

ПРИМЕНЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ

УДК 539.1.07

СИСТЕМА СБОРА ДАННЫХ И УПРАВЛЕНИЯ В СТАНДАРТЕ ЭЛЕКТРОНИКИ МИСС ДЛЯ ДЕТЕКТОРА НА ДРЕЙФОВЫХ ТРУБКАХ

© 2013 г. М. Ю. Боголюбский, Н. А. Исаев, А. С. Кожин, А. В. Козелов,
И. С. Плотников, В. А. Сенько, М. М. Солдатов, Н. А. Шаланда,
В. И. Якимчук, Н. А. Кузьмин*, Ю. П. Петухов*

ГНЦ РФ “Институт физики высоких энергий”

Россия, 142281, Протвино Московской обл., ул. Победы, 1

**Объединенный институт ядерных исследований*

Россия, 141980, Дубна Московской обл., ул. Жолио-Кюри, 6

Поступила в редакцию 11.03.2012 г.

После доработки 13.04.2012 г.

Описана структура системы сбора данных и управления в стандарте электроники МИСС для многоканального детектора на дрейфовых трубках. Ее особенностью является использование специализированных контроллера LE-83 для связи с компьютером и контроллера-таймера LE-83T, осуществляющих автономно все функции по накоплению информации в своем внутреннем буфере памяти в реальном масштабе времени без обязательного требования внешнего триггерного сигнала для запуска. Перезапись собранных данных из буфера в память компьютера и их передача по локальной сети происходят периодически через заданные программно промежутки времени. Полученные данные оперативно (on line) обрабатываются с целью контроля аппаратуры, объявления тревоги при обнаружении неисправности и выдачи физических результатов непосредственно оператору, который взаимодействует с системой через графический интерфейс с возможностью выбора режимов работы установки. Программно система выполнена в виде набора взаимодействующих процессов, которые могут работать как на одном компьютере, так и на нескольких — в рамках локальной сети.

DOI: 10.7868/S0032816213010175

1. ВВЕДЕНИЕ

Детекторы на дрейфовых трубках широко применяются в современном физическом эксперименте (см. [1]) ввиду их относительной дешевизны, а также высокой пространственной (~100 мкм) и, как следствие, угловой точности (~1 мрад) при больших перекрываемых площадях. Подробно с конструкцией дрейфовой трубки разработки ИФВЭ можно ознакомиться в [2]. Ее диаметр равен 3 см, длина определяется конкретной геометрией детектора и может достигать 6.2 м. Технология изготовления и структура детекторов ИФВЭ из таких трубок для экспериментов на ускорителях описана в [3], в работе [4] представлена конструкция детектора ИФВЭ для мюонного томографа, работающего в поле непрерывного по времени излучения.

В данной статье описана система сбора данных, контроля и управления (с.с.д.у.) в стандарте электроники МИСС [5] для многоканального детектора ИФВЭ на дрейфовых трубках. Результаты измерений получены для детектора, состоящего из 768 трубок, длиной 1 м каждая, интенсивность потока излучения составляла несколько тысяч частиц в секунду.

Описываемая система позволяет выполнить все необходимые действия по конфигурированию установки, приведению ее в рабочее состояние с подачей высоковольтного питания на дрейфовые трубки и запуском для сбора данных с контролем функционирования. Характерное время цикла МИСС составляет 100 нс. Принятый в МИСС протокол предназначен для достижения максимальной производительности при считывании рассеянных данных и подавления “нулевых” каналов на аппаратном уровне. К данным, подлежащим регистрации, относится время поступления сигналов на времяцифровые преобразователи (в.ц.п.) после пересечения дрейфовой трубки заряженной частицей.

Особенностью системы является использование специализированных контроллера LE-83 [6] для связи с компьютером и контроллера-таймера LE-83T, осуществляющих автономно все функции по накоплению данных в своих внутренних буферах памяти в реальном масштабе времени без обязательного требования внешнего триггерного сигнала для своего запуска. Перезапись собранных данных из буферов в память компьютера и дальнейшая их передача по локальной сети происходят периодически, через определенные про-

межутки времени, задаваемые при программной установке режимов работы. Это позволяет повысить скорость приема данных за счет сокращения числа обращений к медленным устройствам, например накопителям на дисках компьютера.

Аналогичный подход с использованием внутреннего буфера применялся в системах сбора данных [7, 8], но продолжительность активного периода сбора данных $T \sim 1.5$ с в этих работах определялась временем “растяжки” сброса пучка на экспериментальные установки при полном периоде цикла ускорителя У-70 (Протвино) $T_0 = 9.1$ с. В результате коэффициент пучкового времени (к.в.п.) этих систем сбора данных ограничивался характеристиками ускорителя и составлял $T/T_0 \sim 1.5/9.1 = 0.16$. Описываемая в данной работе система сбора данных позволяет поднять к.в.п. до 0.92 при работе в потоке непрерывного по времени излучения.

Полученные данные от дрейфовых трубок оперативно (on line) обрабатываются с целью контроля аппаратуры, объявления тревоги при обнаружении неисправности и выдачи физических результатов непосредственно оператору, который взаимодействует с системой через графический интерфейс с возможностью задания режимов работы установки. Программно система выполнена в виде набора взаимодействующих процессов, которые могут работать как на одном компьютере, так и на нескольких — в рамках локальной сети. Запущенные процессы обмениваются данными, командами и сообщениями через области разделяемой памяти (shared memory) и механизм вызова удаленных процедур (RPC). При создании программного обеспечения использовались стандартные пакеты [9] и [10], предназначенные соответственно для сбора и анализа данных.

2. ЗАДАЧИ, РЕШАЕМЫЕ СИСТЕМОЙ

Описываемая с.с.д.у. предназначена для решения ряда задач, связанных с конфигурированием параметров работы установки, выставлением заявленных рабочих значений параметров, запуском установки, сбором данных, текущим контролем. Под параметрами понимаются: режим подачи высокого напряжения на дрейфовые трубки (автоматический либо ручной), тип сеанса и способ регистрации событий (триггерный либо бестриггерный), необходимая статистика в сеансе измерений, максимальная длительность сеанса и др.

В системе поддерживается пять сеансов измерений: технический, генераторный, сканирующий, калибровочный, физический. Технический сеанс проводится экспертами с целью тестирования аппаратуры. Для этого совместно с электроникой МИСС используется каркас в стандарте СУММА [11], где установлены контроллер LE-20С (или его аналог LE-88) [5] вместе с блоком программно

управляемой задержки ЗУ-26. Высокое напряжение на электроды дрейфовых трубок не подается. Тестовые сигналы, прошедшие через программно управляемую задержку, подаются непосредственно на входы в.ц.п., что позволяет после анализа отклика системы на такое воздействие делать выводы о степени ее работоспособности.

Генераторный сеанс измерений также проводится экспертами. Высокое напряжение к дрейфовым трубкам не прикладывается. На все платы разводки высокого напряжения одновременно подается импульсный сигнал отрицательной полярности с амплитудой несколько вольт, длительностью 30 мкс и фронтом импульса несколько наносекунд. Аноды дрейфовых трубок подсоединены к высоковольтным дорожкам платы через высокоомные RC-фильтры. Измерения проводятся в ходе спаренных сеансов, в процессе которых меняются места ввода импульсного сигнала, соответствующие началу и концу высоковольтной платы. Паразитные емкости вместе с входным сопротивлением усилителей образуют дифференцирующие цепочки, через которые сигнал поступает на вход электронного тракта в моменты времени, соответствующие появлению фронта импульса. С.с.д.у. регистрирует полученный отклик. Анализ данных позволяет оценить индивидуальные временные задержки каналов спектрометра. Значения задержек используются как начальное приближение для калибровочных измерений, в которых устанавливаются уточненные значения указанных задержек и определяется индивидуально для каждой трубки зависимость времени дрейфа t от расстояния до анодной проволоки r .

Остальные сеансы — сканирующий, калибровочный и физический — проводятся операторами при подаче высокого напряжения на дрейфовые трубки детектора.

Целью сканирующего сеанса является определение рабочей точки детектора по высокому напряжению. Для этого автоматически проводится серия измерений с последовательным увеличением высокого напряжения. Полученная в результате счетная характеристика трубок имеет характерный вид, состоящий из трех участков: начального роста при увеличении приложенного напряжения, псевдоплато со слабо выраженным ростом и, наконец, правого края с резким увеличением интенсивности счета. Измеренные данные аппроксимируются гладкой функцией, отображающей указанные особенности. Рабочая точка выбирается на правом краю псевдоплато. После окончания автоматической процедуры определения рабочего значения высокого напряжения система информирует оператора о найденном значении и далее выставляет именно это напряжение. У оператора есть возможность отказаться через графический интерфейс от автоматического выбора и установить другую величину напряжения, если

она не выходит за пределы, разрешенные в конфигурационном файле экспертом.

Физический сеанс, который является основным для работы детектора, проводится оператором. Данные оперативно (on line) обрабатываются. Вид и объем выводимой информации конфигурируются экспертом. Стандартно выводятся на экран интенсивность счета в каждой трубке и среднее время сигнала в ней в виде соответствующих гистограмм, а также оперативно (on line) реконструированные картины событий. Система объявляет сигнал тревоги в случае появления недопустимо большого количества плохо работающих трубок (конкретные критерии устанавливаются в конфигурационном файле экспертом) и при отсутствии реакции со стороны персонала выключает установку.

3. ВЫСОКОВОЛЬТНОЕ ПИТАНИЕ

Напряжение на дрейфовые трубки детектора подается от высоковольтного источника БПВ-5 [12], программно управляемого через COM-порт компьютера по стандарту RS-232. Библиотека управления источником питания, созданная на основе поставляемых фирменных программных прототипов, предоставляет функции включения/выключения, регулировки, а также контроля напряжения. Управление источником питания реализовано в рамках концепции машины/автомата с конечным числом состояний (рис. 1). Начальное состояние — OFF (выключено). В процессе инициализации источник проходит в соответствии с командами программы промежуточные состояния, связанные с его конфигурированием (CONFIGURING). В состоянии конфигурирования происходит медленный рост напряжения. Достижение конечного состояния READY (готов) вызывает разрешение на прием данных. В случае обнаружения ошибки (отсутствие питания в силовой сети, неправильный тест контроллера и т.п.) происходит переход в состояние ERROR (ошибка), из которого прием данных блокируется. Из состояния ERROR предусмотрена возможность перезапуска с помощью команды *reset*. Выключение источника питания происходит в обратной последовательности.

4. АППАРАТУРА ПРИЕМА ДАННЫХ

Блок-схема электроники приема данных представлена на рис. 2. Ее часть, обеспечивающая временные измерения, реализована в стандарте МИСС [5] (два каркаса). Электроника МИСС включает в себя связной контроллер-таймер LE-83Т (первый каркас) и контроллер LE-83 [6] (второй каркас) для связи с компьютером, разветвитель сигналов и 25 блоков 32-канальных времяцифровых преобразователей LE-78Т с общим числом каналов 800.

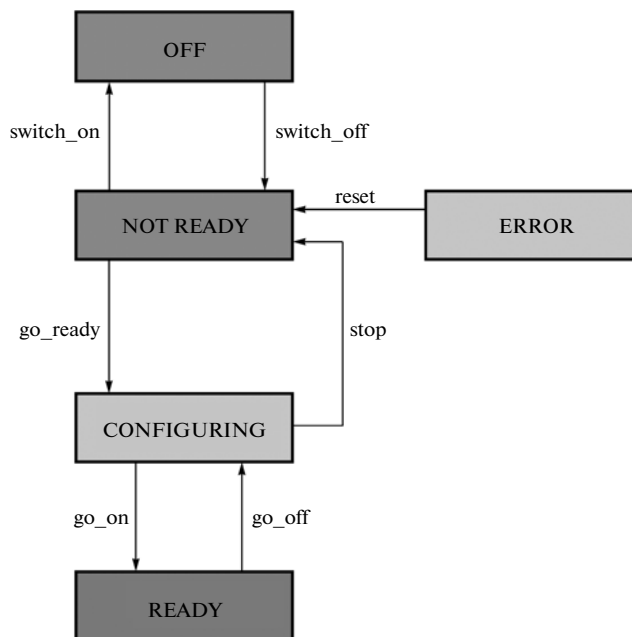


Рис. 1. Диаграмма управления источником высоковольтного питания как машиной/автоматом с конечным числом состояний. Прямоугольниками показаны возможные состояния, стрелками — разрешенные переходы между состояниями, рядом со стрелками указаны соответствующие команды, по которым происходит переход из одного состояния в другое.

Блоки LE-78Т специально разработаны в ИФВЭ для временных измерений в бестриггерном режиме. Подключение контроллера LE-83Т к компьютеру осуществляется с помощью интерфейсных карт ISA-Q-bus [13] или PCI-Q-bus [6]. Выбор указанных интерфейсных карт вполне удовлетворяет техническому заданию по скорости приема данных на уровне нескольких тысяч треков в секунду. Скорость ввода данных в компьютер при необходимости может быть увеличена, как показано в работах [7, 8], за счет перехода к интерфейсной плате PCI-7200 [13].

Контроллер LE-83Т разработан на основе LE-51 [15] и его модификации LE-83 [6] и, кроме обычных функций считывания данных и осуществления интерфейса между компьютером и магистралью каркаса МИСС, вырабатывать специальные управляющие сигналы. Последние дают возможность разбить весь сеанс измерений на последовательность интервалов, каждый из которых состоит из N временных окон TW (TIME WINDOW), в течение которых контроллеры накапливают оцифрованные данные от в.ц.п. во внутренний буфер памяти. Длительность T временного окна и количество N окон задаются перед началом измерений через главный графический интерфейс или через графический интерфейс базы данных. Стандартно выбирается $N = 1-1000$ и $T = 255$ мкс. Те-

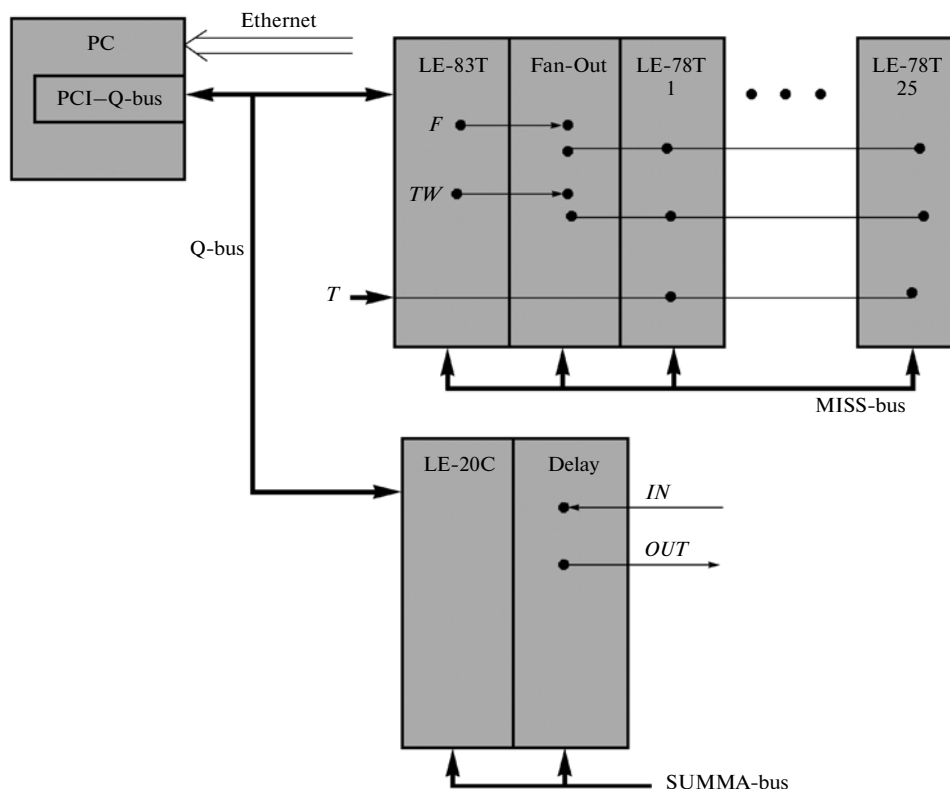


Рис. 2. Блок-схема оборудования детектора на дрейфовых трубках. *PC* – персональный многоядерный компьютер общего назначения; *Q-bus* – кабельная магистраль между контроллерами (LE-83T, LE-83, LE-20C) и компьютером; *PCI-Q-bus* – плата интерфейса между шиной *PCI* и магистралью *Q-bus*; LE-78T – 32-канальные в.ц.п.; Fan-OUT – разветвитель сигналов *F* и *TW*; LE-20C – контроллер SUMMA (используется для тестирования аппаратуры); *T* – временные сигналы, подлежащие оцифровке; *F* – тактовая частота 25 МГц; *TW* (*Time Window*) – набор временных интервалов, в течение которых в.ц.п. осуществляют прием входных сигналов и формирование цифровых кодов времени; Delay – программно управляемая задержка ЗУ-26; *IN*, *OUT* – вход и выход импульсов тестирования аппаратуры (для упрощения рисунка опущен второй каркас электроники МИСС вместе с контроллером LE-83).

стовые измерения, проведенные на космических мюонах, показали, что при $N = 1, 100$ и 1000 коэффициент пучкового времени использования потока космического излучения составляет 58%, 86% и 92% соответственно.

Указанные контроллеры осуществляют автономно все функции по выводу оцифрованных в в.ц.п. данных от детекторов в свой внутренний буфер памяти в реальном масштабе времени. Перезапись накопленных данных из внутреннего буфера в файл на жесткий диск компьютера и дальнейшая передача данных по локальной сети выполняются после окончания последнего временного окна в интервале. Такая схема позволяет избежать обращения к медленным внешним устройствам до окончания интервала, что обеспечивает увеличение скорости приема данных.

Каркас в стандарте СУММА с контроллером LE-20C и блоком программно управляемой задержки ЗУ-26 предназначены для тестирования экспертами блоков электроники МИСС во время специальных технических сеансов.

4.1. Контроллер-таймер LE-83T

В отличие от своего аналога LE-83 контроллер-таймер LE-83T по команде от компьютера вырабатывает сигнал “Общий сброс” МИСС, после чего – серию импульсных сигналов временных окон *TW*, поступающих на выходной коаксиальный разъем передней панели. Помимо этих сигналов, в в.ц.п. вырабатывается периодический сигнал *F* стабильной частоты 25 МГц (стабилизирован кварцевым резонатором), необходимый для работы в.ц.п. В результате формируется набор временных интервалов, в течение которых в.ц.п. осуществляют прием входных сигналов и формирование цифровых кодов времени.

Длительность временного окна регулируется в пределах 5.12–256 мкс с шагом 5.12 мкс, а количество окон изменяется в интервале 1–1023 с шагом, равным единице. Указанные параметры задаются программно при инициализации системы. Пауза между окнами составляет ~100 нс. Тактовая частота *F* выдается постоянно, а сигнал *TW* – по команде компьютера. По окончании сигнала *TW* контроллер приступает к опросу

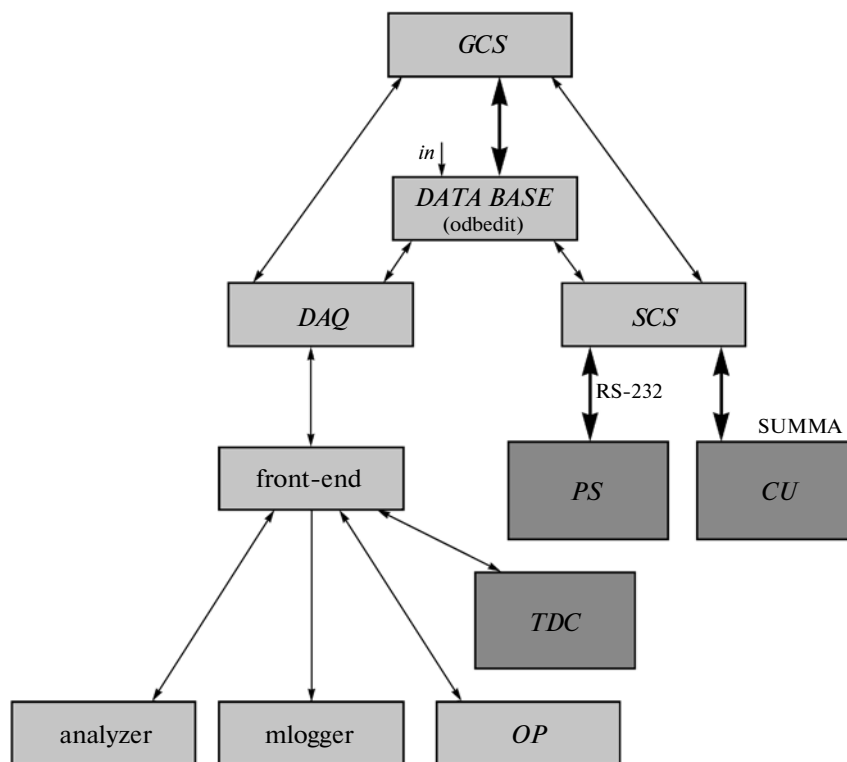


Рис. 3. Программная архитектура сбора данных, контроля и управления детектором. *GCS* – главная система управления; *DAQ* – система сбора данных; *front-end* – программа считывания данных из в.ц.п.; *analyzer* – программа для анализа, оперативной (on line) реконструкции и визуализации данных; *OP* – операторская программа; *mlogger* – программа для записи результатов на жесткий диск компьютера; *SCS* – система медленного контроля; *PS* – источники питания аппаратуры; *CU* – программно управляемые блоки для тестирования и калибровки аппаратуры (установлены в каркасе SUMMA); *DATA BASE* и *odbedit* – база данных и ее редактор; *in* – виртуальная консоль для ввода желаемых значений параметров в базу данных.

в.ц.п. и накапливает данные в своем буфере памяти в реальном масштабе времени. Сброс информации на внешние носители и дальнейшая передача данных по локальной сети выполняются после последнего временного окна интервала. Процесс повторяется, пока не закончится сеанс измерений.

4.2. Времяцифровой преобразователь LE-78T

LE-78T представляет собой 32-х каналный 16-разрядный в.ц.п. прямого счета с ценой одного отсчета 5.00 нс, обеспечивающий работу установки в бестриггерном режиме. Для выработки сигналов заполнения частота 25 Гц импульсной последовательности F умножается в в.ц.п. LE-78T до 200 МГц. Регистрация времени прихода сигнала происходит во всех каналах в рамках текущего интервала в течение сигнала временного окна TW независимо друг от друга. “Мертвое” время введено специально для исключения возможности регистрации вторичных импульсов, возникающих в процессе газового усиления сигналов от одной частицы. Длительность “мертвого” времени случайна в каждом канале и находится в интервале 0.4–1.2 мкс. Максимальное количество сигна-

лов TW между операциями считывания данных из LE-78T равно 1023.

Каналы преобразования секционированы в две группы по 16 каналов. Каждую группу обслуживает один блок памяти типа FIFO (два FIFO на один в.ц.п.) размером 256 слов по 32 разряда. За каждый акт регистрации/преобразования в блок памяти заносится 32-разрядное слово, состоящее из поля данных (DA) и поля адреса (AD). Информация о времени и номере временного окна записывается в поле данных, а номер в.ц.п. и номер канала – в поле адреса. Кроме того, для повышения надежности передачи информации и контроля функционирования аппаратуры номер канала дополнительно дублируется в поле данных. При заполнении памяти дальнейшая запись в нее не происходит.

Данная схема записи/считывания из FIFO обуславливает следующие особенности структуры считываемых из в.ц.п. данных:

1) номера сработавших каналов в пределах одного блока FIFO (16 каналов регистрации, номера адресов МИСС от 0 до 15 для первого блока FIFO и от 16 до 31 для второго) и соответствующие времена будут считываться не по порядку

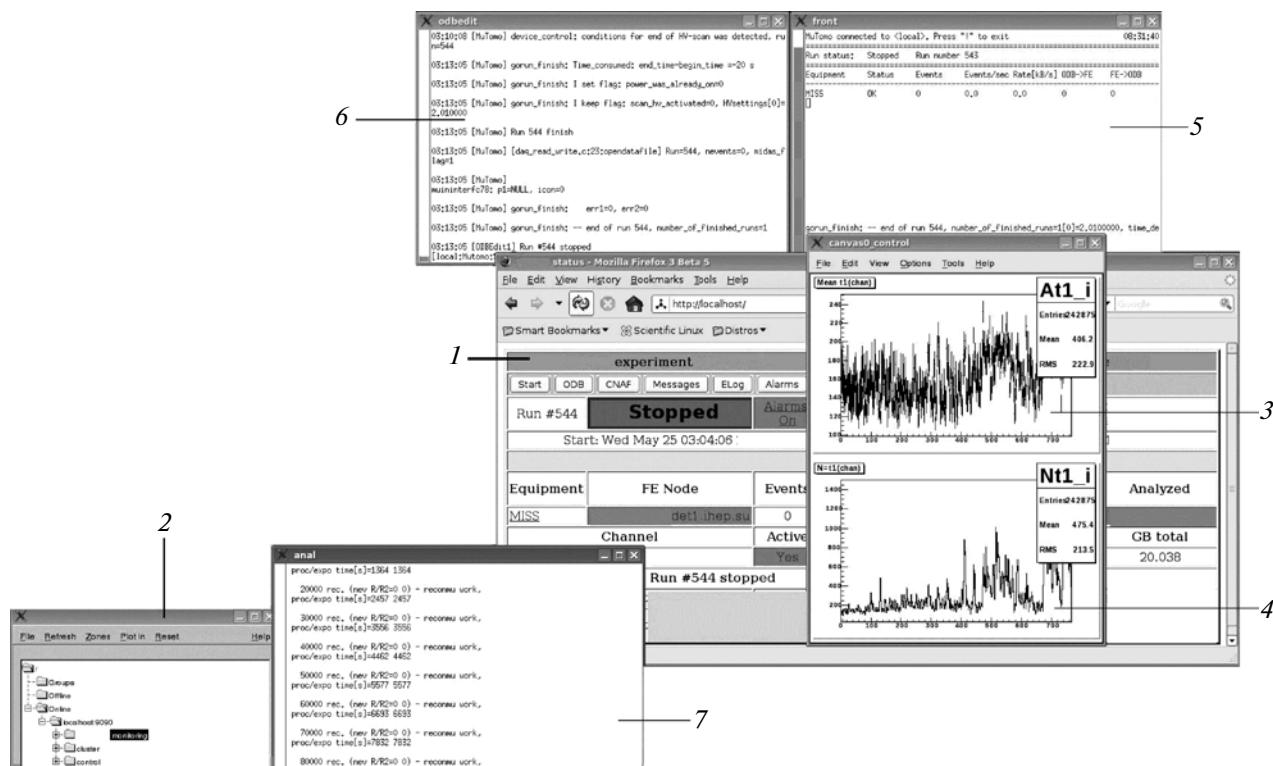


Рис. 4. Собранные вместе служебные экраны системы (они могут быть разнесены по разным столам компьютера по желанию оператора): 1 – графический интерфейс навигатора базы данных; 2 – навигатор goody по гистограммам в реальном времени; 3, 4 – информационные окна с выведенными распределениями среднего времени в канале и числа попаданий в канал; 5–7 – мониторы вывода сообщений от запущенных процессов.

внутри одного временного окна, однако номера временных окон при считывании в пределах одного FIFO будут изменяться монотонно, начиная с раннего;

2) при считывании данных со следующих 16-ти каналов (второго FIFO) номера временных окон также будут монотонно изменяться, начиная с раннего.

Рассматриваемые в.ц.п. предназначены для измерения временных промежутков, не превышающих время дрейфа в трубке от катода к аноду (≤ 800 нс для наших трубок). Интегральная нелинейность в.ц.п. LE-78T, построенного по принципу прямого счета, обусловлена нестабильностью генератора частоты заполнения временного интервала. В данной системе один кварцевый генератор, расположенный в контроллере ЛЭ-83Т, используется для всех 800 каналов в 25-ти в.ц.п. Применена интегральная схема кварцевого генератора типа КХО-200 [16] с частотой 25 МГц, который имеет кратковременную нестабильность на уровне $\pm 10^{-4}$. Умножители частоты с коэффициентом умножения 8, встроенные в каждый в.ц.п. ЛЭ-78Т, выполнены на основе интегральной схемы VT98521 и имеют нулевую погрешность умножения. Соответственно результирующая величина интегральной нелинейности всех

каналов при измерении указанных временных интервалов не превышает единицы младшего значащего разряда (м.з.р.) и определяется максимальной ошибкой квантования при оцифровке (± 2.5 нс).

Дифференциальная нелинейность обусловлена временными характеристиками микросхемы FPGA ALTERA EP1K50QC208-3, на которой реализованы счетчики импульсов, а именно величиной временной “дрожи” (jitter), не превышающей ± 0.25 нс [17]. Таким образом, величина дифференциальной нелинейности в.ц.п. не превышает единицы м.з.р. и также определяется максимальной ошибкой квантования при оцифровке.

5. ПРОГРАММНАЯ АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ

Общая программная архитектура сбора данных, контроля и управления детектором представлена на рис. 3. Она включает в себя следующие логические части: главную управляющую систему (GCS), программу сбора данных (DAQ), систему медленного контроля (SCS) и базу данных (DATA BASE) с ее редактором (odbedit).

Отметим, что пользователи математического обеспечения разбиты на три группы: оператор,

эксперт, разработчик. Эксперт перекрывает права оператора, разработчик обладает всеми правами. Рассмотрим функции программ, обслуживающих детектор.

5.1. База данных

База данных предназначена для задания и хранения параметров, определяющих особенности работы системы. К ним относятся, например, назначение места (директории) хранения файлов с данными, правила формирования имен этих файлов, максимальный размер файла, максимальное число событий в файле, максимальное время одного сеанса, требование автоматического начала нового сеанса, число временных окон, длительность окна, режим работы (триггерный/бестриггерный), тип сеанса и т.п.

Данные в базу можно вносить через редактор *odbedit* или через графический интерфейс соответствующего навигатора, который открывает ряд виртуальных консолей для внесения изменений. Программная поддержка базы данных и ее функций осуществлена с помощью пакета [9].

5.2. Главная система управления

Главная система управления *GCS* запускается оператором. Интерфейс предоставляет возможность устанавливать номер сеанса измерений, число интервалов в сеансе, количество временных окон, а также вручную задавать значение высокого напряжения. Изменение любых других параметров, например длительности временного окна и пр., предусмотрено через графический интерфейс базы данных.

На информационном транспаранте интерфейса отображается установленное на дрейфовых трубках значение высокого напряжения. В режиме высоковольтного сканирования оперативно отображается изменение счетной характеристики трубки при росте напряжения, а в конце сканирования приводится найденная зависимость средней скорости счета трубки от высокого напряжения и результат фита полученных данных (сплошной кривой).

Информационные экраны главного графического интерфейса отображают текущее состояние системы с указанием начала и конца сеанса измерений, предупреждают об обнаружении ошибок в работе контроллеров и источников питания. Транспарант “тревога” активируется (красный свет и звуковой зуммер), если число “мертвых” или плохо работающих трубок достигает некоторого критического значения (задано в конфигурационном файле экспертом).

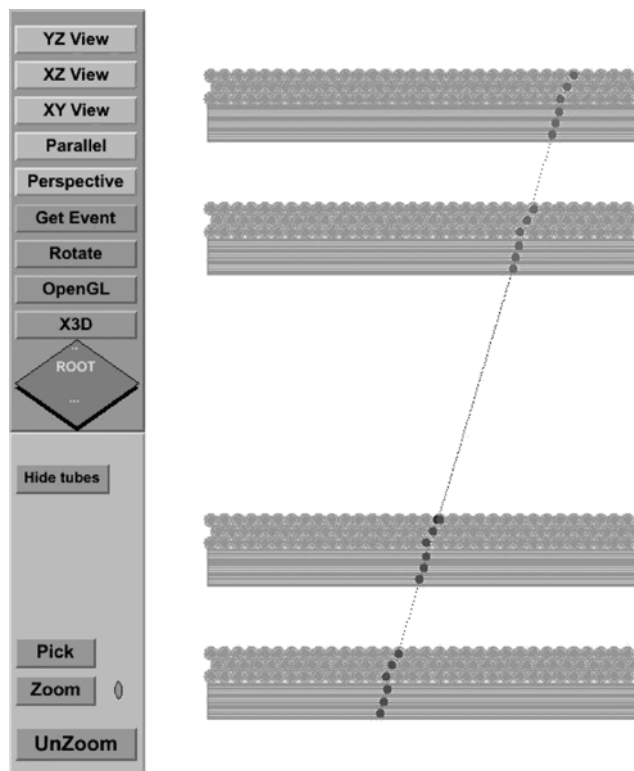


Рис. 5. Пример реконструированной картины события, отображаемой в реальном времени программой *analyzer* для оператора. Сплошная линия соответствует восстановленной траектории частицы. Слева — операторская панель управления, предназначенная для выбора частоты смены кадров, проекции и пр.

На информационные экраны могут выводиться ряд распределений, характеризующих правильность работы прибора, его пространственную, угловую и временную точность. Возможна навигация по всему множеству гистограмм, оперативно заполняемых мониторирующей программой, с помощью браузера системы *goody*. Стандартно в ходе проведения сеанса показывается текущее среднее время с каждой трубки и число попаданий в нее (рис. 4). На рис. 4 для компактности собраны вместе несколько служебных экранов системы. По желанию оператора они выводятся на разные столы компьютера.

5.3. Система сбора данных

Система сбора данных (*DAQ*) состоит из программ: *front-end*, *mlogger*, *analyzer* и операторской программы *OP*.

Front-end является основной программой *DAQ*. Ее задача состоит в управлении быстрой электронной считывания данных. Она осуществляет непосредственное управление контроллерами во всех сеансах и считывание данных из их буферов,

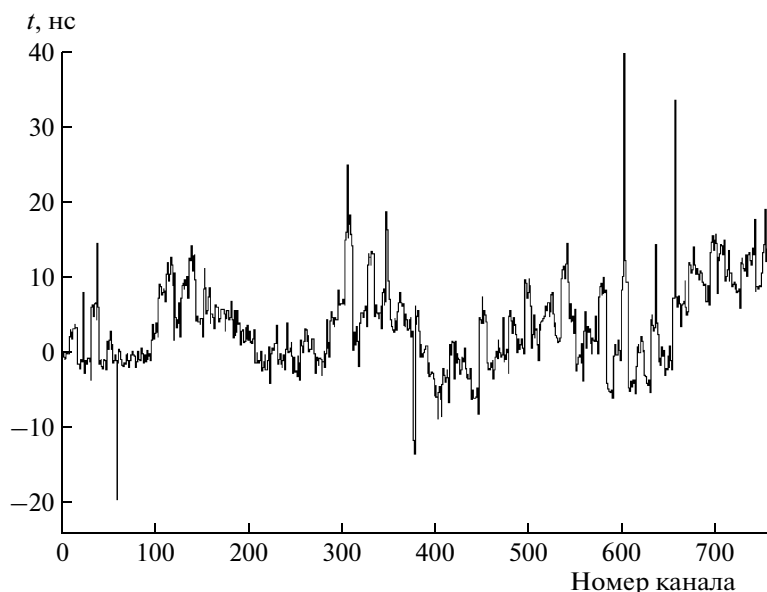


Рис. 6. Полученная в генераторном сеансе зависимость относительных временных задержек t каналов от их номера.

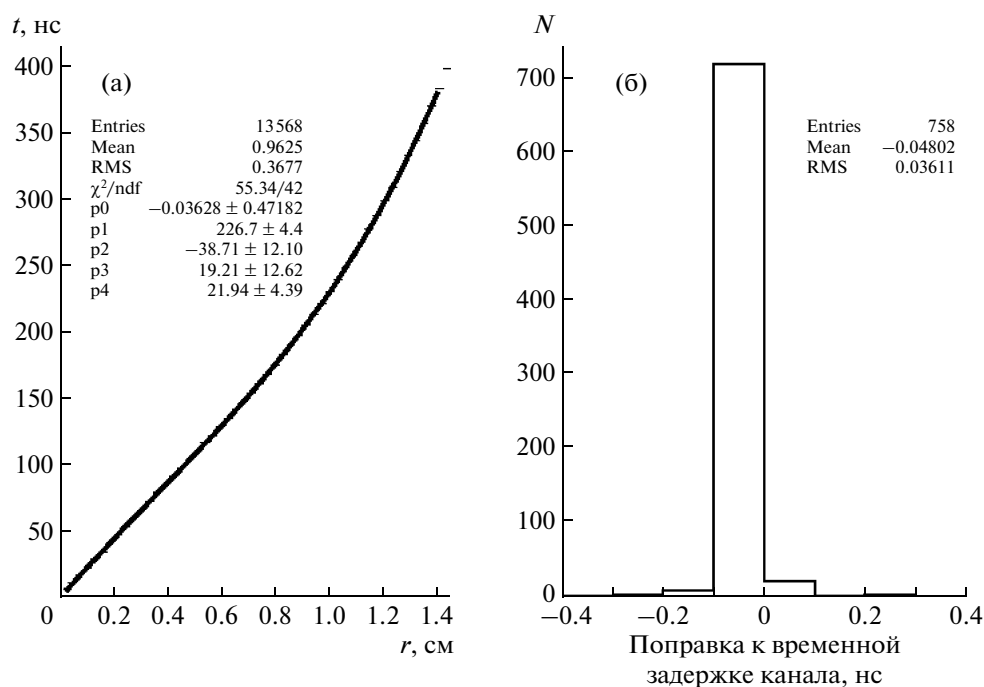


Рис. 7. а – полученная в результате калибровки зависимость времени дрейфа t от расстояния r между треком и анодной проволокой для одной типичной дрейфовой трубки, сплошная линия – полиномиальный фит данных; б – распределение поправок к собственным временным задержкам каналов для всего детектора (данные соответствуют последней итерации калибровочной процедуры).

а также сопряжение протокола магистрали Q-bus с шиной компьютера PCI.

Программа mlogger обеспечивает предварительную сортировку данных, их упаковку и запись на внешние хранилища информации (жесткий диск компьютера).

Analyzer является “on line” версией программы реконструкции с включением функции мониторинга текущей обстановки. На рис. 5 представлен пример оперативно (on line) реконструированной в детекторе картины события, показываемой в реальном времени оператору.

Операторская программа *ОР* обеспечивает отображение реконструированного объекта и настройку визуализации.

5.4. Система “медленного” контроля

Система медленного контроля осуществляет все необходимые действия по выбору режимов работы установки, приведению ее в рабочее состояние с подачей высоковольтного питания на дрейфовые трубки и запуску сбора данных с контролем функционирования. Управление источником питания реализовано в рассмотренной выше концепции машины/автомата с конечным числом состояний. При обнаружении ошибки – нет питания, плохой результат теста контроллера, слишком большое количество “мертвых” или плохо работающих каналов – система объявляет тревогу и при отсутствии реакции со стороны персонала выключает детектор.

6. ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ

Ниже будут рассмотрены примеры применения с.с.д.у. для сеансов следующих типов: генераторного, сканирующего, калибровочного, физического. На рис. 6 приведена полученная в генераторном сеансе зависимость относительных временных задержек каналов от номера трубки. Указанные задержки, необходимые для корректной работы программ реконструкции, достаточно определить с точностью до общей аддитивной константы (последняя была выбрана из требования обращения в ноль задержки одного из каналов – для определенности номер пять).

В калибровочных сеансах набирается необходимая статистика для проведения калибровки. Последняя сводится к последующей многократной итерационной реконструкции набранных данных с определением на каждой итерации поправок к собственным временным задержкам каналов, а также зависимости времени дрейфа t для каждой трубки от расстояния r между треком и анодной проволокой. Для аппроксимации функции $t(r)$ использовалось полиномиальное приближение. Начальное приближение для задержек брали из представленных на рис. 6 результатов генераторных сеансов, а для начального приближения функции $t(r)$ использовали расчеты на основе измерений скорости дрейфа в зависимости от отношения E/p [18], где E – напряженность электрического поля, p – давление в газовой смеси $Ag + CO_2$. Полученные в ходе калибровки результаты представлены на рис. 7, где показаны найденная зависимость $t(r)$ для одной типичной дрейфовой трубки и распределение поправок к собственным временным задержкам каналов для

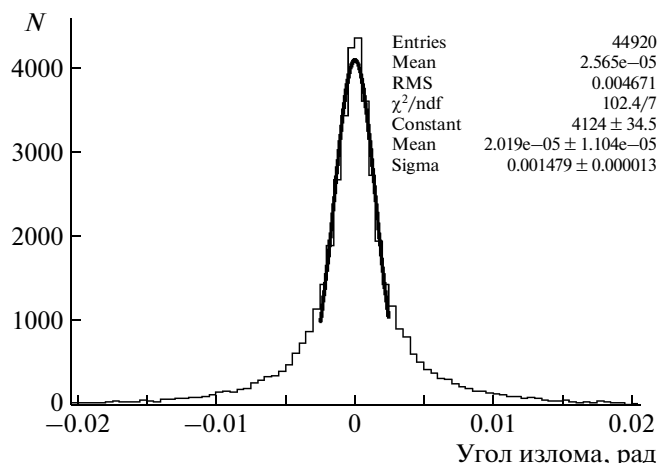


Рис. 8. Распределение по углу “излома” независимых реконструкций проходящего трека в двух последовательных идентичных детекторах на дрейфовых трубках, сплошной кривой показана аппроксимация данных функцией Гаусса.

всего детектора на последней итерации калибровочной процедуры.

Рассмотрим применение с.с.д.у. в наиболее распространенном типе сеанса – физическом. Пример оперативно реконструированной картины события, показываемой в реальном времени оператору, приведен выше, на рис. 5. На рис. 8 представлено распределение по углу “излома” независимых реконструкций проходящего трека в двух последовательных идентичных детекторах на дрейфовых трубках. Сплошной кривой показан фит данных функцией Гаусса методом наименьших квадратов, согласно которому $\sigma = 1.47$ мрад. Исходя из этого, измерительную угловую погрешность одного детектора можно оценить как ~ 1 мрад, что соответствует ожидаемой величине.

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описана структура системы сбора данных и управления многоканального детектора на дрейфовых трубках в стандарте электроники МИСС.

Результаты представленных физических измерений показали, что детектор, оснащенный рассматриваемой с.с.д.у., позволяет обеспечить автоматическое определение и выставку высокого напряжения в рабочей точке, а также калибровку при ожидаемой от него высокой точности измерений.

В заключение авторы выражают благодарность Н.И. Божко, Р.М. Фахрутдинову и О.П. Ющенко за поддержку данной работы и полезные обсуждения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *ATLAS Muon Collaboration*. Technical Design Report. CERN/LHCC 97-22, Geneva, 1997.
2. *Borisov A., Fakhroutdiov R., Kojine A. et al.* // Nucl. Instrum. and Methods. 2002. V. A494. P. 214.
3. *Bensingher J., Vojko N., Borisov A. et al.* // Nucl. Instrum. and Methods. 2002. V. A494. P. 480.
4. *Борисов А.А., Боголюбский М.Ю., Божко Н.И. и др.* Препринт ИФВЭ 2011-7. Протвино, 2011.
5. *Бушнин Ю.Б., Ваньев В.С., Гончаров П.И. и др.* Препринт ИФВЭ 88-47. Серпухов, 1988.
6. *Петров В.С., Якимчук В.И.* Препринт ИФВЭ 2011-21. Протвино, 2011.
7. *Боголюбский М.Ю., Викторов В.А., Петров В.С. и др.* // ПТЭ. 2006. № 1. С. 67. (*Bogolyubskii M.Yu., Viktorov V.A., Petrov V.S. et al.* // IET. 2006. V. 49. № 1. P. 61.)
8. *Боголюбский М.Ю., Викторов В.А., Онучин В.А. и др.* // ПТЭ. 2007. № 5. С. 93. (*Bogolyubskii M.Yu., Viktorov V.A., Onuchin V.A. et al.* // IET. 2007. V. 50. № 5. P. 664.)
9. <http://midas.psi.ch>
10. <http://root.cern.ch>
11. *Алферова О.И., Бушнин Ю.Б., Денисенко А.А. и др.* Препринт ИФВЭ 74-122. Серпухов, 1974.
12. <http://high-voltage-technology.ru>.
13. *Буянов О.В., Якимчук В.И.* Препринт ИФВЭ 95-104. Протвино, 1995.
14. <http://www.adlinktech.com>
15. *Сенько В.А., Якимчук В.И.* Препринт ИФВЭ 95-105. Протвино, 1995.
16. <http://www.megachip.ru/pdf/GEYER/КХО-200.pdf>
17. <http://www.altera.com/literature/ds/archives/acex.pdf>
18. *Божко Н.И., Борисов А.А., Вовенко А.С. и др.* Препринт ИФВЭ 81-124. Протвино, 1981.