счетчики и охранные системы, окружающие мишень и гамма-спектрометр;

— вершинные прецизионные трековые детекторы.

На рис. 2 приведена структурная схема ССД установки. В табл. 1 даны характеристики детекторов установки ВЕС с точки зрения системы сбора данных. Последняя подсистема прецизионной реконструкции вершины взаимодействия в настоящее время находится на стадии испытания.

2. Регистрирующая электроника

При построении регистрирующей электроники на базе МИСС основной структурной единицей является **сектор** — группа модулей с общей ЭСЛ магистралью. Сектор может занимать либо одну треть каркаса (до 8 модулей), либо половину (до 12 модулей), или весь каркас (до 24 модулей), который по механическим размерам близок к стандарту ВЕКТОР-СУММА. Количество секторов в каркасе задается при его изготовлении, исходя из требований решаемой задачи. Задний кросс сектора выполнен

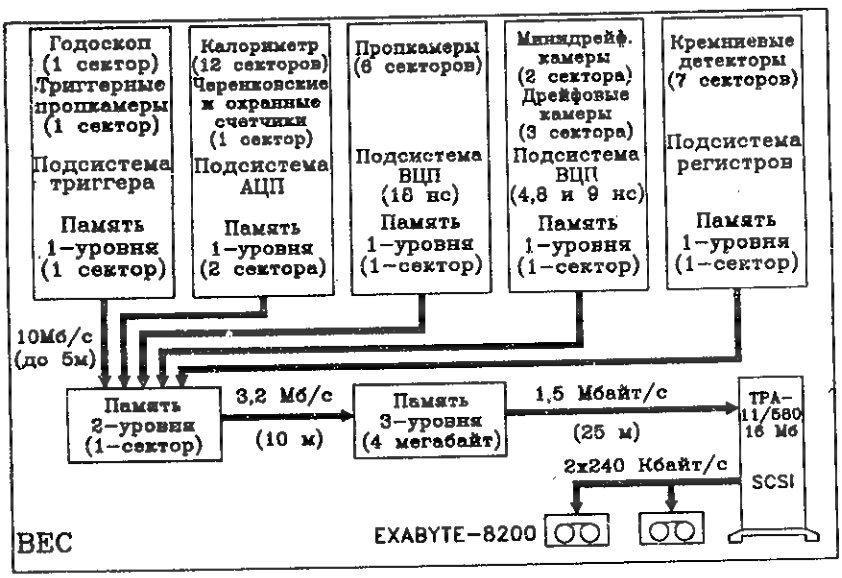

Рис. 2. Структурная схема системы сбора данных установки BEC.

Таблица 1. Характеристики детекторов установки BEC

Детектор	Количество детекторов	Число каналов	Измеряемая величина
Годоскоп,	2	208	Координата счетчика/32 мм
пропкамеры	4	448	Координата проволоки/2 мм
Пропкамеры	20	3840	Время дрейфа/18 нс, коорд.проволоки/2 мм
Минидрейфовые камеры	4	1260	Время дрейфа/5 нс, коорд.проволоки/3 мм
Дрейфовые камеры	9	1320	Время дрейфа/10 нс, коорд.проволоки/8 мм
γ-калориметр	1	1535	Заряд/0,25 пКулон, коорд.ячейки/43 мм
Черенк.счетчики	4	31	Заряд/0,25 пКулон, положение ячейки/16 см
Охранн. система	3	28	Заряд/0,25 пКулон, номер счетчика
Si-стрипы	8	5120	Положение стрипа/25 мкм
Микродрейфовые трубки	24	1512	Время дрейфа/0,5 нс, номер проволоки/1,7 мм

в виде нескольких трехслойных печатных плат, соединенных между собой активными перемычками, с помощью которых несколько секторов в каркасе можно программно управляемым образом объединять в общее адресуемое пространство.

Магистраль сектора позволяет собирать данные со скоростью до 25 Мбайт/с с простым протоколом типа "handshake" под управлением либо каркасного контроллера, либо автономного контроллера сектора. Последовательность чтения модулей определяется их относительным расположением в цепочке опроса, тогда как адрес модуля (его "имя") задается переключателями на нем самом. Такой метод доступа существенно упрощает электронную реализацию сбора распределенных данных с малой ($5 \div 15\%$) долей сработавших каналов, однако существенно повышает требования к надежности системы.

Каждый сектор системы сбора данных может работать в двух основных режимах: *Автономная работа* и *Контроль*. В режиме *Автономной работы* данные из модулей регистрирующей электроники или памяти через **автономные контроллеры**, стоящие в каждом секторе, передаются в память более высокого уровня. Автономные контроллеры также вычитают пьедесталы (в секторах АЦП), подавляют нулевую информацию и форматируют данные. Режим *Контроль* используется для тестирования и отладки с помощью **контроллеров сектора**, подключенных к аппаратным ЭВМ "Электроника-60". Кроме того, в секторах АЦП этот режим используется для считывания и записи в автономные контроллеры пьедестальной информации в промежутках между сбросами ускорителя.

В табл. 2 приведены основные характеристики модулей регистрирующей электроники в системе МИСС.

Таблица 2. Характеристики модулей регистрирующей электроники МИСС

Назначение и тип модуля	Число каналов	Диапазон кодировки	Модулей в секторе	Время опроса	Тип автономн. контроллера
	Годоскоп, триггерные камеры, микрострипы				
Регистры ЛЭ-39	32	1 бит	8/20	3,5 мкс	ЛЭ-38М
	Пропорциональные камеры				
ВЦП ЛЭ-15	64	4 бита	10	4,3-7,6 мкс	ЛЭ-30
	Минидрейфовые и большие дрейфовые камеры				
ВЦП ЛЭ-37	32	5 бит	20	5,5-7,6 мкс	ЛЭ-38
	Гамма-калориметр, черенковские и охранные счетчики				
АЦП ЛЭ-14/19	24/16	12 бит	10	40-70 мкс	ЛЭ-24М

Опрос модулей стартует по приходу триггерного сигнала в автономный контроллер сектора, который выполняет следующую последовательность действий [19]:

— наращивает счетчик номера события,
— выставляет разрешение на занятие магистрали опроса,
— получает запрос на обслуживание модуля, содержащего данные,
— синхронизирует опрос модулей,
— подавляет незначащую (нулевую) информацию,
— подсчитывает количество ненулевых слов,
— передает на следующий уровень оцифрованные данные,
— формирует на все время опроса потенциал *ЗАНЯТО*,
— в конце опроса события формирует и передает два контрольных слова, содержащих номер события, число слов и признак конца события.

Для передачи данных между секторами используется кабельный протокол МИСС-М, позволяющий передавать 16-битные данные по гибкому кабелю длиной до 10 метров со скоростью до 10 Мбайт/с.

На рис. 3 изображена типичная структура подсистемы регистрирующей электроники МИСС. Данные каждой подсистемы объединяются в отдельном секторе памяти первого уровня, причем каждому сектору с автономным контроллером соответствует свой модуль памяти первого уровня. В случае большого количества секторов одного типа, как, например, в подсистеме АЦП [20, 21], где данные собираются одновременно с 12 секторов, создаются два или более секторов памяти первого уровня.

Опыт эксплуатации системы показал ее достаточную надежность и управляемость. Вероятность сбоев была пренебрежимо мала, хотя и заметно возрастала при переходе к предельным условиям, оставаясь на уровне долей процента от полного числа событий. К сожалению, первые разработки МИСС страдали из-за отсутствия средств индикации и диагностики. Модули более поздних разработок снабжаются светодиодами, сигнализирующими о наличии информации в данном модуле. Это простое усовершенствование позволяет визуально идентифицировать неисправный модуль. Опыт показывает, что, как правило, после замены нескольких "капризных" модулей система становится вполне работоспособной.

Высокая степень параллелизма в работе в сочетании с простотой конфигурации системы позволяет добиваться высочайшей производительности системы сбора данных при относительно умеренных затратах.

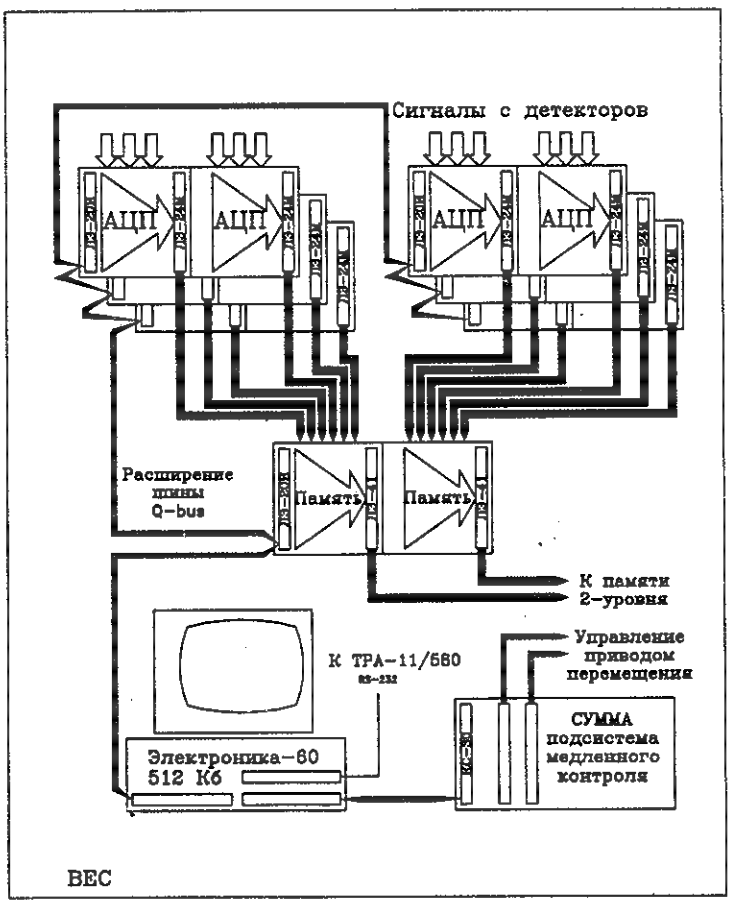

Рис. 3. Схема подсистемы аналогово-цифрового преобразования.

3. Триггерная электроника и управление потоками данных

Выработка триггерного решения в установке BEC нацелена на выделение случаев взаимодействия частицы первичного пучка в мишени с образованием двух и более заряженных частиц в конечном состоянии. Это сравнительно мягкое триггерное условие накладывает жесткие требования к чистоте и эффективности триггера. Основным фоном здесь являются случайные совпадения двух частиц в первичном пучке, либо взаимодействия пучковой частицы вне мишени.

Наша стратегия организации триггера основана на трехуровневом последовательном отборе событий:

- $\mathbf{T}^0$ — триггер нулевого уровня использует комбинацию сигналов сцинтилляционных счётчиков, требуя одну частицу в первичном пучке и ее выбывание из него за мишенью, положительное решение стробирует регистры годоскопа;
- $\mathbf{T}^1$ — триггер первого уровня анализирует множественность заряженных частиц в годоскопе, его положительное решение стробирует и запускает считывание всей регистрирующей электроники, а отрицательное — очищает содержимое годоскопических регистров;
- $\mathbf{T}^2$ — триггер второго уровня анализирует множественность в пропорциональных камерах непосредственно перед и за мишенью, положительным решением разрешается передача данных в памяти второго уровня, а отрицательным — исключается оцифрованное событие из памяти первого уровня.

Каждый из триггеров работает различное время и на разной частоте, доводя в общей сложности долю полностью реконструируемых событий из общего числа, записываемых на магнитную ленту, до $70 \div 80$ процентов. В табл. 3 приводятся данные по числу каналов, используемых в каждом из триггеров, время для принятия решения, частота работы и уровень подавления. Распределение триггерного решения по разным уровням позволило свести общую долю мертвого времени системы сбора данных до $10 \div 15$ процентов при темпе приема полезных событий $3 \div 4$ тыс./с.

Триггер нулевого уровня выполнен в виде набора специализированных логических модулей на базе быстрых ЭСЛ микросхем. После усиления и формировки сигналы сцинтилляционных счетчиков вырабатывали решение:

$$\mathbf{T}^0 = S_1 S_2 S_3 S_4 \cdot \overline{(K_1 \cdot K_2)} \cdot \overline{A_{10}} \cdot \overline{A_{11}} \cdot (S_{10} \geq 2\,mips) \cdot (S_{11} \geq 2\,mips),$$

где

S_{1-4}	—	апертурные счетчики, выделяющие пучок,
$\overline{(K_1 \cdot K_2)}$	—	телескоп из двух счетчиков, выключающий непровзаимодействовавшие пучковые частицы,
$\overline{A_{10}}, \overline{A_{11}}$	— S	VETO-счетчик с отверстием, выключающий гало первичного пучка,
S_{10}, S_{11}	—	сцинтилляционный счетчик за мишенью, требующий сигнала двукратной ионизации.

Таблица 3. Характеристики триггера установки BEC

	$\mathbf{T^0}$	$\mathbf{T^1}$	$\mathbf{T^2}$
Число каналов детекторов	19	208	448
Время принятия решения	30 нс	95 нс	500 нс
Частота работы триггера	$\sim 10^6$ Гц	$\sim 10^5$ Гц	$\sim 10^4$ Гц
Уровень подавления	$0,07 \div 0,12$	$0,05 \div 0,10$	$0,7 \div 0,85$

Триггер первого уровня вырабатывал положительное решение при условии, что множественность срабатывания счетчиков годоскопа в обеих H_x- и H_y-плоскостях отличается не более чем на единицу в каждом из четырех квадрантов, на которые разбиты плоскости. Кроме того, суммарная множественность в обеих плоскостях должна была находиться в заданных пределах. Чтобы исключить возможное искажение триггера из-за срабатывания соседних элементов годоскопа, вызванных одной частицей (например, из-за δ-электронов), нами использовалась логика кластеризации, т.е. n последовательно сработавшим элементам годоскопа приписывалась множественность

$$n_{кл} = \frac{n+1}{2}.$$

Положительное решение $\mathbf{T^1}$ блокировалось сигналом VETO охранной системы вокруг мишени, позволяя тем самым выделять процессы эксклюзивного рождения, гарантированно регистрируемых апертурой установки. Специализированный модуль, анализирующий множественность годоскопа и сигнал VETO, выдавал одно из двух взаимоисключающих решений: положительное решение, которое после формировки по длительности использовалось для старта процедуры оцифровки и блокировки триггера $\mathbf{T^0}$, либо отрицательное — для быстрого сброса содержимого регистров годоскопа и подготовки его к следующему событию.

Триггер второго уровня использовал информацию о множественности срабатывания от четырех плоскостей пропорциональных камер: двух — расположенных перед мишенью (U и V), а двух — за ней (Y_1 и Y_2). Условие положительного решения триггера T^2, реализованного на трех модулях ЛЭ-43 и 14 регистрах ЛЭ-39, определялось пределами, ограничивающими множественности в плоскостях триггерных пропорциональных камер при условии их приблизительного равенства:

$$T^{2a} = (\min < \sum U < \max) \cdot (\min < \sum V < \max) \cdot (|\sum U - \sum V| < 2),$$

$$T^{2b} = (min < \sum Y_1 < max) \cdot (min < \sum Y_2 < max) \cdot (|\sum Y_1 - \sum Y_2| < 2),$$

$$T^{2c} = Min < (\sum Y_1 + \sum Y_2) < Max.$$

Окончательное решение определялось выражением

$$\mathrm{T}^2 = (T^{2a} \cdot T^{2b}) \oplus (T^{2a} \cdot T^{2c}).$$

После положительного решения T^1 автономные контроллеры нулевого уровня передают оцифрованные данные в модули **памяти первого уровня**. По завершении этого процесса можно либо отказаться от последнего принятого события, либо сохранить его для последующей передачи на верхний уровень. Это позволяет включать в решение триггер второго уровня, вырабатываемый в течение нескольких микросекунд.

По пришествии положительного решения T^2 события вычитываются автономным контроллером сектора памяти первого уровня ЛЭ-41 в модули **памяти второго уровня**. В качестве памяти первого и второго уровней используются ЛЭ-33 (емкостью 512 байт и временем записи менее 80 нс) либо ЛЭ-56 (4096 байт, 200÷400 нс).

Структура события на уровне подсистем формируется в автономных контроллерах первого уровня. Каждый автономный контроллер вырабатывает свою последовательность контрольных слов, подсчитывая количество переданной информации. Получаемая в результате структура вложенных друг в друга, хорошо детерминированных блоков данных обеспечивает с некоторой избыточностью однозначную интерпретацию событий и перекрестную проверку структуры данных с целью выявления различного типа сбоев в работе большой системы.

Окончательное объединение всех подсистем осуществляет автономный контроллер памятей второго уровня ЛЭ-41, который передаёт данные в специальную буферную **память третьего уровня** объёмом 4 Мбайт и скоростью записи более 3 Мбайт/с.

При рабочей загрузке детекторов длина события составляет $0,6 \div 0,8$ Кбайт и редко превосходит 1 Кбайт. С учётом неравномерного объёма информации, поступающей от разных подсистем (АЦП дают около половины данных) суммарная глубина памятей первого и второго уровня примерно соответствует 20 событиям. Но реально в системе сбора данных действует техническое ограничение на буферизацию не более 15 событий, определяемое глубиной реверсивного счетчика числа событий. Простейшие оценки показывают, что пуассоновский поток событий даже при глубине буферизации в 4 события позволяет разровнять информационный поток на $90 \div 95\%$, а в нашем случае данные в память третьего уровня поступают практически равномерно.

Важным элементом архитектуры всей системы сбора данных является правильная логика взаимной блокировки подсистем в случае переполнения буферных объемов, либо зависания одной из них. В модулях памяти первого и второго уровней она обеспечена жестким требованием наличия заданной последовательности контрольных слов в каждом событии, даже не содержащем информации. В противном случае передача данных приостанавливается. В автономных контроллерах низшего уровня, занятых оцифровкой, во время работы вырабатываются внешние сигналы *ЗАНЯТО*, которые с помощью модулей ЛЭ-53 объединяются по подсистемам, образуя совокупность сигналов *ЗАНЯТО* для каждой подсистемы. Последние объединяются в общий сигнал *ЗАНЯТО* на аналогичном модуле ЛЭ-53, который запускает таймер продолжительности занятости. Общий сигнал *ЗАНЯТО* блокирует выдачу триггера $\mathbf{T^0}$, приостанавливая регистрацию новых событий.

Если в течение заданного времени (обычно $\sim 1 \div 2$ мс) общий сигнал *ЗАНЯТО* не будет снят, то ЛЭ-53 верхнего уровня вырабатывает импульс *TIME-OUT*, приводящий к общему сбросу всей системы в исходное состояние с потерей информации, не переданной к этому моменту в память третьего уровня. Подобная логика работы предотвращает продолжительные зависания системы при случайных сбоях в протоколах обмена данных с минимальными потерями. Потери по этой причине на установке BEC не превышали долей процента от общего числа событий.

Контроль за количеством событий в системе памяти первого и второго уровней осуществлял специально разработанный реверсивный счетчик, который оперативно мог блокировать триггер при превышении заданного порога.

Сразу после окончания работы всех автономных контроллеров нулевого уровня (т.е. после записи события в памяти первого уровня) общий

сигнал *ЗАНЯТО* снимается, и может начаться прием следующего события. Таким образом, мёртвое время системы определяется наибольшим из мёртвых времён подсистем. В нашем случае всегда наибольшее время (в среднем около $50 \div 70$ мкс) даёт подсистема АЦП. Среднее время вычитывания события из памяти второго уровня составляет примерно 250 мкс, тем самым практически непрерывная скорость системы сбора данных ограничена величиной около 4000 соб/с. В табл. 4 приведен список модулей электроники установки BEC.

4. Управление системой сбора данных аппаратными ЭВМ

Программный доступ к секторам МИСС осуществляется посредством контроллера сектора ЛЭ-20И. Расширение шины Q-bus Аппаратной ЭВМ, реализованное в виде кабельного сегмента, охватывает шлейфом все каркасы управляемой подсистемы. Каждый контроллер сектора ЛЭ-20И транслирует адресованные ему коды шины в команды каркаса МИСС. Учитывая то обстоятельство, что при наличии нескольких секторов в каркасе их можно оперативно объединять в один сектор, вполне достаточно одного контроллера сектора ЛЭ-20И на каркас. Во время вывода пучка из ускорителя, когда темп сбора данных является решающим фактором, каркас переключается в режим *Автономная работа* с независимыми, параллельно работающими секторами. Между циклами ускорителя аппаратная ЭВМ переводит каркас в односекторный режим *Контроль* для решения задач медленного опроса и калибровки.

Аппаратные ЭВМ типа "Электроника-60" были усовершенствованы дополнительными возможностями:

- платой расширения памяти 0,5 Мбайт, организованной в виде 63 независимых страниц;
- платой интерфейса "Э-60/КС-30" для доступа к контроллеру магистрали ветви системы СУММА по программному каналу;
- платой расширения магистрали Q-bus ЭВМ "Электроника-60" для доступа к модулям ЛЭ-20И системы МИСС. Расширение магистрали выполнено в виде плоского многожильного кабеля длиной до 15 м и способно шлейфом охватить до 15 контроллеров каркаса МИСС.
- платой терминального интерфейса типа RS-232 для подключения монитора и связи с базовой ЭВМ ТРА-11/580,
- компактной операционной системой QUASIC-2.

Таблица 4. Электронные модули установки BEC

Модуль	Система	Всего	Разработчик	Характеристики
БПС*	СУММА	1	Вишневский	Блок перекрёстных совпадений
УФ-4М*	СУММА	2	Вишневский	4-канальный усил.-формирователь
Ф-6*	СУММА	4	Вишневский	6-кан. формир. с управл.порогом
БРЗВ-2*	СУММА	2	Вишневский	Блок задержки-выдержки
А2-12*	СУММА	1	Вишневский	Блок антисовпадений
СТБ*	СУММА	1	Вишневский	Строб-блок(триг.нулевого уровня)
СРП*	СУММА	1	Вишневский	Счетчик реверсивный с порогом
РУ-6*	МИСС	3	Джелядин	3 управляемых разветв. на 6 вых.
ЛЭ-01	МИСС	2	Исаев	Активный экстендер
ЛЭ-09	МИСС	5	Шаланда	Индикатор магистрали МИСС
ЛЭ-14	Спец	70	Зимин	24-кан. преобр.заряд-время
ЛЭ-15М	МИСС	54	Гончаров	64-кан. ВЦП (4 бита, 100 МГц)
ЛЭ-16	МИСС	4	Исаев	Такт.генер. для ВЦП ЛЭ-15/37
ЛЭ-19	МИСС	104	Зимин	16-кан. ВЦП (12 бит, 75 МГц)
ЛЭ-20С	СУММА	1	Якимчук	Контр. магистрали СУММА
ЛЭ-20И	МИСС	28	Якимчук	Контр. магистрали МИСС
ЛЭ-24М	МИСС	12	Солдатов	Автоном. контр. АЦП ЛЭ-14/ЛЭ-19
ЛЭ-26М	МИСС	32	Исаев	Разветв. сигн. NIM (до 150 МГц)
ЛЭ-30М	МИСС	6	Гончаров	Автоном. контр. ВЦП ЛЭ-15
ЛЭ-33	МИСС	19	Ваньёв	Память (256 сл. × 16 бит)
ЛЭ-35	СУММА	1	Якимчук	Приёмник сигн. магистр. МИСС-М
ЛЭ-36	СУММА	1	Якимчук	Передат. сигн. магистр. МИСС-М
ЛЭ-37	МИСС	92	Исаев	32-канальный ВЦП (5 бит,200 МГц)
ЛЭ-38	МИСС	11	Конопляников	Автономный контроллер ЛЭ-39/37
ЛЭ-39	МИСС	83	Медовиков	32-кан. регистр с выходом множ.
ЛЭ-41	МИСС	7	Ваньёв	Автоном. контр. памятей ЛЭ-33/56
ЛЭ-43	МИСС	4	Медовиков	Триггерная функция 32 входов
ЛЭ-48	МИСС	11	Конопляников	Вспомогательный модуль
ЛЭ-52	МИСС	5	Ваньёв	3-секционный таймер
ЛЭ-53	МИСС	9	Ваньёв	12-входовой сумматор BUSY
ЛЭ-56	МИСС	16	Якимчук	Память (2048 сл. × 16 бит)
У-XY	СУММА	2	Чернявский	Управл. перемещ. γ-спектр.
У-XYϕ	СУММА	3	Чернявский	Управл. высоковольтн. регулятором
КПРК*	МИСС	1	Матвеев	Конвертер протокола
РПФЗ*	МИСС	1	Матвеев	Разветвитель потока событий и формирователь заголовка
Б-4М*	МИСС	2	Матвеев	Буферная память 4 мегабайт
КПУ*	МИСС	1	Матвеев	Канал последоват. управл.

*)Макетное исполнение.

В систему QUASIC-2 были встроены команды доступа к модулям МИСС и страницам расширения памяти, а также существенно усовершенствованы редакторские возможности для оперативной модификации исполняемых программ. Высокая гибкость и оперативность достигались возможностью использования старших страниц расширения памяти в качестве электронного диска для хранения различных версий программ. Начальная загрузка выполнялась по линии связи с базовой ЭВМ. Аппаратные ЭВМ не имели в своем составе дисковых накопителей, что ограничивало их возможности, однако и при столь скромных ресурсах они представляли собой мощное средство управления системой сбора информации, полностью подтвердив преимущества концепции системы с распределенными вычислительными средствами.

В качестве примера рассмотрим перечень задач, решавшихся аппаратной ЭВМ, управлявшей подсистемой аналого-цифровых преобразователей:

- инициализация системы МИСС;
- инициализация каркаса СУММА;
- обработка сигналов НАЧАЛО ЦИКЛА и КОНЕЦ ЦИКЛА для синхронизации работы с циклами ускорителя;
- обмен информационными блоками с базовой ЭВМ методом почтового ящика;
- управление перемещением гамма-калориметра во время калибровочных экспозиций, исполняющие модули которого располагались в каркасе СУММА;
- управление роботом-манипулятором 2000 канальной системы регулировки высоковольтным питанием фотоумножителей калориметра;
- проверка коммутации кабельных соединений калориметра и тестирование около 1600 каналов АЦП перед экспозицией;
- тестирование автономных контроллеров АЦП, модулей памяти первого уровня и системы калибровки гамма-спектрометра светодиодами;
- выполнение всего комплекса задач по считыванию пьедесталов, их накоплению, хранению, усреднению по нескольким циклам и записи в память автономных контроллеров секторов АЦП во время экспозиции;
- контроль за рабочим состоянием всей подсистемы, включение в экстренных случаях звуковой аварийной сигнализации и визуализация справочной информации на мониторе ЭВМ.

5. Буферная память третьего уровня и связь с базовой ЭВМ

Событие, поступавшее от всех подсистем, объединялось в секторе памяти второго уровня. Этот сектор управлялся автономным контроллером ЛЭ-41 (АК2), который работал в нашем случае в режиме безусловной передачи всех принятых событий. В принципе, при наличии еще одного уровня триггера возможен дополнительный отбор событий и здесь. Рядом с АК2 в том же секторе МИСС располагался модуль **Конвертор**, который преобразовывал выходы АК2 в парафазные ЭСЛ сигналы, пригодные для работы на длинную ($20 \div 30$ м) линию передачи данных. Кроме того, **Конвертор** имел в своём составе промежуточный регистр, который позволял совмещать по времени циклы контроллера АК2 с работой на длинную линию по протоколу "handshake". На конце этой линии располагался модуль буферной **памяти третьего уровня**, который окончательно завершал построение события, выполняя следующие функции:

- для каждого события он аппаратно формировал заголовок из 6 байт, в котором содержался 20-битный номер события;
- для каждого цикла аппаратно формировался заголовок из 18 байт, включавший:
  - *а*) число событий в цикле (16 бит),
  - *б*) текущий номер цикла (16 бит),
  - *в*) количество данных в цикле в байтах (23 бита),
  - *г*) номер эксперимента или измерения (8 бит), который заносился программно из базовой ЭВМ;
- отформатированные данные накапливались в 4 мегабайтной памяти, а также могли быть распределены трем другим потребителям, причем в различных режимах подтверждения и синхронизации.

Включение в систему последней возможности позволило наряду с базовой разработкой приема данных через канал MASSBUS ЭВМ ТРА-11/580 и записи их на два накопителя EXABYTE-8200 по интерфейсу SCSI, вести также перспективные исследования по подключению системы FASTBUS [22] с целью организации триггера третьего уровня, либо рабочих станций типа VAX для усиления оперативного on-line контроля за поступающими данными.

Наличие промежуточного буфера между ССД и ЭВМ позволило эффективно использовать ресурсы базовой ЭВМ и не ограничивать скоростные

возможности МИСС. Так, запись 4 Мбайт данных в **память третьего уровня** занимала $\sim 1,2$ с, тогда как их передача в ЭВМ ~ 3 с.

Принцип независимой отладки подсистем был реализован и для **памяти третьего уровня**. Был разработан и изготовлен независимый тестовый канал для записи данных в памяти второго уровня, которые имитировали реальный поток данных из ССД в базовую ЭВМ.

Опыт нашей работы показал, что наличие подобных средств независимого тестирования подсистем, особенно при анализе причин редких случайных сбоев, оказывается весьма эффективным средством отладки всей системы сбора данных в целом. Более того, неотъемлемой частью современной ССД должны быть предусмотренные ещё на ранних этапах дизайна аппаратно-программные средства проверки.

Не вызывает сомнения, что многие идеи, реализованные с системе БУШНИН-БАС, отнюдь не исчерпали себя, а найдут своё дальнейшее воплощение в будущих разработках.

Заключение

На установке ВЕС создана современная система сбора данных на базе развитого в ИФВЭ стандарта магистрально-модульной электроники — БУШНИН-БАС (МИСС). Впервые ССД была последовательно реализована исходя из требований физического эксперимента, а многие модули и подсистемы регистрирующей электроники были разработаны специально для конкретной установки.

Система обладает способностью регистрировать свыше 30 млн. событий в сутки многочастичных продуктов взаимодействий, с ее помощью записано на магнитные ленты более полумиллиарда случаев рождения резонансных состояний на 70 ГэВ ускорителе ИФВЭ.

В процессе создания и эксплуатации системы была развита и практически испытана система распределенных вычислительных средств (так называемые аппаратные ЭВМ), позволившая резко повысить эффективность использования ускорительного времени как на этапе подготовки и настройки детекторов, так и во время контроля за ходом набора статистики.

Развита многоуровневая логика выработки триггерных решений, интегрированная с многоканальной регистрирующей электроникой, что позволило приблизить к практическому пределу долю полностью реконструируемых событий, записываемых на магнитную ленту.

Наш опыт показал исключительную плодотворность принятого подхода для будущих приложений, а именно, — создание системы сбора данных должно исходить из постановки решаемой физической задачи и полностью ей соответствовать.

Список литературы

[1] Битюков С.И. и др. Исследование реакции $\pi^- p \to n\pi^+\pi^-\pi^+\pi^- m\gamma$. (Предложение эксперимента). Материалы НТС ИФВЭ, Протвино, 1985.

[2] Грачев М.И. и др. Система каналов отрицательных частиц с импульсом до 40 ГэВ/с. Препринт ИФВЭ 70-98; Серпухов, 1970. **ЖТФ XLI**, 9, 1812, 1971.

[3] Beladidze G.M., Bityukov S.I. et al. // Phys. Lett. 1991. 268B. P.137.

[4] Beladidze G.M., Bityukov S.I. et al. // Z. Phys. C-Particles and Fields. 1992. 54. P. 235.

[5] Beladidze G.M., Bityukov S.I. et al. // Z. Phys. C-Particles and Fields. 1992. 54. P. 367.

[6] Беладидзе Г.М., Битюков С.И. и др. ЯФ. 1992. Р. 2460.

[7] Beladidze G.M., Bityukov S.I. et al. // Z. Phyz. C-Particles and Fields. 1992. 57. P. 13.

[8] Гребенев В.Н., Джелядин Р.И. и др. Препринт ИФВЭ 93-115, Протвино, 1993.

[9] Guz Yu., Ivanyushenkov Yu. and Kostiuhin V. IHEP preprint 92-10, Protvino, 1992.

[10] Битюков С.И. и др. В кн.: Материалы IV Всесоюзной школы "Автоматизация научных исследований в ядерной физике и астрофизике", Ужгород, 1990, стр. 36

[11] Beladidze G.M., Bityukov S.I. et al. // Phys. Lett. 1993. 313B. P. 276.

[12] Zaitsev A.M., Bityukov S.I. et al. Recent results from VES Detector. Proc. of IV International Conference on Hadron Spectroscopy, College Parc, Univ. of Maryland, USA, 1991, 51.

[13] Gouz Yu.P., Bityukov S.I. et al. Study of the wave with $J^{PC} = 1^{-+}$ in the partial analysis of $\eta'\pi^-, \eta\pi^-, f_1\pi^-$ and $\rho^0\pi^-$ systems produced in π^-N interactions at $p_{\pi^-} = 37GeV/c$. Proc. of the XXIV Int. Conf. on High Energy Physics, Dallas, USA (1992).

[14] Borisov G.V., Bityukov S.I. et al. Study of the wave with $J^{PC} = 1^{-+}$ in the partial analysis of $\eta'\pi^-, \eta\pi^-, f_1\pi^-$ and $\rho^0\pi^-$ systems produced in π^-N interactions at $p_{\pi^-} = 37GeV/c$. Proc. of the Conference Recontre de Moriond, France (1993).

[15] Zaitsev A.M., Bityukov S.I. et al. Latest results from VES facility. Invited talk at Int. Conf. HADRON-93, Como, Italy (1993 to be published).

[16] Бушнин Ю.Б., Ваньев В.С., Гончаров П.И. и др. Препринт ИФВЭ 88-47, Серпухов, 1988.

[17] Crittenden J.A. et al. IEEE Trans.Nucl.Sci.NS-31,1028 (1984).
B.Stern, PhD thesis," A Search for Charmed Particles in 15-28 GeV Neutron-Proton Interactions", Columbia University, Nevis Laboratories, Nevis-266 (1988).

[18] Sippach W. et al. IEEE Trans. Nucl. Sci. **27** (1980) 578; E.P.Hartouni et al. IEEE Trans. Nucl. Sci. **36** (1989) 1480.

[19] Бушнин Ю.Б., Исаев А.Н., Конопляников А.К. Препринт ИФВЭ 88-48, Серпухов, 1988.

[20] Зимин С.А., Солдатов М.М. Препринт ИФВЭ 93-71, Протвино, 1993.

[21] Бушнин Ю.Б., Зимин С.А. Препринт ИФВЭ 93-72, Протвино, 1993.

[22] Говорун В.Н., Екимов А.В., Кипиани К.К. и др. ПТЭ. Т.6, 195, 1993. Препринт ИФВЭ 93-79, Протвино, 1993.

Рукопись поступила 15 сентября 1994 года.

С.И.Битюков и др.
Система сбора данных установки вершинный спектрометр ИФВЭ. (Установка ВЕС).

Оригинал-макет подготовлен с помощью системы LaTeX.
Редактор Н.В.Ежела.

Подписано к печати 20.09.1994 г. Формат 60 × 90/16.
Офсетная печать. Печ.л. 1,18. Уч.-изд.л. 1,41. Тираж 240. Заказ 16.
Индекс 3649. ЛР №020498 06.04.1992.

Институт физики высоких энергий, 142284, Протвино Московской обл.