

## ПРИМЕНЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ

УДК 539.1.07

### СИСТЕМА СБОРА ДАННЫХ УСТАНОВКИ ФОДС

© 2012 г. А. А. Волков, В. П. Ефремов, А. Ю. Калинин, А. В. Кораблёв, А. Н. Криницын,  
В. И. Крышкин, Н. В. Кулагин, В. В. Скворцов, В. В. Талов, Л. К. Турчанович,  
В. И. Якимчук, М. М. Солдатов, Ю. Д. Карпеков, Н. А. Шаланда

ГНЦ РФ “Институт физики высоких энергий”

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

Поступила в редакцию 08.09.2011 г.

Описана система сбора данных установки ФОДС (фокусирующий двухплечевой спектрометр). Информация с каждого блока регистрирующей электроники вычитывается по триггеру при помощи высокоскоростного контроллера ЛЭ-74 с буферной памятью и по концу сброса при помощи карты расширения PCI 7200 передается в память компьютера. Все крейты читаются параллельно, что обеспечивает высокое быстродействие системы (8000 событий на плечо спектрометра за цикл). Система позволяет вычитывать данные с детекторов разного типа (дрейфовые камеры, пропорциональные камеры, калориметры, спектрометр колец черенковского излучения и др.), обладает высокой гибкостью, т.е. обеспечивает прием информации по нескольким типам триггеров (инклюзивы, совпадения плеч, две частицы в одном плече и др.), и дает возможность проводить калибровочные измерения детекторов в каждом цикле. Программная часть основана на проекте MIDAS с открытым исходным кодом и позволяет контролировать работу всех детекторов в процессе эксперимента.

#### 1. ВВЕДЕНИЕ

Спектрометр ФОДС (фокусирующий двухплечевой спектрометр) предназначен для изучения одиночного и парного образования адронов с большими поперечными импульсами в адрон-адронных взаимодействиях [1]. Для исследования более редких процессов проведена существенная модернизация детекторов и электроники, что в свою очередь потребовало заметных изменений в программном обеспечении системы сбора данных. В работе представлена новая система сбора данных с предшествующим кратким описанием детекторов и электроники установки.

#### 2. РЕГИСТРИРУЮЩАЯ ЭЛЕКТРОНИКА УСТАНОВКИ ФОДС-2

Модернизация электроники обусловлена:

- 1) физическим и моральным ее старением;
- 2) требованием увеличения быстродействия установки;
- 3) изготовлением новых детекторов;
- 4) требованием однотипности регистрирующей электроники.

##### 2.1. Триггерная система

Запуск считывающей электроники каждого плеча ФОДС-2 осуществляется от инклюзивного триггера *TRS* (*TRN*), вырабатываемого совпадением сцинтилляционных счетчиков  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  ( $N_1$ ,  $N_2$ ,  $N_3$ ) и адронных калориметров [1]. Здесь же со-

здаются и триггеры для калибровки аппаратуры. Триггер на инклюзивные пары формируется совпадением *TRS* и *TRN*.

Электроника логики установки выполнена в стандарте СУММА [2], вся остальная регистрирующая электроника – в стандарте МИСС [3] (ее краткое описание приведено ниже).

##### 2.2. Электроника дрейфовых камер

В состав электроники дрейфовых камер (д.к.) входят:

- 1) 8-канальные усилители, размещаемые на самих камерах;
- 2) электроника в стандарте МИСС:
  - по два крейта на каждое плечо спектрометра для размещения электронных блоков;
  - времяцифровые преобразователи (в.ц.п.) (56 штук – по 28 штук в каждом плече);
  - разветвители сигналов.

##### 2.3. Электроника годоскопов

В крейте № 2 каждого плеча размещены также 8 блоков в.ц.п. и обслуживающие их модули (2 штуки) электроники годоскопов. На них подается свой *S*-строб сигнал. В.ц.п. для годоскопов имеют разрешение 1 нс и время дрейфа 200 нс.

##### 2.4. Электроника пропорциональных камер

В настоящее время на установке ФОДС используется 12 пропорциональных камер (п.к.).

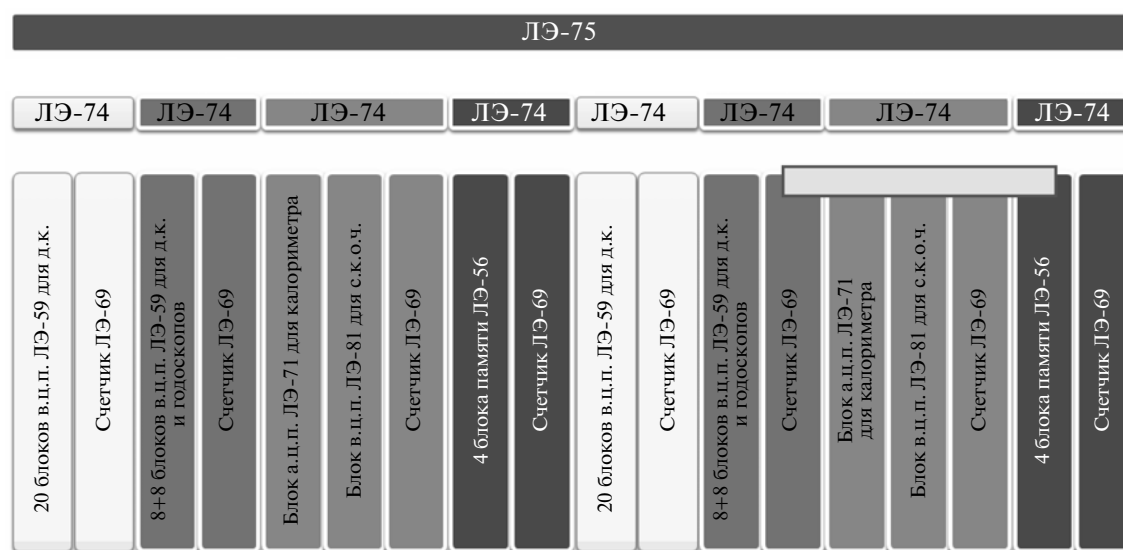


Рис. 1. Общая схема системы сбора данных ФОДС-2.

Общее количество каналов составляет 4600. Сигналы с камеры через 8-канальные усилители (порог срабатывания 2 мВ) с парафазным выходом по 50-метровым скрученным парам передаются на регистры ЛЭ-15 [4], информация с которых вычитывается при помощи контроллера ЛЭ-91 в памяти ЛЭ-56 [5]. Контроллер ЛЭ-91 для чтения подает в регистры ЛЭ-15 строб-сигналы регулируемой длительности (50–150 нс). Общее количество секторов МИСС для п.к. на установке ФОДС-2 составляет 8 штук. Сектором называется половина крейта. Задержка сигналов с камер в кабелях, усилителях УПК-8 и “дрейфовых” зазорах составляет ~300 нс. Задержка триггерной системы по отношению к прошедшей частице равна 250 нс.

### 2.5. Электроника спектрометра колец черенковского излучения

В качестве фотодетекторов в электронике спектрометра колец черенковского излучения (с.к.о.ч.) [6] используются годоскопические фотоумножители (ф.э.у.) [7] (24 штуки на плечо). Сигналы с них дополнительно усиливаются в 10 раз и поступают на вход в.ц.п., которые также используются для временных измерений сигналов со сцинтилляционных счетчиков. Точность измерения времени равна 2 нс.

### 2.6. Электроника калориметра и пороговых черенковских счетчиков

Для амплитудных измерений с калориметров и с широкоапертурных черенковских счетчиков используется а.ц.п. ЛЭ-71 [8] с числом входов 8, чувствительностью 250 пКл/канал, числом кана-

лов 4096. Время вычитывания информации равно 18 мкс. Длительность стробирующего импульса (40–150 нс) задается переключателем в блоке.

## 3. СБОР ДАННЫХ УСТАНОВКИ ФОДС. АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС

После проведенной модернизации установки ФОДС-2 и перевода ее на более быструю электронику в стандарте МИСС была внедрена новая система сбора данных. Чтение и запись информации с аппаратуры спектрометра осуществляются под управлением программы MIDAS [9]. Общая схема системы сбора данных ФОДС-2 приведена на рис. 1.

Каждый читаемый электронный модуль имеет свое служебное и информационное слово. Для чтения и записи данных блок таймера вырабатывает сигнал начала *BS* и конца *ES* чтения. Он также формирует “физические” (длительностью 2 с) и калибровочные (длительностью 0.2 с) ворота, которые синхронизированы с циклом ускорителя У-70. Информация с каждого плеча читается независимо и последовательно, инклюзивные и парные триггеры регистрируются одновременно. Для калибровки аппаратуры (д.к., с.к.о.ч., сцинтилляционных счетчиков) организован свой калибровочный триггер. В этом случае события (~80 штук) от встроенного генератора таймера поступают в регистрирующую аппаратуру. Так называемая *End Spill* информация (счета мониторов, в том числе пучковых, триггеров, сцинтилляционных счетчиков) читается под управлением контроллера ЛЭ-88С и записывается в свой компьютер (pc4) один раз за цикл ускорителя после регистрации всех триггерных событий.

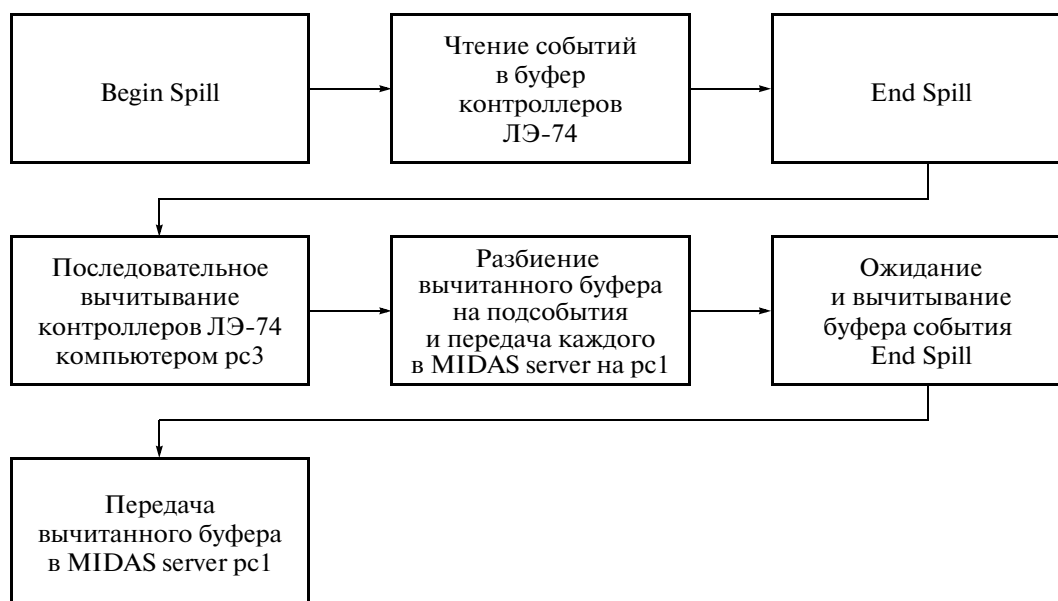


Рис. 2. Цикл работы программы Frontend.



Рис. 3. Цикл работы программы serv.C.

Информация с электроники каждого крейта (д.к., годоскопы) вычитывается по триггеру *TS* (*TN*) своим контроллером ЛЭ-74 [8] с памятью 8 МБ. В блоках ЛЭ-74 находится кварцевый генератор 20 МГц, несущая частота с которого по кроссу передается в блоки ЛЭ-59. Здесь же программно задается и длительность цуга ~15 мкс для оцифровки информации с д.к. На вход ЛЭ-59 поступают сигналы с д.к. или годоскопов. Запуск электроники происходит по сигналу с детектора, а останов – по концу стробирующего сигнала. Для получения необходимой точности сигнал в блоке ЛЭ-59 расширяется с коэффициентом 25 для д.к. и 40 для годоскопов. Данные с ЛЭ-59 вычитываются последовательно справа налево, при неисправности в каком-либо блоке прием останавливается. Нулевая информация не вычитывается.

Контроллер крейта ЛЭ-74 выдает сигнал *BUSY*. Эти сигналы со всех крейтов данного плеча поступают на сборку *ИЛИ*, а с нее – на схему совпадений выработки триггера для блокировки прихода следующего. Сюда же поступает и сигнал пучковых ворот *GATE*. В каждом крейте рядом с ЛЭ-74 для сшивки событий стоит не обнуляемый по триггеру 1 МГц счетчик ЛЭ-69 [10]. В него поступают триггерные счета, сигнал совпадений плеч и счет с генераторов 125 МГц и 1 МГц.

Модуль ЛЭ-71, регистрирующий амплитудную информацию с калориметров и черенковских счетчиков, является самым медленным электронным устройством установки ФОДС-2. Время оцифровки блоком амплитудных сигналов равно 10 мкс. Для увеличения быстродействия он располагается в отдельном секторе и вычитывается своим контроллером ЛЭ-74. Рядом с ним для сшивки событий также располагается счетчик ЛЭ-69.

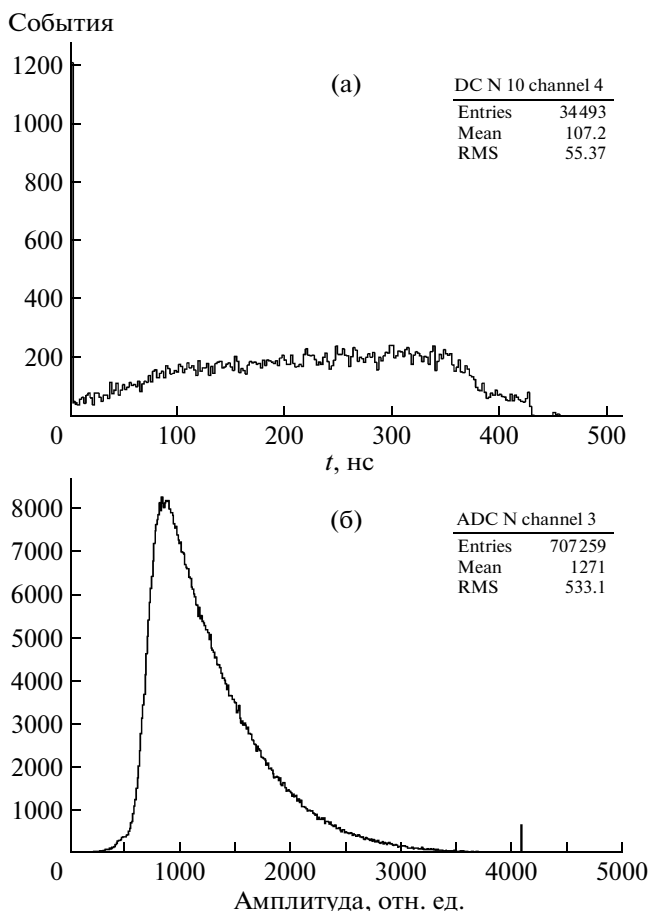


Рис. 4. Распределение времен дрейфа (а) и амплитудный спектр с калориметра (б).

Этим же контроллером читается информация с модуля в.ц.п. ЛЭ-81, обслуживающего с.к.о.ч. и временные счетчики.

Как уже было сказано выше, чтение и запись информации с каждого сектора п.к. осуществляются своим контроллером ЛЭ-91. Сигналы *BUSY* с этих контроллеров поступают на ту же сборку *ИЛИ*, что и с контроллеров ЛЭ-74 для д.к. В плече электроника п.к. занимает 4 сектора. Данные с п.к. вычитываются по триггеру и передаются в блоки памяти ЛЭ-56 (4 штуки). Последние вычитываются контроллером ветви ЛЭ-74 по сигналу *ES*.

Контроллеры крейта ЛЭ-74 являются ключевыми модулями системы сбора данных ФОДС-2, принимающими информацию со всех детекторов данного плеча установки. В ЛЭ-74 она запоминается, по концу пучковых ворот (сигнал *ES*) последовательно передается в блок ЛЭ-75 [8] и далее — в плату РС17200 [11] п.к. Информация с плеч спектрометра вычитывается по циклам интенсивности: сначала одно плечо, затем другое. После прочтения каждого из блоков ЛЭ-74 на следующий контроллер поступает разрешающий сигнал *ENABLE OUT*. Информация с РС17200 записыва-

ется на диски и обрабатывается по программам технического контроля работы детекторов установки ФОДС-2.

#### 4. ПРОГРАММНАЯ ЧАСТЬ

Программная часть системы сбора данных на установке ФОДС основана на проекте MIDAS [9] версии 1.9.3 с открытым кодом. Комплект программ, использованных на установке, состоит из следующих:

1) MIDAS server — сервер входящих подключений для front-end компьютеров и обработчик веб-команд управления;

2) Frontend — программа сбора МИСС буфера данных, разбиения его по подсобытиям (событиям одного триггера контроллера ЛЭ-74) и передачи в MIDAS server, а также сервер входящих подключений для программы, собирающей данные с корзины СУММА и пучковой информации;

3) Analyzer — программа on line анализа подсобытий, приходящих в MIDAS server;

4) Logger — программа записи приходящих событий на жесткий диск;

5) Histview — программа, читающая нужные пользователю гистограммы из уже проанализированных событий;

6) программа serv.C, написанная под графической оболочкой Root, собирающая данные с корзины СУММА и являющаяся сервером входящих подключений для приема информации с канала пучков.

В системе приема информации задействованы три компьютера:

1) Fods-2 (локальное имя pc1), на котором запускаются программы: MIDAS server, Logger, Analyzer, Histview;

2) pc3, отвечающий за работу программы Frontend;

3) Fods-pc4 (локальное имя pc4), на котором работает программа serv.C.

Первым запускается MIDAS server командой `./initmidas` на pc1, при этом становятся доступными управление через интерпретатор веб-страниц для запуска/остановки сбора и просмотр состояния запущенных приложений MIDAS. При необходимости записи данных на жесткий диск компьютера запускается программа Logger командой `mlogger`. Быстрый анализатор событий может быть запущен с любого компьютера в локальной сети с установленным MIDAS 1.9.3 командой `./analyzer-h pc1`. На pc3 запускается программа Frontend командой `./frontend-h pc1`. И последний шаг — с компьютера pc4 из под оболочки Root запускается `.x serv.C` для приема информации End Spill.

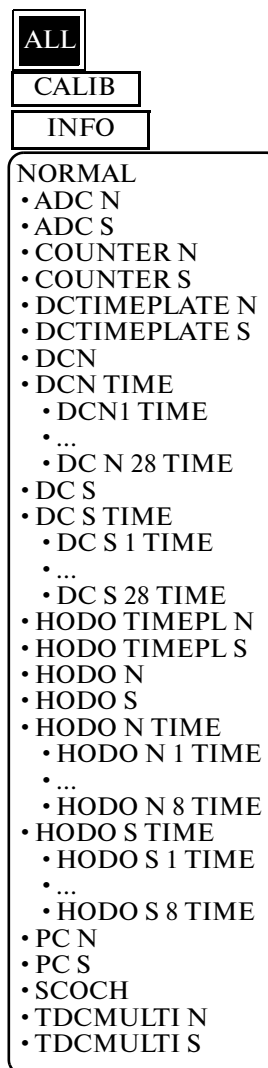
При нажатии кнопки “start” в окне MIDAS server вводится номер текущего запуска, и вся цепочка программ начинает работу.

Программа Frontend на рс3 (рис. 2) собирает данные корзины МИСС, т.е. по сигналу *Begin Spill*, приходящему с блока управления ЛЭ-90 на все контроллеры ЛЭ-74, последние накапливают данные в своей памяти и по концу физических ворот начинают последовательную передачу всей накопленной информации в рс3 через плату pci7200. После того как все контроллеры ЛЭ-74 закончили передачу, рс3 начинает быстрый анализ, т.е. разбирает буфер на события, которые формируются в каждом ЛЭ-74 на триггер.

Таким образом, программа Frontend на рс3 пропускает в буфере заданное количество слов, проверяет целостность информации, так чтобы при этом указатель в буфере попал именно на начало следующего события, формирует для него массив данных, присваивает ему тип 1 (МИСС) и отправляет его на MIDAS server. После того как последнее событие цикла интенсивности было передано, Frontend становится сервером входящих подключений для приема информации End Spill, считанной программой serv.C. После прочтения данных Frontend присваивает полученному буферу тип 2 (End Spill) и передает его на рс1. Таким образом, Frontend работает циклично до остановки текущего приема.

По команде *End Spill* блока управления ЛЭ-90 программа serv.C (рис. 3) на компьютере рс4 начинает чтение корзины СУММА через контроллер ЛЭ-88С и плату pci. В корзине СУММА расположены счетчики, на которые заведены счета пучковых мониторов и триггеров, пришедшие за цикл. После их прочтения программа входит в режим ожидания информации с профилометров и ионизационных мониторов, которая приходит через открытый канал связи по протоколу TCP/IP с компьютера отдела пучков. По окончании чтения программа serv.C выполняет требуемые вычисления, строит на экране монитора гистограммы, необходимые для анализа прошедшего цикла интенсивности, формирует буфер и передает его на Frontend рс3 при активном ране, в противном случае пропускает передачу и входит в цикл ожидания сигнала *End Spill*.

Программа Analyzer подключается к текущему событию MIDAS server при наличии времени и обрабатывает его, создавая гистограммы. С целью их систематизации в исходные файлы MIDAS — mapa.c и gmidas.c — были внесены изменения, позволяющие расположить гистограммы не одним списком, а по папкам (директориям). Таким образом, общая иерархия гистограмм имеет следующий вид:



Директория NORMAL содержит информацию о работе всех детекторов установки ФОДС-2. Директория CALIB по структуре совпадает с директорией NORMAL с тем лишь отличием, что события в нее попадают с признаком калибровки. В директории INFO содержатся гистограммы количества обработанных подсобытий для каждого контроллера ЛЭ-74 и количества пришедших триггеров за цикл. В директориях ADC содержатся по восемь гистограмм для каждого канала а.ц.п. COUNTER содержит по 16 гистограмм для каждого канала счетчика ЛЭ-69. В DCTIMEPLATE входят 28 гистограмм поступающей на в.ц.п. ЛЭ-59 временной информации для каждой плоскости дрейфовых камер. DC содержат 28 гистограмм профилей для каждой плоскости д.к. В папке DC#TIME можно посмотреть 16 временных гистограмм для каждой проволоки данной плоскости д.к. Структура директорий HODO совпадает со структурой директорий DC. По 6 гистограмм профилей для каждой из плоскостей пропорциональных камер содержится в PC. Внутри папки SCOCH находятся гистограммы множе-

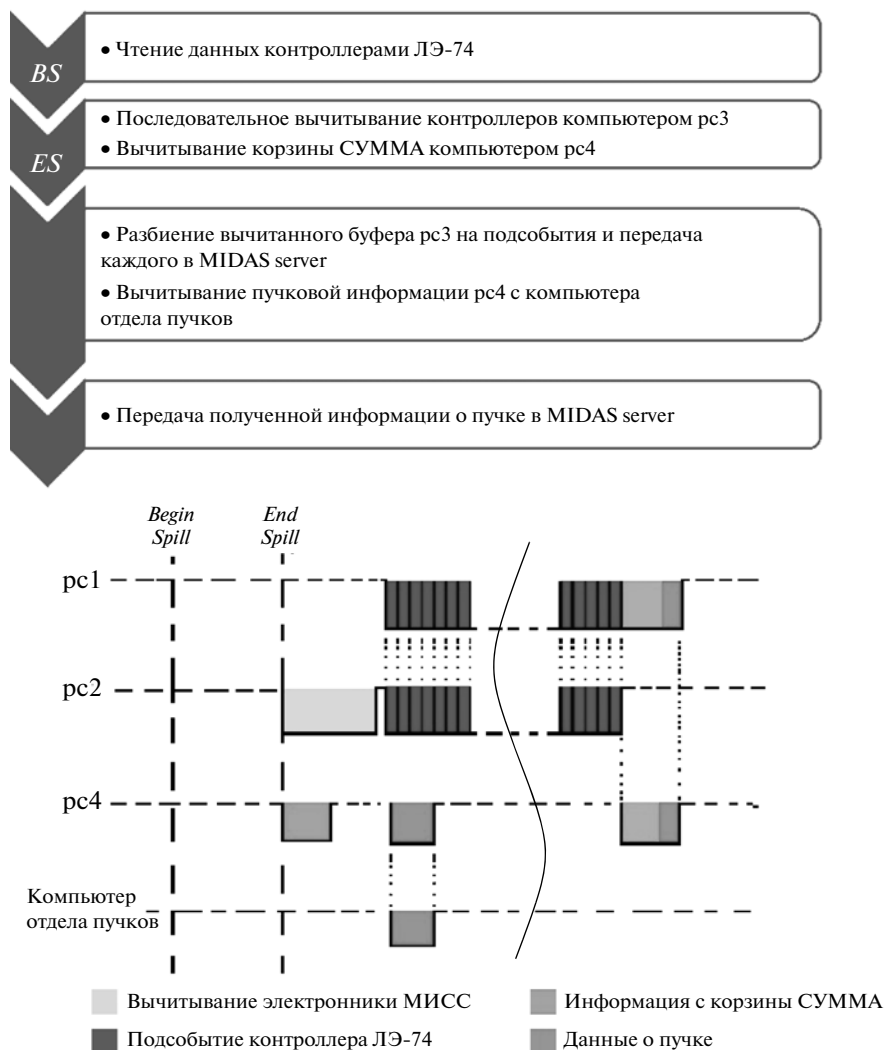


Рис. 5. Временная диаграмма приема.

ственности срабатывания каналов на триггер и профилей детекторов с.к.о.ч. TDC MULTI содержат по 32 гистограммы времен каждого канала с.к.о.ч.

Таким образом, программа Histview, подключившись к программе Analyser, посылает ей запрос на предоставление пользователю одной из 2916 гистограмм. По окончании измерений Analyser формирует root-файл гистограмм. Для иллюстрации на рис. 4 приведены временное распределение событий с д.к. (рис. 4а) и амплитудное распределение с калориметра (данные получены быстрым анализом в процессе набора) (рис. 4б).

Система сбора информации может принимать ~16000 триггеров за цикл (по 8000 на плечо), т.е. pc3 успевает разбить и передать ~64000 подсобытий контроллеров ЛЭ-74 за промежуток времени между командами *End Spill* и *Begin Spill*, что зани-

мает ~15 МБ данных. Временная диаграмма приема представлена на рис. 5.

#### ФОРМИРОВАНИЕ СОБЫТИЯ ИЗ ПОДСОБЫТИЙ ЛЭ-74

При записи на жесткий диск, как было сказано выше, подсобытия пишутся последовательно. Чтобы сформировать триггерное событие, нужно иметь в памяти четыре подсобытия с каждого ЛЭ-74 с данного плеча. Для этого при запуске программы Analyser после приема формируются 10 файлов: восемь – для каждого ЛЭ-74, один – для событий ES и еще один, в котором в виде таблицы хранится информация о количестве пришедших подсобытий за данный цикл интенсивности для каждого ЛЭ-74.

Программа Connection, написанная для Windows, считывает директорию с нужными файла-

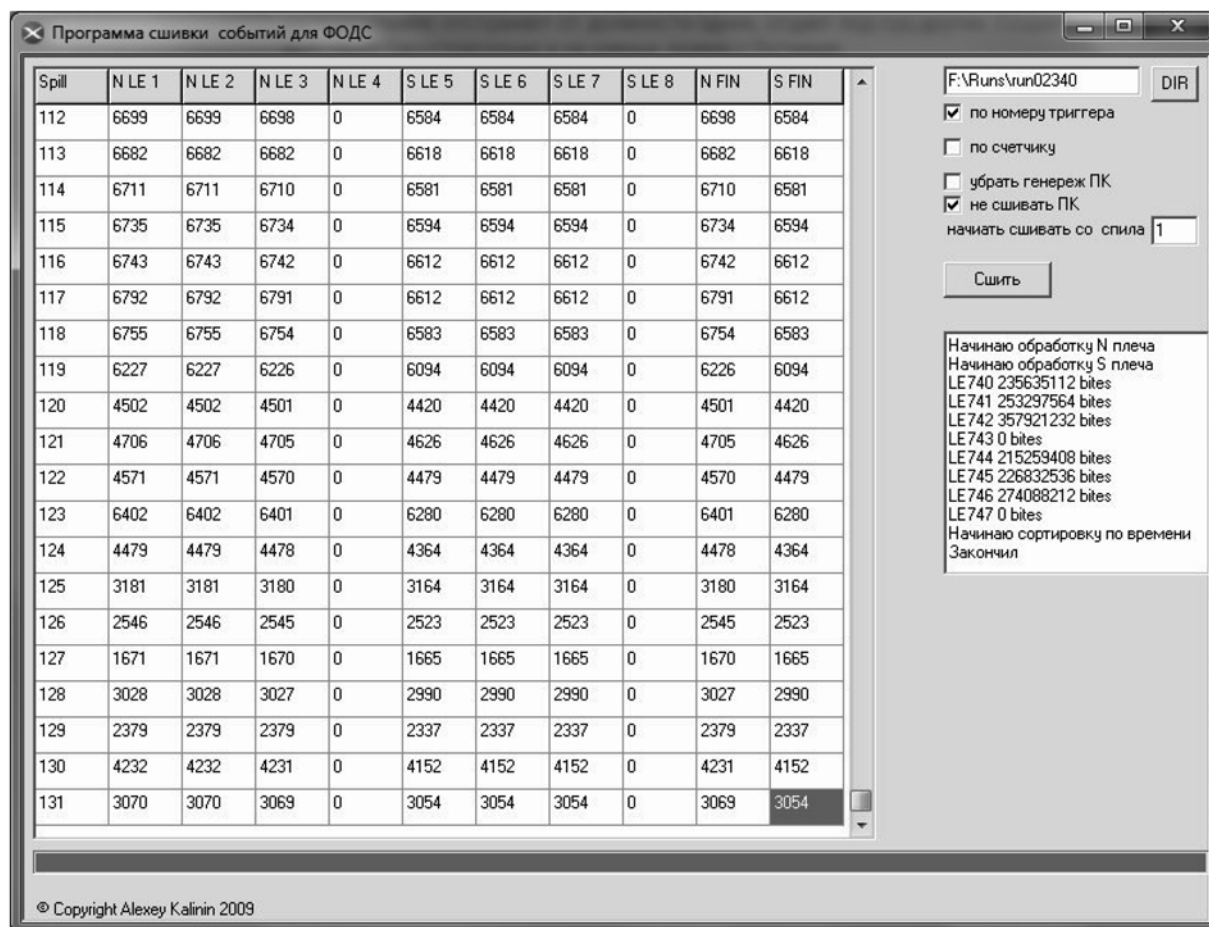


Рис. 6. Пример окна работы программы connection.exe.

ми, начинает вычитывать по четыре подсобытия с файлов и проверяет их на принадлежность одному триггеру. Далее программа преобразует информацию в формат, необходимый для дальнейшей обработки, сортирует события по времени прихода от начала цикла по сигналу от генератора с частотой 1 МГц, поступающему на счетчик ЛЭ-69. Таким образом, после окончания работы программы файл с данными уже имеет формат, доступный для последующей обработки, и триггеры совпадения между плечами находятся друг за другом. Пример окна программы показан на рис. 6.

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В связи с модернизацией установки ФОДС и переходом на более быструю электронику в стандарте МИСС внедрена новая система сбора данных, основанная на программном комплексе MIDAS и имеющая следующие основные характеристики:

1) информация с каждого блока регистрирующей электроники с заданного крейта вычитывается по триггеру при помощи высокоскоростного

контроллера ЛЭ-74, запоминается в нем и по концу цикла интенсивности через адаптер ЛЭ-75 передается в компьютер через PCI-7200, все крейты читаются параллельно, что обеспечивает высокое быстродействие системы (8000 событий на плечо за цикл интенсивности);

2) позволяет быстро вычитывать данные с детекторов разного типа (д.к., п.к., калориметры, с.к.о.ч. и др.);

3) обладает высокой гибкостью, т.е. позволяет принимать информацию по триггерам нескольких типов (инклюзивы, совпадения плеч, две частицы в одном плече и др.);

4) позволяет вести калибровочные измерения параметров детекторов в каждом цикле в процессе набора физической информации, для чего имеются свои калибровочные ворота, куда подаются сигналы от специального генератора.

5) программная часть системы сбора данных позволяет не только читать и записывать информацию на жесткий диск, но и в процессе набора вести анализ работы различных детекторов; отображение информации осуществляется под управ-

лением программы Histview с графической оболочкой Root.

б) Endspill-информация (мониторы, профилометры, счета детекторов) записывается по концу каждого цикла интенсивности с отображением в виде гистограмм на мониторе.

В заключение авторы выражают свою искреннюю благодарность В.А. Сенько.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абрамов В.В., Балдин Б.Ю., Бузулуцков А.Ф. и др.* // ПТЭ. 1992. № 6. С. 75. (*Abramov V.V., Baldin B.Yu., Buzulutskov A.F. et al.* // ИЕТ. 1992. V. 35. № 6. P. 1006); *Абрамов В.В., Балдин Б.Ю., Бузулуцков А.Ф. и др.* Препринт ИФВЭ 91-144. Протвино, 1991.
2. *Алферова О.И., Бушнин Ю.Б., Денисенко А.А. и др.* Препринт ИФВЭ 74-122. Серпухов, 1974; *Алферова О.И., Бушнин Ю.Б., Денисенко А.А. и др.* // ПТЭ. 1975. № 4. С. 56.
3. *Бушнин Ю.Б., Ваньев В.С., Гончаров П.И. и др.* Препринт ИФВЭ 88-47. Серпухов, 1988.
4. *Карнеков Ю.Д.* Препринт ИФВЭ 01-54. Протвино, 2001.
5. *Исаев А.Н., Сенько В.А., Якимчук В.И.* Препринт ИФВЭ 99-31. Протвино, 1999.
6. *Абрамов В.В., Алексеев А.В., Балдин Б.Ю. и др.* // Nucl. Instrum. and Methods. 1985. V. A235. P. 497.
7. *Васильченко В.Г., Лапшин В.Г., Мониц Е.А. и др.* Препринт ИФВЭ-77-57. Серпухов, 1977.
8. *Боголюбский М.Ю., Викторов В.А., Петров В.С. и др.* Препринт ИФВЭ 2005-7. Протвино, 2005.
9. [http://www.nemu.web.psi.ch/doc/manuals/midas\\_manuals/midas-1.9.5.pdf](http://www.nemu.web.psi.ch/doc/manuals/midas_manuals/midas-1.9.5.pdf)
10. *Макаров Г.П., Медведев А.А., Петров В.С. и др.* Препринт ИФВЭ 2003-11. Протвино, 2003; *Макаров Г.П., Медведев А.А., Петров В.С. и др.* // ПТЭ. 2003. № 5. С. 68. (*Makarov G.P., Medvedev A.A., Petrov V.S.* // ИЕТ. 2003. V. 46. № 5. P. 639.)
11. <http://www.nudaq.com/download/PCI-7200/P7200%20Manual.PDF>