

RU9506131



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ИФВЭ 95-51
ОЭА

С.В. Лось, А.Н. Сытин, Г.В. Тишин

**АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ И ВЫБОР СТРУКТУРЫ
ЭЛЕКТРОНИКИ СИСТЕМЫ СБОРА ДАННЫХ
ДЕТЕКТОРА БАРС**

Протвино 1995

Аннотация

Лось С.В., Сытин А.Н., Тишин Г.В. Анализ требований и выбор структуры электроники системы сбора данных детектора БАРС: Препринт ИФВЭ 95-51. – Протвино, 1995. – 8 с., 3 рис., библиогр.: 5.

Приведены основные характеристики детектора БАРС, являющегося одним из главных элементов экспериментального комплекса "Меченые нейтрино" ИФВЭ. Описана регистрирующая электроника и режимы ее работы. Проведен анализ требований, предъявляемых к системе сбора данных детектора и обоснована структурная схема ее построения.

Abstract

Los S.V., Sytin A.N., Tishin G.V. Evaluation of Requirements and Choice of the Structure for the BARS Detector Electronics: IHEP Preprint 95-51. – Protvino, 1995. – p. 8, figs. 3, refs.: 5.

Basic features of the liquid argon neutrino detector (BARS), which is one of the main parts of the "tagged neutrinos" experimental setup (IHEP, Protvino) are presented. The detector front-end electronics and its operation are described. The requirements to the data acquisition system and structural solution of its electronics are substantiated.

Введение

В настоящее время в ИФВЭ создана экспериментальная установка — “Комплекс меченых нейтрино” (КМН) [1,2], предназначенная для изучения свойств нейтрино. Кратко идея мечения состоит в следующем: одновременно с обнаружением в нейтринном детекторе взаимодействия нейтрино, образовавшегося в результате распада К-мезона, производится регистрация параметров остальных продуктов распада родительского мезона в детекторах станции мечения. При сопоставлении данных, полученных от детектора и станции мечения, появляется возможность связать взаимодействие в нейтринном детекторе с нейтрино конкретного типа и энергии. Такая методика позволяет повысить точность измерений и улучшить статистическую обеспеченность данных.

Основными элементами комплекса являются: мишень с системой формирования вторичного пучка, распадная труба, станция мечения (сцинтилляционные годоскопы и гамма-спектрометр), мюонный фильтр, два нейтринных детектора и, соответственно, два мюонных спектрометра. Взаимное расположение этих частей установки изображено на рис.1. В качестве нейтринного детектора на установке используется Большой жидкоаргоновый спектрометр (БАРС).

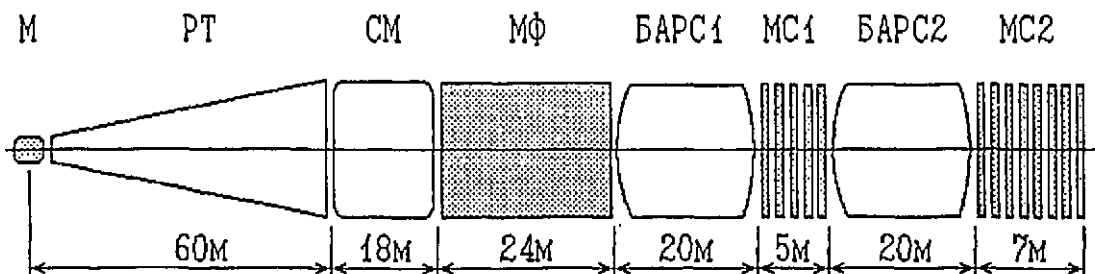


Рис. 1. Взаимное расположение основных частей комплекса “меченые нейтрино” и их примерные размеры. М — мишень; РТ — распадная труба; СМ: станция мечения; МФ: мюонный фильтр; БАРС1/2 — жидкоаргоновый нейтринный детектор; МС1/2 — мюонные спектрометры.

В данной работе приводятся основные характеристики спектрометра и его регистрирующей электроники, описываются условия их работы, а также обосновываются основные принципы, применявшиеся при выборе структуры электроники системы сбора и обработки данных детектора БАРС в рамках проведения экспериментов с "мечеными" нейтрино.

1. Основные характеристики детектора и регистрирующей электроники

Детектор БАРС [3] является крупномасштабным прибором и состоит из двух одинаковых ионизационных камер, расположенных в отдельных криостатах. В качестве активной среды используется жидкий аргон, очищенный до уровня 2-4 ppm электроотрицательных примесей. 13824 сигнальных электрода каждой камеры имеют форму полос ширины 61 мм, различной длины и расположены по 48 в 288 плоскостях. Плоскости электродов разделены на 3 группы для измерения координат X, U и V, для чего электроды в каждой плоскости поочередно повернуты под углами 0; +120 и -120 градусов по отношению к вертикали. Это позволяет избежать неоднозначности при восстановлении двухтрековых событий. Конструктивно вся система электродов разбита на 12 "вагонов", содержащих по 8 плоскостей электродов каждой ориентации.

Для вывода сигналов из детектора используется 12 троек фланцев — от 12 "вагонов" X-, U- и V-координат. Для улучшения пространственного разрешения сигналы от всех электродов выводятся индивидуально. Регистрирующая электроника в виде корзины с усилителями и АЦП расположена непосредственно на фланцах для улучшения отношения сигнал/шум, уменьшения наводок и, что немаловажно, экономии кабеля.

Общий вид криостата с установленными на фланцах каркасами регистрирующей электроники и помещёнными внутрь "вагонами" системы электродов изображён на рис.2. Видно, что регистрирующая электроника одного детектора размещена на площади в $4 \times 18 \text{ м}^2$. Усилители и АЦП выполнены на платах формата $233 \times 220 \text{ мм}$ и называются "8 CHANNEL QDC". Они располагаются в стандартных еврокаркасах высотой 6U с упрощённым протоколом обмена по кросс-плате. В каждом модуле "8 CHANNEL QDC" реализованы 8 каналов электроники (предусилитель, усилитель-формирователь со временем формирования сигнала 2 мкс (в точке максимума), преобразователь напряжение-время и 12-разрядный счётчик со временем доступа к данным 100 нс); полное время преобразования информации в цифровой код 420 мкс. В одном еврокаркасе расположено 24 таких модуля (192 канала). Кроме того, в каждом каркасе предусмотрены места для размещения адаптера связи с электроникой системы сбора данных, модуля — распределителя калибровочных импульсов, а также сумматора аналоговых сигналов, который предполагается использовать для выработки триггера 2-го уровня.

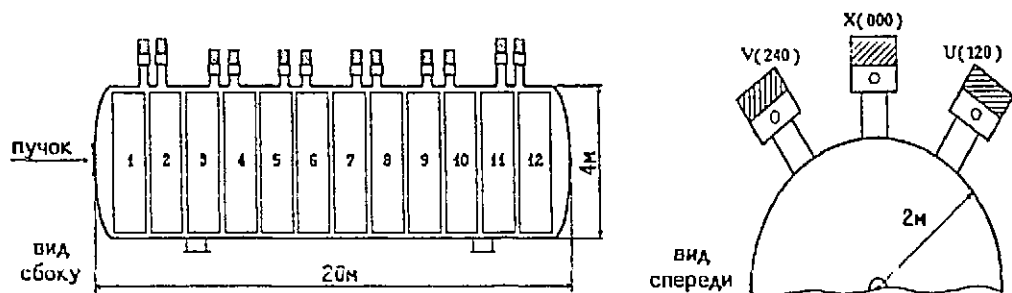


Рис. 2. Криостат детектора БАРС с расположенной на нем регистрирующей электроникой (заштрихована) и размещенными внутри "вагонами" системы электродов (пронумерованы).

2. Задачи системы сбора и ожидаемые потоки данных

К основным задачам, выполняемым системой сбора данных, можно отнести:

- (а) Считывание данных и передачу их в центральную ЭВМ.
- (б) Калибровку электроники детектора.
- (в) Проверку стабильности преобразователей.
- (г) Тестирование цифровой электроники.
- (д) Технический контроль поступающих данных.

В задачу (а) входит максимально быстрое освобождение регистров преобразователей QDC, а также передача данных в центральную ЭВМ для их архивирования. Для эффективной работы установки необходимо создать систему сбора данных с наименьшим мертвым временем, желательно не хуже 10% для всей последовательности преобразование-сбор данных.

В процессе калибровки (б) необходимо определить пьедесталы всех каналов и их наклоны (заряд/отсчёт), а при необходимости провести и более сложную аппроксимацию.

В проверку стабильности преобразователей (в) входит в основном долговременный контроль за неизменностью значений пьедесталов и наклонов.

Задачи (г) и (д) во многом перекрываются, так как работоспособность цифровой электроники практически гарантирует правильность поступающих данных, а контроль за информацией позволяет обнаруживать неисправности в электронике.

В соответствии с оценками, сделанными в предложении эксперимента, основное количество запусков электроники преобразования ионизационных сигналов будет обусловлено фоновыми взаимодействиями космических лучей, состоящих из мю-мезонов и адронов, с рабочим веществом детектора, однако большая часть этих частиц проходит под большими углами к горизонту. С использованием годоскопической системы триггерных сцинтилляционных счётчиков [4], совместно с активной и пассивной защитой от космических лучей, ожидается снизить количество запусков системы до уровня примерно 60 в секунду. При ожидаемой растяжке выводимого

пучка протонов в 1.6 с это составит около 100 триггеров за сброс. Таким образом, получаются следующие потоки и объемы информации (см. табл.1).

Таблица 1. Потоки и объемы данных от детектора БАРС.

| | |
|----------------------------|-------------|
| Ожидаемая частота триггера | 60 Гц |
| Время вывода пучка в канал | 1.6 с |
| Цикл ускорителя | 10 с |
| Поток сырых данных | 1.7 Мбайт/с |
| Объем информации за сброс | 2.7 Мбайт |
| Усредненный поток данных | 270 Кбайт/с |

3. Основные принципы построения системы сбора и обработки данных

Естественно, основное количество данных в табл. 1 — это пьедестальные значения каналов, не затронутых событием в детекторе и, следовательно, не несущих полезной информации. Запись такого объема информации (2.7 Мбайт/сброс) для длительного хранения, даже при условии, что она передана в центральную ЭВМ, не представляется реальной за время оставшееся до следующего сброса ускорителя (8с) и, более того, не является необходимой. Отбрасывание нулевых данных (не превышающих заметно пьедестальных значений) даёт очень хороший результат для детекторов, подобных БАРС, где собственно событие занимает незначительную часть полезного объема детектора.

В нашем случае оценки дают 50-100 сработавших каналов на событие, кроме них надо учесть ещё те каналы, где значения превысили пороговые из-за флуктуаций, связанных с шумами усилителей, а число таких каналов сильно зависит от установленных порогов, которые в свою очередь определяются отношением сигнал/шум. Эти цифры сведены в табл.2.

Таблица 2. Средние объёмы данных, ожидаемые от детектора БАРС после отбрасывания незначущей информации.

| | "Сырые " данные | "Чистая" информация | "Шумящие" каналы при разных порогах (стандартных отклонений) | | | |
|------------------------|-----------------|---------------------|--|----------------|--------------|--------------|
| | | | 1 | 2 | 2.5 | 3 |
| Одно событие (каналов) | 14К | 50-100 | 2.2К | 0.3К | 80 | 19 |
| Всего за сброс (байт) | 2.8М | 20К-40К | 920К- -940К | 150К- -170К | 50К- -70К | 28К- -48К |

Из таблицы видно, что имеет смысл устанавливать пороги в пределах 2.5-3 стандартных отклонений, так как дальнейшее их ограничение не приводит к сколько-нибудь заметному уменьшению числа "шумящих" каналов, но появляется

опасность потерять в эффективности регистрации мюонов. В целом же использование метода выделения значащей информации позволяет уменьшить поток данных от детектора БАРС примерно в 50 раз.

В связи с тем, что полезными являются только события, целиком поместившиеся в одном из детекторов, которые функционируют совершенно независимо (БАРС1 и БАРС2), система сбора данных должна состоять из двух независимых ветвей. Последовательный сбор данных о событии в одном из криостатов, при разумных временах опроса каналов (200 нс — 1 мкс) составит 2.8 — 14 мс на событие, что при 100 триггерах на сброс ускорителя (1.6 с) дает минимум 15% мертвого времени, т.е. возникает необходимость распараллелить процесс вычитывания данных из регистров преобразователей в каждой ветви системы.

Остальные задачи ((в), (г) и (д)), выполняемые в режиме реального времени, по объёму схожи со сбором данных, но для реализации процедур тестирования аппаратуры, контроля поступающих данных и отслеживания стабильности пьедесталов и наклонов требуется использование более сложных алгоритмов, чем при сборе и передаче данных, быстрдействие на этом этапе уже не столь критично.

БАРС является ионизационным детектором, работающим в режиме без усиления сигналов и их измерение требует использования чрезвычайно чувствительных усилителей (сигнал от минимально ионизирующей частицы находится на уровне 3 фКл). В связи с этим требуется особая аккуратность при подключении каркасов с регистрирующей электроникой к системе сбора : адаптер связи должен работать лишь непосредственно в момент передачи данных, а линии связи должны иметь гальваническую развязку. В сочетании с другими мерами это позволит избежать появления “земляных петель” и наводок на усилители от работающей аппаратуры системы сбора данных.

Для того чтобы обеспечить достаточную технологичность системы, простоту ее эксплуатации, возможность легко адаптировать к новым потребностям эксперимента, следует разрабатывать аппаратуру для нее в рамках единого стандарта. Кроме всего прочего, это позволит наиболее широко использовать серийно выпускаемые модули общего назначения.

На основании изложенных выше соображений предлагается система сбора и обработки данных, базирующаяся на стандарте КАМАК. Её структурная схема приведена на рис.3. Основу системы составляют 24 встроенные микроЭВМ ME-230 [5], построенные на основе процессора I8086 с тактовой частотой 5 МГц. В состав микрокомпьютера входит ОЗУ — 128К, ППЗУ — 8К, контроллер ПДП — 2.5 МГц, два последовательных порта и контроллер для обработки внешних прерываний. Время его обращения к каналу каркаса через дополнительный КАМАК-контроллер составляет примерно 20 мкс.

Все микроЭВМ соединены последовательными линиями с инструментальной ЭВМ IBM-PC. По этим линиям производится загрузка подготовленных на ней рабочих и тестовых программ. Под управлением микроЭВМ работает аппаратура, синхронизирующая процесс преобразования сигналов от детектора в регистрирующей электронике, и контроллеры чтения данных.

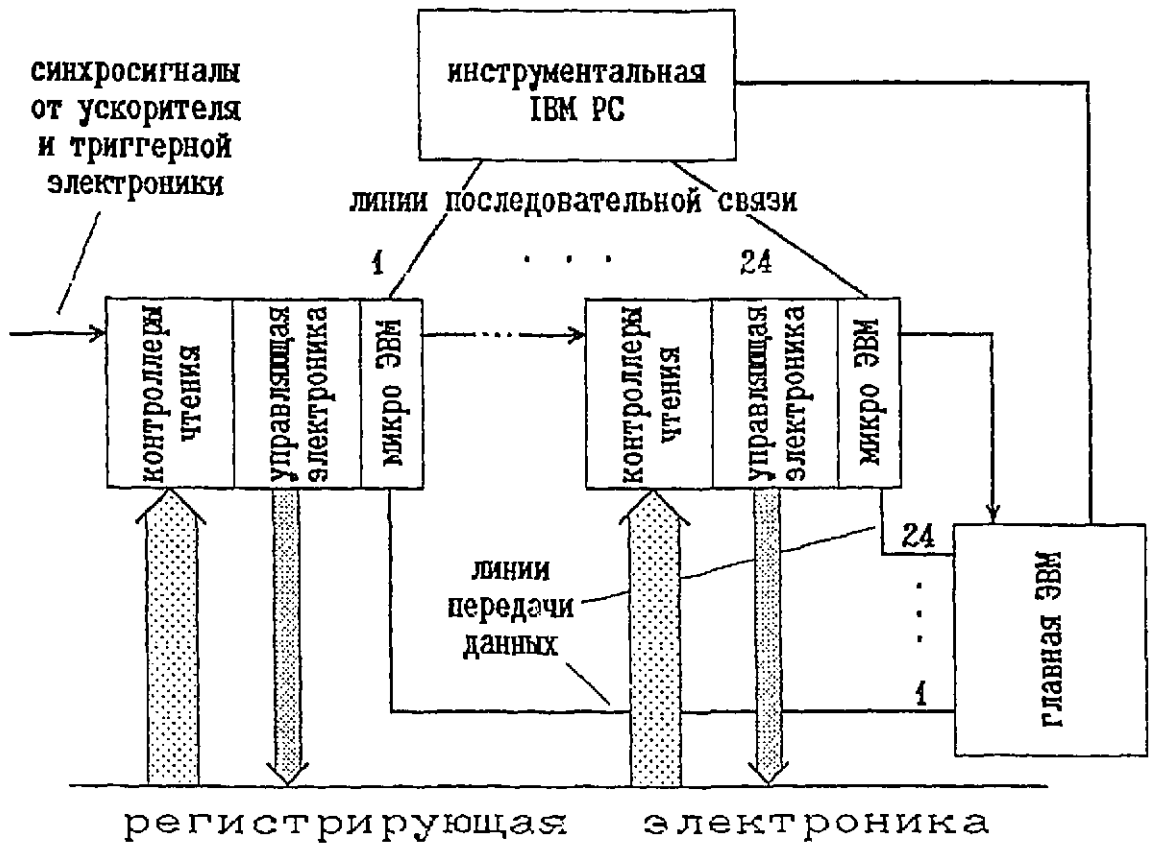


Рис. 3. Структурная схема системы сбора и обработки данных.

Как уже отмечалось ранее, для подключения регистрирующей электроники к системе сбора необходимо использовать гальванически развязанные линии, с помощью которых контроллеры получают информацию, осуществляя ее предварительную обработку. Ужатые таким образом данные накапливаются в памяти микроЭВМ. По окончании каждого спила информация пересылается по специальным линиям передачи данных в главную ЭВМ эксперимента, которая обеспечивает их запись на магнитный носитель, физический контроль поступающих данных и получение всевозможных статистических показателей.

Каждый микрокомпьютер обслуживает по одному "вагону" детектора, в котором 1152 сигнальных электрода. Исходя из данных табл. 1 и учитывая, что половина информации о конкретном взаимодействии оказывается сосредоточенной в одном "вагоне", мы можем оценить ожидаемое время считывания одного события и загрузку микрокомпьютера во время работы системы сбора данных:

$$T = (100/2 + 80/12) \times 2 \times 20 \text{ мкс} = 2300 \text{ мкс};$$

$$M.B. = 100\% / (1 + 16 \text{ мс} / 2300 \text{ мкс}) = 12.5\%.$$

Можно принять эту величину за верхнюю границу, так как 20 мкс обращения микрокомпьютера к каналу каркаса являются приблизительной величиной, не оптимизированной для конкретного случая. Но с другой стороны, и данные, на

которых базируется наша оценка, являются приближительными и могут отличаться как в меньшую, так и в большую сторону в несколько раз. Как показывает опыт, лучше исходить из наихудшего. Поэтому мы считаем, что помимо предобработки данных в контроллерах чтения следует реализовать их буферизацию. Это позволит организовать передачу информации в микрокомпьютеры асинхронно с ее преобразованием в АЦП, что значительно сократит неэффективность системы. Промежуточного буфера на одно событие должно быть вполне достаточно, так как в нашем случае он обеспечивает 7-кратное сокращение мертвого времени системы. Конечно, это утверждение верно только если опрос всех 1152 каналов АЦП занимает существенно меньше времени, чем их пересылка в микрокомпьютер (2.3 мс).

При контроле значений пьедесталов, для того чтобы знать их с точностью до одного отсчета (а шум усилителя составляет в среднем 20 отсчетов), необходимо вычислить среднее арифметическое для каждого из 1152 каналов на базе $20^2 = 400$ измерений. По нашим оценкам эта операция займет около 10 с, что вполне удовлетворительно для их контроля и периодической коррекции.

Заключение

Приведенное описание условий работы нейтринного калориметра в системе детекторов комплекса "Меченые нейтрино" вместе с анализом требований, предъявляемых к системе сбора данных, позволило оценить основные параметры требующейся электроники и определить главные принципы ее построения. К ним относятся: использование распределенной системы встроенных микроЭВМ, параллельного сбора данных по нескольким ветвям, предобработки и ужатия информации, а также ее буферизации в контроллерах. Все это позволило приступить к проработке и созданию ее элементов.

Авторы выражают свою благодарность за поддержку данной работы руководителю эксперимента профессору С.П.Денисову, а также всем сотрудникам коллаборации за полезные обсуждения на разных стадиях выполнения работы.

Список литературы

- [1] Денисов С.П. Пучки меченых нейтрино - новый шаг в методике нейтринных исследований / Текст лекций. — М.: МИФИ, 1984.
- [2] Аммосов В.В. и др. Экспериментальные исследования с пучком меченых нейтрино на ускорителе ИФВЭ (Предложение эксперимента СЕРП-Е-152). — Протвино, 1985.
- [3] Sergiampietri F. BARS, the liquid argon detector-target for tagged neutrino beams at the IHEP of Serpukhov. — In: The proceed. of the Fourth Intern. Conference on Calorimetry in High Energy Physics. / Ed. A.Menzione, A.Scribano; World Scientific, 1994. P.357.
- [4] Беликов С.В. и др. Сцинтилляционная триггерная система жидкоаргонового нейтринного детектора. 1. Конструкция.: Препринт ИФВЭ 92-160. — Протвино, 1992.
- [5] Говорун В.Н., Горбунов Н.В., Ермолин Ю.В. и др. Микро-ЭВМ и управляющие модули на базе микропроцессорной серии K1810: Препринт ИФВЭ 86-16. — Серпухов, 1986.

Рукопись поступила 16 марта 1995 г.

С.В.Лось и др.

Анализ требований и выбор структуры электроники системы сбора данных детектора БАРС.

Оригинал-макет подготовлен с помощью системы \LaTeX .

Редактор Н.В.Ежеда.

| | | | |
|--------------------|--------------|------------|-----------------|
| Подписано к печати | 17.03.95 г. | Формат | 60 x 84/8. |
| Офсетная печать. | Печ.л. 0,8: | Уч.-изд.л. | 1,0. Тираж 180. |
| Заказ 220. | Индекс 3649. | ЛР №020498 | 06.04.1992. |

Институт физики высоких энергий, 142284, Протвино Московской обл.

ПРЕПРИНТ 95-51, ИФВЭ, 1995
