



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ИФВЭ 2012–4
ОЭФ

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

ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий, Протвино

Н.А. Кузьмин, Ю.П. Петухов

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

**Система сбора данных и управления
в стандарте электроники МИСС
для детектора на дрейфовых трубках**

Направлено в ПТЭ

Протвино 2012

Аннотация

Боголюбский М.Ю. и др. Система сбора данных и управления в стандарте электроники МИСС для детектора на дрейфовых трубках: Препринт ИФВЭ 2012–4. – Протвино, 2012. – 21 с., 9 рис., 1 табл., библиогр.: 18.

Описана структура системы сбора данных и управления (ССДУ) многоканального детектора на дрейфовых трубках в стандарте электроники МИСС. 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 происходит периодически через заданные программно промежутки времени. Полученная информация обрабатывается оперативно (on-line) с целью контроля аппаратуры, объявления тревоги при обнаружении неисправности и выдачи физических результатов непосредственно оператору, который взаимодействует с системой через графический интерфейс с возможностью конфигурирования установки. Программно система выполнена в виде набора взаимодействующих процессов, которые могут работать как на одном компьютере, так и на нескольких в рамках локальной сети.

Abstract

Bogolyubsky M.Yu. et al. Data Acquisition and Control System for Detector on Drift Tubes at Electronics of the MISS Standard: IHEP Preprint 2012–4. – Protvino, 2012. – p. 21, figs. 9, table 1, refs.: 18.

The structure of data acquisition and control system (DAQC) for multichannel detector on drift tubes at electronics of the MISS standard is described. Its peculiarity is a using of specialized controller LE-83 for communication with computer and controller-timer LE-83T which do autonomously all actions to store information in its internal memory buffers in real time scale without obligatory external trigger launching signal. Rewriting of the stored data from buffer into computer memory with following its propagation through a local net takes place periodically every each time interval defined by the program configuring. The obtained information is processed on-line to control of hardware, generation of alarms at finding of errors in operation of the system and producing of the physical results promptly to an operator, who interacts with the system through a friendly graphical interface with possibility of the setup configuring. The system is built as set of interacted processes which can work on one standard PC or be distributed on a number of machines in framework of the local net.

Введение

В настоящее время детекторы на дрейфовых трубках широко применяются в современном физическом эксперименте, см. [1], ввиду их относительной дешевизны и высокой пространственной (около 100 мкм) и, как следствие, угловой точности (около 1 мрад) при больших перекрываемых площадях. Подробно с конструкцией дрейфовой трубки можно ознакомиться в [2]. Ее диаметр равен 3 см, длина обусловлена конкретной геометрией детектора и может быть в пределах до 6,2 м. Технология изготовления и структура детекторов ИФВЭ из таких трубок для экспериментов на ускорителях описана в [3], в статье [4] представлена конструкция детектора ИФВЭ для мюонного томографа, работающего в поле непрерывного по времени излучения. Данная работа посвящена описанию системы сбора данных, контроля и управления (ССДУ) для многоканального детектора ИФВЭ на дрейфовых трубках в стандарте электроники МИСС [5]. Результаты измерений, приведенные в данной работе, соответствуют детектору из 768 трубок, каждая длиной 1 м, интенсивность потока излучения составляла несколько тысяч частиц/с.

Система позволяет произвести все необходимые действия по конфигурированию установки, приведению ее в рабочее состояние с подачей высоковольтного питания на

дрейфовые трубки и запуска 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. Данные, подлежащие регистрации, представляет собой время поступления сигнала на Время Цифровые Преобразователи (ВЦП) после пересечения заряженной частицей дрейфовой трубки.

Особенностью системы является использование специализированных контроллера LE-83 [6] для связи с компьютером и контроллера-таймера LE-83T, осуществляющих автономно все функции по накоплению информации 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 происходит периодически через определенные промежутки времени, задаваемые при программном конфигурировании установки. Это позволяет увеличить скорость приема данных за счет минимизации работы с медленными внешними устройствами типа накопителей на дисках компьютера. Подобный подход с использованием внутреннего буфера применялся в системах сбора данных [7, 8], но в этих работах активный период сбора данных $T \sim 1.5$ с определялся временем «растяжки» сброса пучка на экспериментальные установки при полном периоде цикла ускорителя У-70 (Протвино) $T_0 = 9.1$ с. Таким образом, коэффициент пучкового времени (КПВ) указанных систем сбора данных ограничивался характеристиками ускорителя и составлял $\text{КПВ} = T/T_0 \sim 1.5/9.1 = 0.16$. Данная система сбора данных позволяет поднять КПВ до величины 0.92 при работе в потоке непрерывного по времени излучения.

Полученная информация от дрейфовых трубок обрабатывается оперативно (online) с целью контроля аппаратуры, объявления тревоги при обнаружении неисправности и выдачи физических результатов непосредственно оператору, который взаимодействует с системой через графический интерфейс с возможностью конфигурирования 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 в физике высоких энергий.

Содержание данной статьи состоит из вступления, обсуждения решаемых системой задач, описания ее аппаратурной реализации и программной архитектуры, а также примеров применения.

1. Задачи системы

Рассматриваемая ССДУ предназначена для решения ряда задач, связанных с конфигурированием параметров работы установки, выставлением заявленных рабочих значений параметров, запуском установки, сбором данных, текущим контролем. Под указанными параметрами подразумевается режим подачи высокого напряжения на дрейфовые трубки — автоматический/ручной, тип сеанса и способ регистрации событий — триггерный/бестриггерный, необходимая статистика в сеансе измерений, максимальная длительность сеанса и др. Требуется обработка данных «оперативно (on-line)» с целью контроля аппаратуры, объявления тревоги при обнаружении неисправности, аварийного отключения детектора и выдачи физических результатов непосредственно оператору, который взаимодействует с системой через графический интерфейс.

В системе поддерживается пять типов сеансов измерений: технический, генераторный, сканирующий, калибровочный, физический. Технический сеанс проводится экспертами с целью тестирования аппаратуры. Для этого вместе с электроникой МИСС используется каркас в стандарте СУММА [11], где установлены контроллер LE-20C (или его аналог LE-88) [6] вместе с модулем программно управляемой задержки ЗУ-26. Высокое напряжение на электроды дрейфовых трубок не подается. Тестовые сигналы, прошедшие через управляемую задержку, подаются непосредственно на входы ВЦП, что позволяет после анализа отклика системы на такое воздействие сделать 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 в несколько вольт и длительностью 30 мкс и фронтом в несколько нс. Аноды дрейфовых трубок подсоединены к высоковольтным дорожкам платы через высокоомные RC-фильтры. Измерения проводятся в ходе спаренных сеансов, в 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. ССДУ регистрирует полученный отклик. Анализ данных позволяет оценить индивидуальные временные задержки каналов спектрометра. Найденные значения задержек используются как начальное приближение для калибровочных измерений, где устанавливаются уточненные значения указанных задержек и определяется индивидуально для каждой трубки зависимость времени дрейфа $t(\tau)$ от расстояния до анодной проволоки τ .

Все остальные типы сеансов (сканирующий, калибровочный, физический) проводятся операторами с подачей высокого напряжения на дрейфовые трубки детектора.

Целью сканирующего сеанса является определение рабочей точки детектора по высокому напряжению. Для чего автоматически снимается 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 высокого напряжения система информирует оператора о новом найденном значении напряжения и далее выставляет именно это напряжение. У оператора есть возможность отказаться через графический интерфейс от автоматического выбора и указать другую желаемую величину напряжения. Система согласится с таким предложением, если указанное значение не выйдет за пределы, разрешенные в конфигурационном файле экспертом.

Физический сеанс, который является основным для работы детектора, проводится оператором. Данные обрабатываются оперативно (on-line). Вид и объем оперативно выводимой информации конфигурируется экспертом. Стандартно показывается 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 «мертвых» или «генерящих» трубок (конкретные критерии устанавливаются в конфигурационном файле экспертом) и при отсутствии реакции со стороны персонала в течении определенного времени выключает установку.

Далее перейдем к аппаратурной и программной реализации системы, которые существенно связаны друг с другом.

2. Высоковольтное питание

Напряжение на дрейфовые трубки детектора подается от высоковольтного источника БПВ-5 [11] фирмы «Высоковольтные технологии» (Россия), программно управляемого через COM порт компьютера по стандарту RS-232. Библиотека управления источником, созданная на основе поставляемых фирменных программных прототипов, предоставляет функции включения/выключения, регулировки, а также контроля напряжения. Управление источником питания реализовано в 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). Во время нахождения в состоянии конфигурирования происходит медленный рост прикладываемого 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 ошибки предусмотрена возможность перезапуска с помощью команды reset. Выключение источника питания происходит в обратной последовательности.

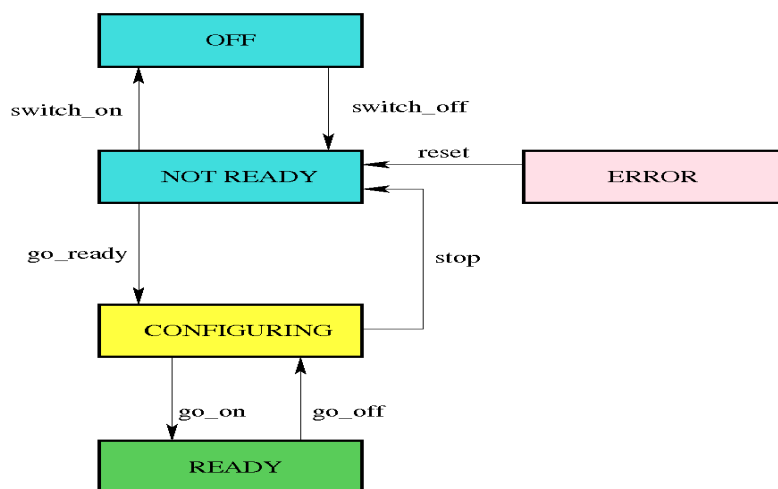


Рис. 1. Диаграмма управления источником высоковольтного питания как машины/автомата с конечным числом состояний. Обозначения: прямоугольники — возможные состояния, стрелки — разрешенные переходы между состояниями, рядом со стрелками показаны соответствующие команды, по которым происходит переход из одного состояния в другое.

3. Аппаратура приема данных

Блок-схема электроники приема данных представлена на рис. 2. Ее часть, нацеленная на 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), разветвитель сигналов (Fan-Out) и 25 блоков 32-канальных время-цифровых преобразователей (ВЦП) типа LE-78Т с общим числом каналов 800. Блоки LE-78Т специально разработаны в ИФВЭ для временных измерений в безтриггерном режиме. Подключение контроллера LE-83Т к компьютеру осуществляется с помощью интерфейсных карт ISA-Qbus [13] или PCI-Qbus [6], все разработано в ИФВЭ. Выбор указанных интерфейсных карт вполне удовлетворял 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] и [8], за счет перехода к интерфейсной плате PCI-7200 [14].

Контроллер LE-83Т является развитием контроллера LE-51 [15] и его модификации LE-83 [6], позволяющим ему кроме обычных функций считывания данных и осуществления интерфейса между компьютером и магистралью каркаса МИСС вырабаты-

вать специальные управляющие сигналы. Последние дают возможность разбить весь сеанс измерений на последовательность интервалов (spills), каждый из которых состоит из N временных окон TW (TIME WINDOW), в течении которых контроллеры накапливают оцифрованные данные от ВЦП во внутренний буфер памяти. Длительность временного окна T , количество окон N задается перед началом измерений через главный графический интерфейс или через графический интерфейс базы данных. Стандартно выбирается $N=1 - 1000$ и $T=255$ мкс. Тестовые измерения, проведенные на космических мюонах, показали, что при $N=1$, $N=100$ и $N=1000$ коэффициент пучкового времени (КПВ) использования потока космического излучения растет как 58%, 86% и 92% соответственно.

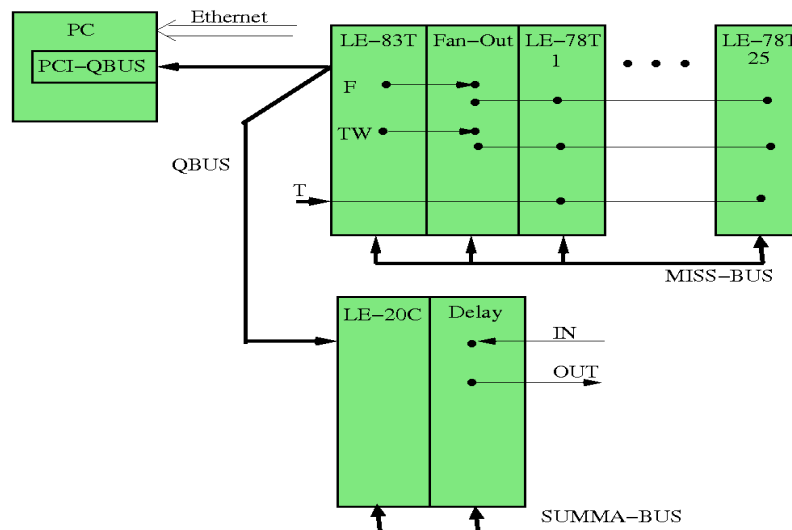


Рис. 2. Блок-схема оборудования детектора на дрейфовых трубках. Обозначения: Ethernet — локальная компьютерная сеть в стандарте Ethernet, PC — персональный многоядерный компьютер общего назначения, QBUS — кабельная магистраль Q-bus между контроллерами (LE-83T, LE-83, LE-20C) и компьютером, PCI-QBUS — плата интерфейса между шиной PCI и магистралью Q-bus, LE-78T — 32-канальные время-цифровые преобразователи (ВЦП), Fan-OUT — разветвитель сигналов F и TW, MISS-BUS — магистраль МИСС, SUMMA-BUS — магистраль SUMMA, 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 ВЦП осуществляют прием входных сигналов и формирование цифровых кодов времени; Delay — программно управляемая задержка ЗУ-26; IN, OUT — вход и выход импульсов тестирования аппаратуры (для простоты рисунка опущен второй каркас электроники МИСС вместе с контроллером LE-83).

Указанные контроллеры осуществляют автономно все функции по выводу оцифрованной в ВЦП информации от детекторов в свой внутренний буфер памяти в реальном масштабе времени. Перезапись накопленной информации из внутреннего буфера в файл на жесткий диск компьютера и дальнейшая передача данных по локальной сети происходит после окончания последнего временного окна в спиле. Такая схема позволяет избежать обращения к медленным внешним устройствам до окончания спила и, таким образом, получать рост скорости приема данных.

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

Перейдем к отдельному описанию блоков электроники МИСС и их функций, что важно для программирования действий оборудования.

3.1. Контроллер-таймер LE-83Т

Рассмотрим дополнительные специфические свойства контроллера-таймера LE-83Т, которыми он отличается от своего аналога LE-83. По команде от компьютера LE-83Т вырабатывает сигнал «общий сброс» для МИСС и затем серию импульсных сигналов временных окон TW (TIME WINDOW), поступающих на выходной коаксиальный разъём передней панели. Кроме этих сигналов в модуле вырабатывается периодический сигнал F со стабильной частотой 25 МГц (стабилизируется кварцевым резонатором), необходимый для работы время-цифровых преобразователей. В результате формируется набор временных интервалов спила, в течение которых модули ВЦП осуществляют прием входных сигналов и формирование цифровых кодов времени.

Длительность временного окна регулируется в пределах 5.12-256 мкс с шагом изменения 5.12 мкс, а их количество изменяется в интервале 1-1023 с шагом равным единице. Указанные величины задаются программно при инициализации системы. Пауза между окнами составляет ~100 нс. Тактовая частота F выдается постоянно, а сигнал TW – по команде компьютера. После окончания сигнала TW контроллер приступает к опросу модулей ВЦП и накапливает данные в своем буфере памяти в реальном масштабе времени. Сброс на внешние носители информации и дальнейшая передача данных по локальной сети происходит после последнего временного окна спила. Затем весь процесс повторяется пока не закончится сеанс измерений.

3.2. Время-цифровой преобразователь LE-78T

LE-78T представляет собой 32-канальный 16-разрядный ВЦП прямого счёта с ценой одного отсчета 5.00 нс, предназначенный для работы установки в бестриггерном режиме. Для выработки сигналов заполнения частота 25 Гц импульсной последовательности F умножается в модуле LE-78T до 200 МГц. Регистрация времени прихода сигнала происходит во всех каналах в рамках текущего спила в течение сигнала временного окна TW (TIME WINDOW) независимо друг от друга. «Мертвое время» введено специально для устранения 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 мксек. Максимальное количество сигналов 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 (итого 2 блока FIFO на один ВЦП) 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 модуля 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.

Указанная схема записи/считывания из FIFO обуславливает некоторые особенности в структуре считываемых из модуля ВЦП данных.

1. Номера сработавших каналов в пределах одного FIFO (16 каналов регистрации, номера адресов МИСС с 0 по 15 для первого FIFO и с 16 по 31 для второго FIFO) и соответствующие времена будут считываться не по порядку 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 каналов (второго FIFO) номера временных окон также будут изменяться монотонно начиная с раннего.

Разброс временного разрешения из-за разности значений «цены» одного отсчета (в нс) отсутствует при переходе от одного ВЦП к другому. Считанные данные упакована в слова, пронумерованные с единицы. Формат упаковки приведен в таблице, где показаны два последовательных слова из потока информации, а также два заключительных слова, которые рассмотрим особо. В предпоследнем слове в данных всегда находится ноль. В последнем слове в поле данных содержится длительность спила в отсчётах ВЦП (т. е. максимально возможное измеренное время), а в адресной части всегда ноль. Указанные нули могут использоваться как разделители между данными, прочитанными с различных модулей. Если в модуль за спил ничего не попа- ло, он выдаст только два последних слова.

Таблица. Формат блока данных, считываемых из ВЦП LE-78T. Обозначения: DA и AD — поля данных и адреса соответственно. Временные измерения поступают в отсчетах ВЦП, один отсчет равен 5.000 нс. Показаны только два последовательных слова из потока информации (нечетное и четное, нумерация слов начинается с единицы), а также два заключительных слова (предпоследнее и последнее), играющие роль разделителя данных.

№ слова	Разряды DA																Разряды AD															
	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0					
нечет.	Время от начала спила до прихода сигнала																№ модуля				№ канала											
чет.	№ временного окна								№ канала								№ модуля				№ канала											
п.пос.	0																№ модуля				Свободны											
пос.	Полное время спила (spill)																0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Рассматриваемые ВЦП предназначены для измерения временных промежутков, не превышающих время дрейфа в трубке от катода к аноду, которое для наших трубок не более 800 нс. Интегральная нелинейность ВЦП LE-78T, построенного по принципу прямого счёта, 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-и ВЦП. 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 ВЦП ЛЭ-78Т, сделаны 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 (МЗР) и определяется максимальной ошибкой квантования при оцифровке ($\pm 2,5$ нс).

Дифференциальная нелинейность обусловлена временными характеристиками FPGA ALTERA EP1K50QC208-3, на которой реализованы счётчики импульсов, а именно величиной временной «дрожь» (jitter), не превышающей $\pm 0,25$ нс [17]. Таким образом, величина дифференциальной нелинейности ВЦП не превышает единицы МЗР и также определяется максимальной ошибкой квантования при оцифровке.

4. Программная архитектура системы

Общая программная архитектура сбора данных, контроля и управления детектором представлена на рис. 3. Она включает следующие логические части: главная управляющая система (GCS), программа сбора данных (DAQ), система медленного контроля (SCS) и база данных (DATA BASE) с ее редактором (odbedit).

Отметим, что пользователи математического обеспечения разбиваются на три группы: оператор, эксперт, разработчик. Эксперт перекрывает права оператора, разработчик обладает всеми правами. Рассмотрим функции программ, обслуживающих детектор.

4.1. 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 автоматическое начало нового сеанса, число временных окон, длительность окна, режим работы - триггерный/бестриггерный, тип сеанса и т. п.

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

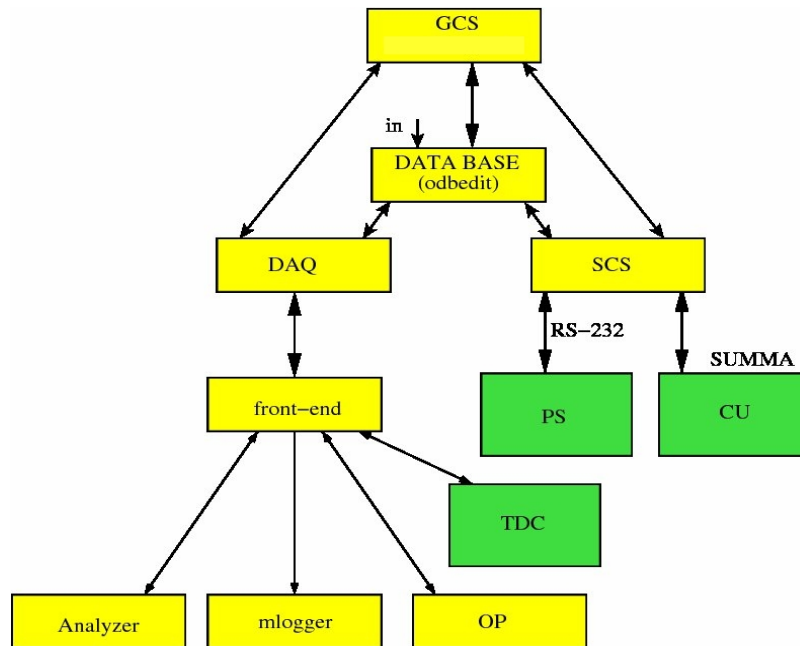


Рис. 3. Программная архитектура сбора данных, контроля и управления детектора. Обозначения: GCS — главная система управления; DAQ — система сбора данных, front-end — программа считывания данных из время-цифровых преобразователей (TDC), analyzer — программа для анализа, оперативной (on-line) реконструкции 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.

4.2. Главная система управления

Главная система управления GCS запускается оператором. В результате появляется ее графический интерфейс с набором виртуальных кнопок и транспарантов, позволяющих выбрать наиболее часто изменяемые параметры и запустить/остановить/прервать требуемый режим работы (рис. 4.) Интерфейс предоставляет возможность установить номер сеанса измерений, число спиллов в сеансе, количество временных окон, а также вручную задать значение высокого напряжения. Изменение любых других параметров, таких как, например, длительности временного окна и пр., предусмотрено через графический интерфейс базы данных.

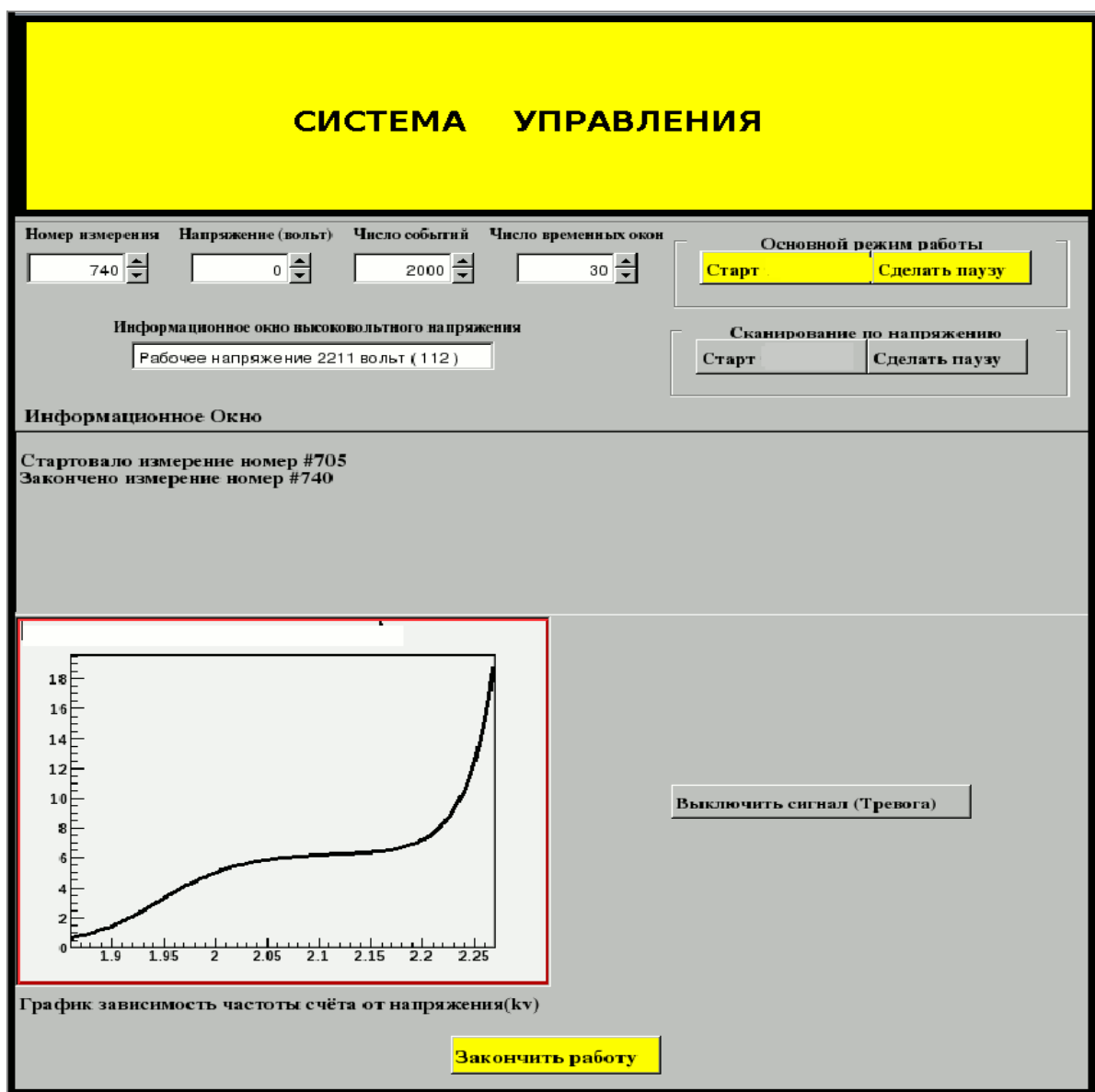


Рис. 4. Главная графическая панель системы управления детектором. Состояние виртуальных кнопок и транспарантов соответствует моменту завершения высоковольтного сканирования и автоматическому определению рабочей точки по высокому напряжению. Сплошная кривая показывает результат фита измеренной счетной характеристики трубок. Найденное рабочее напряжения составляет 2211 В.

Запуск необходимого режима осуществляется нажатием соответствующей кнопки «Старт» на графическом интерфейсе системы управления детектором. На рис. 4

показано состояние указанного интерфейса, соответствующее моменту завершения запущенного высоковольтного сканирования и автоматическому определению рабочей точки по высокому напряжению.

На информационном транспаранте интерфейса отображается установленное на дрейфовых трубках значение высокого напряжения как в вольтах, так и в отсчетах. В режиме высоковольтного сканирования оперативно показывается 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). Система выключит детектор, если персонал не отреагирует на тревогу в течении определенного времени.

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, см. рис. 5. На этом рисунке для компактности собраны вместе ряд служебных экранов системы. По желанию оператора они выводятся на разные столы компьютера.

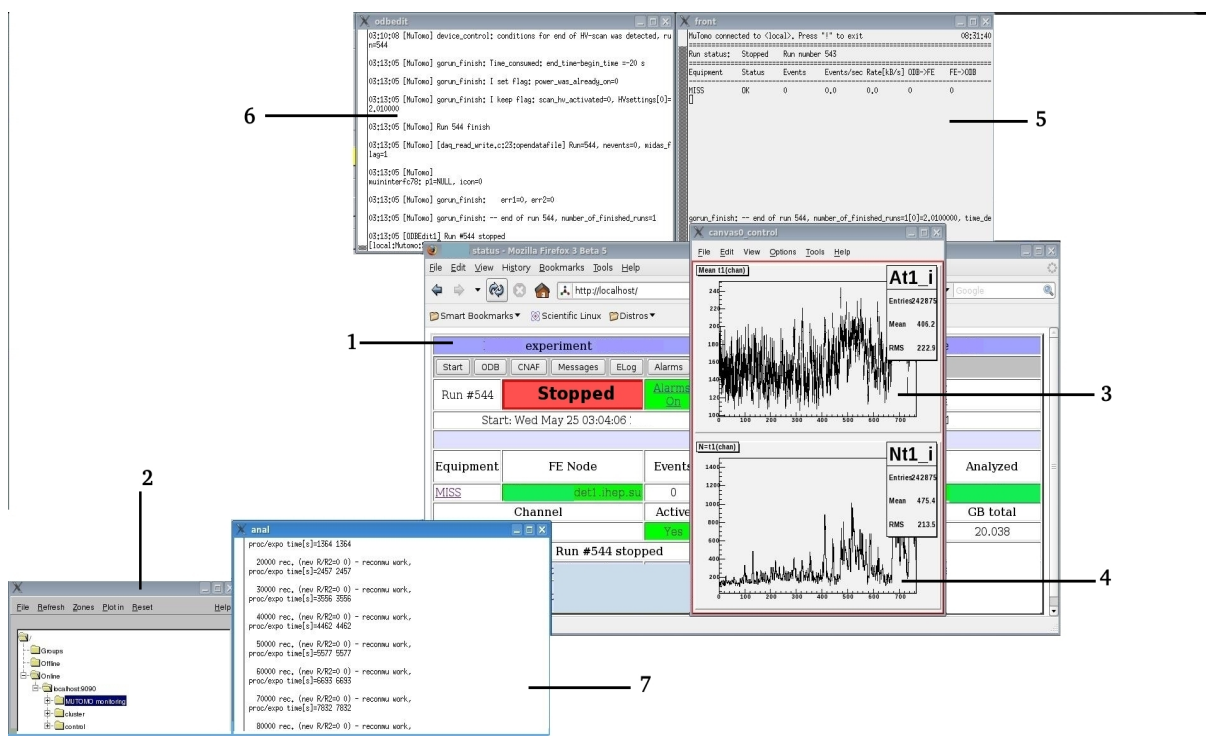


Рис. 5. Собранные вместе служебные экраны системы (они могут быть разнесены по разным столам компьютера по желанию оператора): 1 — графический интерфейс навигатора базы данных, 2 — навигатор goody по гистограммам в реальном времени, 3,4 — информационные окна с выведенными распределениями среднего время в канале и числа попаданий в канал, 5,6,7 — мониторы вывода сообщений от запущенных процессов.

4.3. Система сбора данных

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

Программа **front-end** является основной программой DAQ. Ее задача состоит во взаимодействии с быстрой электроникой считывания данных. Она непосредственно управляет контроллерами во всех типах сеансов и считывает данные из их буферов, а также осуществляет сопряжение протокола магистрали QBUS с шиной компьютера PCI.

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

Программа **analyzer** является «on-line» версией программы реконструкции с включением функции мониторинга текущей обстановки. На рис. 6 представлен пример оперативно (in-line) реконструированной картины события, показываемой в реальном времени оператору.

Операторская программа (OP) предназначена для отображения реконструированного объекта и настройки визуализации

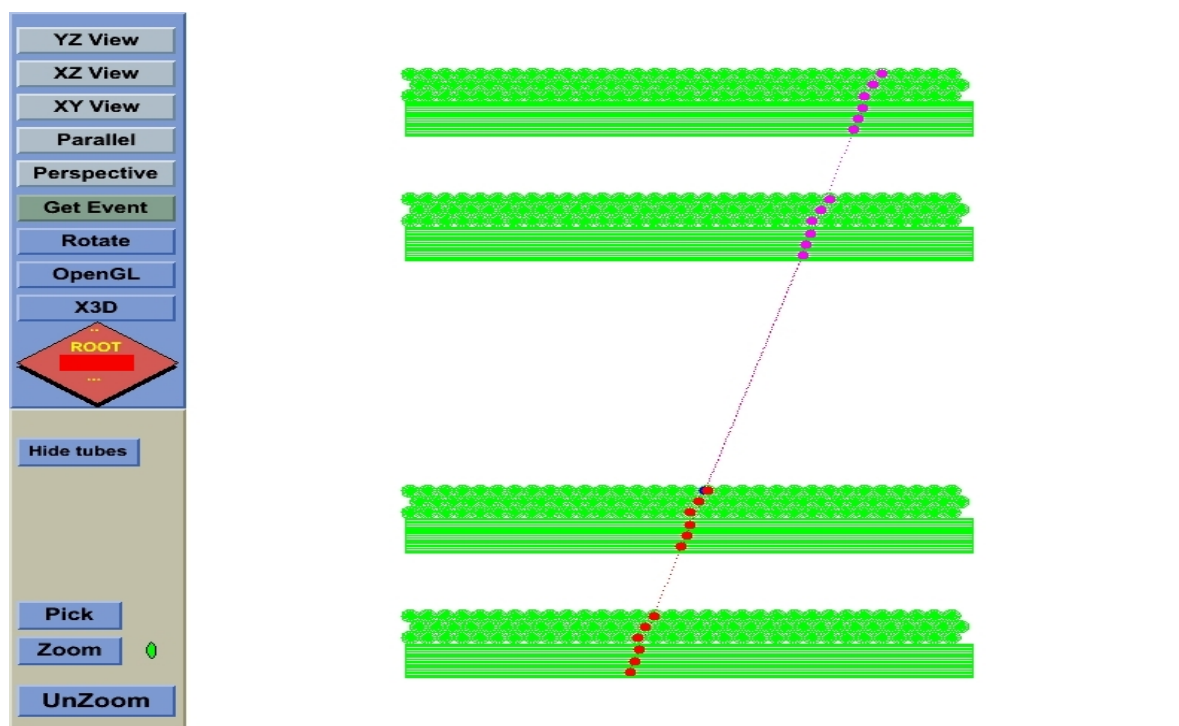


Рис. 6. Пример оперативно (on-line) реконструированной в детекторе картины события, показываемой в реальном времени для оператора программой analyzer. Сплошные линии дают восстановленную траекторию частицы. Слева — операторская панель управления демонстрацией картины для выбора частоты смены кадров, рассматриваемой проекции и пр.

4.4. Система медленного контроля

Система медленного контроля производит все необходимые действия по конфигурированию установки, приведению ее в рабочее состояние с подачей высоковольтного питания на дрейфовые трубки и запуска сбора данных с контролем функционирования. Управление источником питания реализовано в рассмотренной выше концепции машины/автомата с конечным числом состояний. При обнаружении ошибки — отсут-

ствие питания, плохой тест контроллера, слишком большое количество «мертвых» или «генерирующих каналов» система объявляет тревогу и при отсутствии реакции со стороны персонала в течение определенного времени выключает детектор.

5. Применения системы

Ниже будут рассмотрены примеры применения ССДУ для следующих типов сеансов — генераторного, сканирующего, калибровочного, физического. На рис. 7 показана найденная в генераторном сеансе зависимость относительных временных задержек каналов от номера трубки. Указанные задержки для корректной работы программ реконструкции достаточно определить с точностью до общей аддитивной константы (последняя была выбрана из требования обращение в ноль задержки одного из каналов — для определенности номер пять).

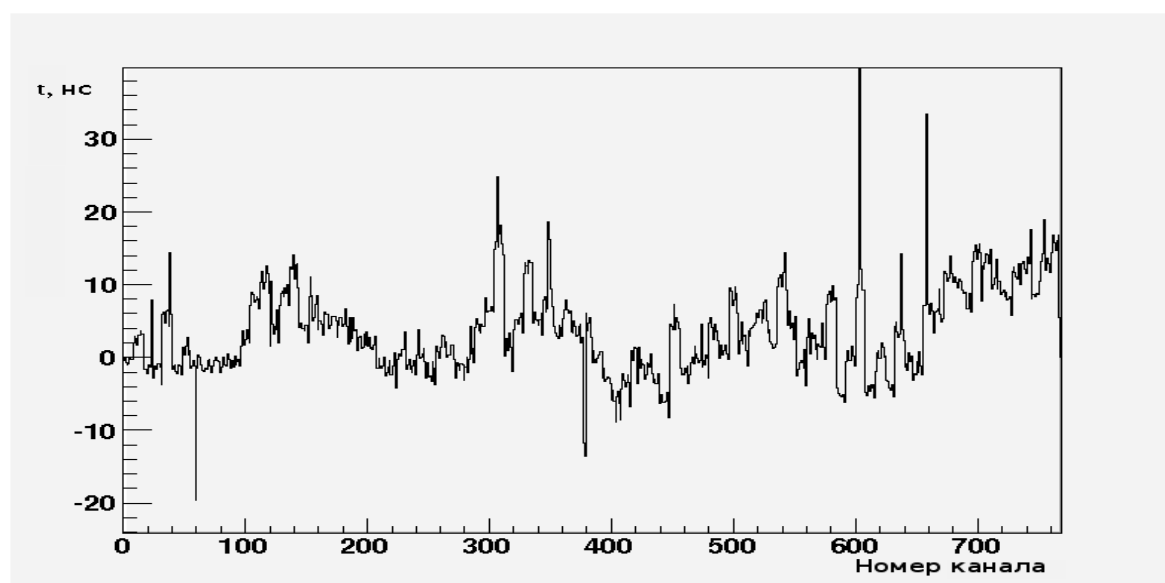


Рис. 7. Найденная в генераторном сеансе зависимость относительных временных задержек каналов t (нс) от их номера, которые для корректной работы программ реконструкции достаточно определить с точностью до общей аддитивной константы (последняя была выбрана из требования обращение в ноль задержки одного из каналов — для определенности номер пять).

Результат использования системы в сканирующих сеансах для автоматического определения рабочей точки по высокому напряжению был показан выше на рис. 4 при описании главного графического интерфейса.

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 $t(r)$ для каждой трубки от расстояния трека до анодной проволоочки r . Для аппроксимации функции $t(r)$ использовалось полиномиальное приближение, где константный член дает искомую поправку к собственной задержке, а члены полинома в степени один и выше определяют $t(r)$ -зависимость. Начальное приближение для задержек бралось из показанных на рис. 7 результатов генераторных сеансов, а для начального приближения функции $t(r)$ использовались расчеты на основе измерений скорости дрейфа в зависимости от отношения E/p [18], где E — напряженность электрического поля, p — давление в газовой смеси $Ar+CO_2$. Полученные в ходе калибровки результаты представлены на рис. 8, где показаны найденная $t(r)$ -зависимость для одной типичной дрейфовой трубки и распределение поправок к собственным временным задержкам каналов для всего детектора на последней итерации калибровочной процедуры.

Рассмотрим применение ССДУ в наиболее распространенном типе сеансов — физическом. Пример оперативно реконструированной картины события, показываемой в реальном времени оператору, дан выше на рис. 6. На рис. 9 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, который дает параметр $\sigma=1.47$ мрад. Отсюда следует оценка измерительной угловой погрешности одного детектора около 1 мрад, что соответствует ожидаемой величине.

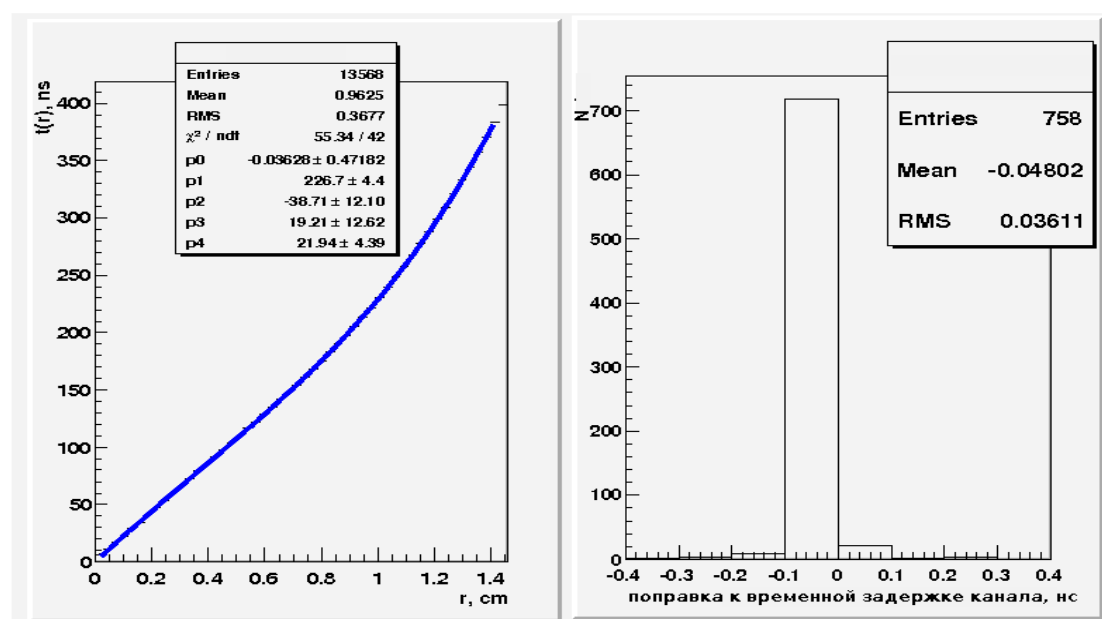


Рис. 8. Слева — найденная в результате калибровки зависимость времени дрейфа (нс) $t(r)$ от расстояния трека r (см) от анодной проволочки для одной типичной дрейфовой трубки, сплошная линия — полиномиальный фит данных; справа — распределение поправок к собственным временным задержкам каналов для всего детектора (данные соответствуют последней итерации калибровочной процедуры).

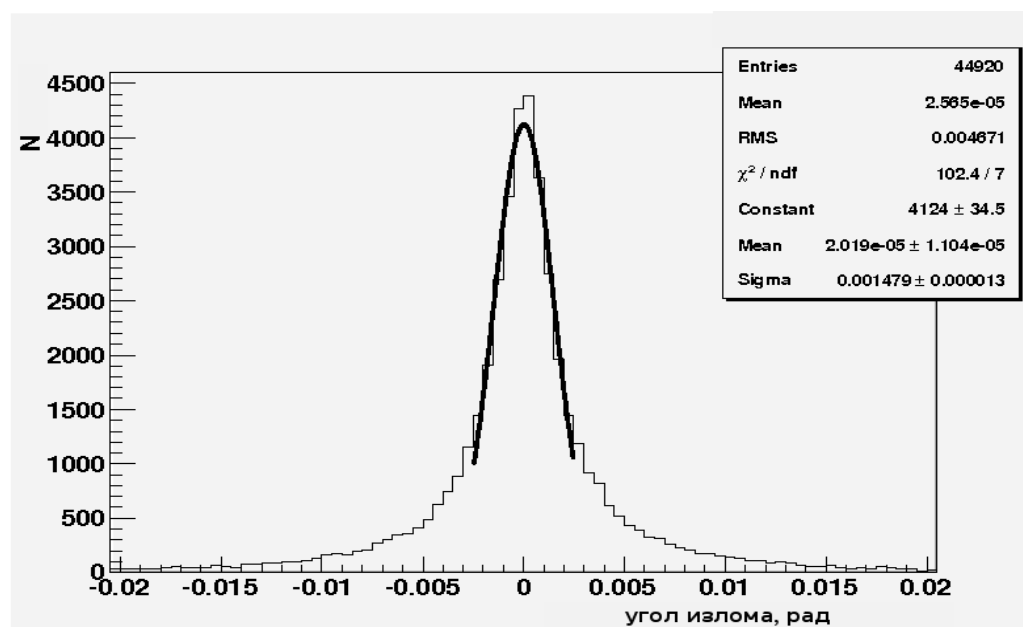


Рис. 9. Распределение по углу «излома» независимых реконструкций проходящего трека в двух последовательных идентичных детекторах на дрейфовых трубках, сплошной кривой показан фит данных функцией Гаусса.

Заключение

Описана структура системы сбора данных и управления многоканального детектора на дрейфовых трубках в стандарте электроники МИСС. Ее особенностью является использование специализированных контроллеров LE-83 и контроллера-таймера LE-83T, осуществляющего 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 происходит периодически через заданные программно промежутки времени. Полученная информация обрабатывается оперативно (on-line) с целью контроля аппаратуры, объявления тревоги при обнаружении неисправности и выдачи физических результатов непосредственно оператору, который взаимодействует с системой через графический интерфейс с возможностью конфигурирования установки.

Результаты представленных физических измерений показывают, что детектор, оснащенный рассматриваемой ССДУ, автоматически определяет и выставляет высокое напряжение в рабочей точке, калибруется и показывает ожидаемую от него высокую точность 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] A. Borisov, R. Fakhroutdinov, A. Kojine et al. Nucl. Inst. Meth. A, 494 (2002), 214-217.
- [3] J. Bensinger, N. Wojko, A. Borisov et al., Nucl. Inst. Meth. A, 494 (2002), 480-486.
- [4] Борисов А.А., Боголюбский М.Ю., Божко Н.И. и др. Препринт ИФВЭ 2011-7 (послано в ПТЭ).
- [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, N 1, с. 67-75.
- [8] Боголюбский М.Ю., Викторов В.А., Онучин В.А. и др., ПТЭ, 2007, N 5, с. 93-101.
- [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.

Рукопись поступила 21 февраля 2012 г.

М.Ю. Боголюбовский и др.

Система сбора данных и управления в стандарте электроники МИСС
для детектора на дрейфовых трубках.

Препринт отпечатан с оригинала-макета, подготовленного авторами.

Подписано к печати 14.03.2012. Формат 60 × 84/16. Офсетная печать.
Печ.л. 1,5. Уч.– изд.л. 2,2. Тираж 80. Заказ 34. Индекс 3649.

ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий
142281, Протвино Московской обл.

Индекс 3649

ПРЕПРИНТ 2012-4, ИФВЭ, 2012
