

P11-2011-96

В. Н. Швецов, Н. В. Астахова¹, Т. Л. Еник,
Л. В. Мицына, А. Б. Попов, И. М. Саламатин,
К. М. Саламатин², П. В. Седышев, А. П. Сиротин

**8-ВХОДОВАЯ СИСТЕМА TOF
ДЛЯ НЕЙТРОННО-ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ПО МЕТОДУ ВРЕМЕНИ ПРОЛЕТА**

Направлено в журнал «Приборы и техника эксперимента»

¹ГУП НИИ «Атолл», Дубна, Россия

²Международный университет природы, общества и человека «Дубна»,
Дубна, Россия

E-mail: shv@nf.jinr.ru ssast@mail.ru temur@nf.jinr.ru mitsyna@nf.jinr.ru
apopov@nf.jinr.ru salam@nf.jinr.ru del@tmpk.ru sed@nf.jinr.ru
sirotin@nf.jinr.ru

Швецов В. Н. и др.

P11-2011-96

8-входовая система TOF для нейтронно-ядерных исследований
по методу времени пролета

Разработаны электроника и программное обеспечение для регистрации времяпролетных спектров с малой шириной канала (10 нс). 8-входовый временной кодировщик позволяет измерять временные интервалы при интенсивности сигналов $10^5 \cdot 8$. Использование USB-интерфейса сделало систему мобильной. Программное обеспечение системы TOF включает управляющую программу, драйверный слой, программы управления сортировкой данных, обработкой данных и другие модули, представленные в исполняемом формате. Взаимодействие между модулями выполняется по сети и/или через специально разработанный интерфейс, основанный на механизме файлов, отображенных в память. Разработанная методика интеграции распределенной системы из компонентов в исполняемом формате повышает преемственность программного обеспечения, дает возможность выполнять сборку системы силами пользователя. Система позволяет проводить прецизионные эксперименты в условиях низкой интенсивности пучка нейтронов.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики им. И. М. Франка ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2011

Shvetsov V. N. et al.

P11-2011-96

8-Channel System for Neutron-Nuclear Investigations
by Time-of-Flight Method

In connection with commissioning of the IREN pulsed resonance neutron source, new electronics and appropriate software are developed for registration of time-of-flight spectra with small width of the channel (10 ns). The hardware-software system is intended for research of the IREN neutron beam characteristics, properties of new detectors, and also for performance of precision experiments under conditions of low intensity or registration of rare events.

The time encoder is the key element of the system hardware. It is developed on the basis of the Cypress-technologies. The unit can measure time intervals for signals intensity up to 10^5 for each of eight inputs. Using a USB interface provides system mobility.

The TOF System Software includes the control program, driver software layer, data sorting program and data processing utilities and other units, performed as executable applications. The interprocess communication between units is provided by network and/or by specially designed interface based on the mechanism of named files mapped into memory. This method provides fastest possible communication between processes.

The developed methods of integrating the executable components into a system provide a distributed system, improve the reusing of the software and provide the ability to assemble the system by the user.

The investigation has been performed at the Frank Laboratory of Neutron Physics, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2011

ВВЕДЕНИЕ

В связи с вводом в эксплуатацию линейного ускорителя ИРЕН [1] потребовалась разработка новой электроники для регистрации временных спектров с малой шириной канала и соответствующего программного обеспечения.

В данной работе описывается программно-аппаратная система регистрации времяпролетных спектров, предназначенная для исследования характеристик нового источника нейтронов (ИРЕН), новых детекторов, а также для выполнения прецизионных экспериментов в новых условиях [2].

В систему автоматизации эксперимента (САЭ) включены два специальных блока — временной кодировщик, разработанный в ЛНФ ОИЯИ, и предназначенный для местного и/или удаленного управления окружением образца многофункциональный микрошаговый контроллер 8SMC1-USBhF, описание которого можно найти на сайте фирмы [3].

1. ОПИСАНИЕ ВРЕМЕННОГО КОДИРОВЩИКА

Ключевым элементом аппаратной части системы является временной кодировщик. Устройство собрано на основе дискретной логики программируемой логической интегральной схемы Xilinx серии «Spartan3E» и микроконтроллера Cypress (см. [4]) серии FX2LP.

Функциональная схема временного кодировщика приведена на рис. 1.

Устройства защиты предназначены для ограничения по амплитуде импульсов напряжения и тока, вызванных разрядами статического электричества и наводками от мощных электромагнитных источников.

Уровень ограничения определен в соответствии с допустимыми параметрами последующих элементов схемы.

Конвертеры уровней осуществляют преобразование выходных сигналов нейтронных детекторов стандарта NIM-SAMAC в сигналы стандарта LV-TTL, необходимые для работы устройства.

Задающий генератор вырабатывает сигнал частотой 100 МГц, который используется для тактирования (синхронизации работы) всех остальных элементов схемы.

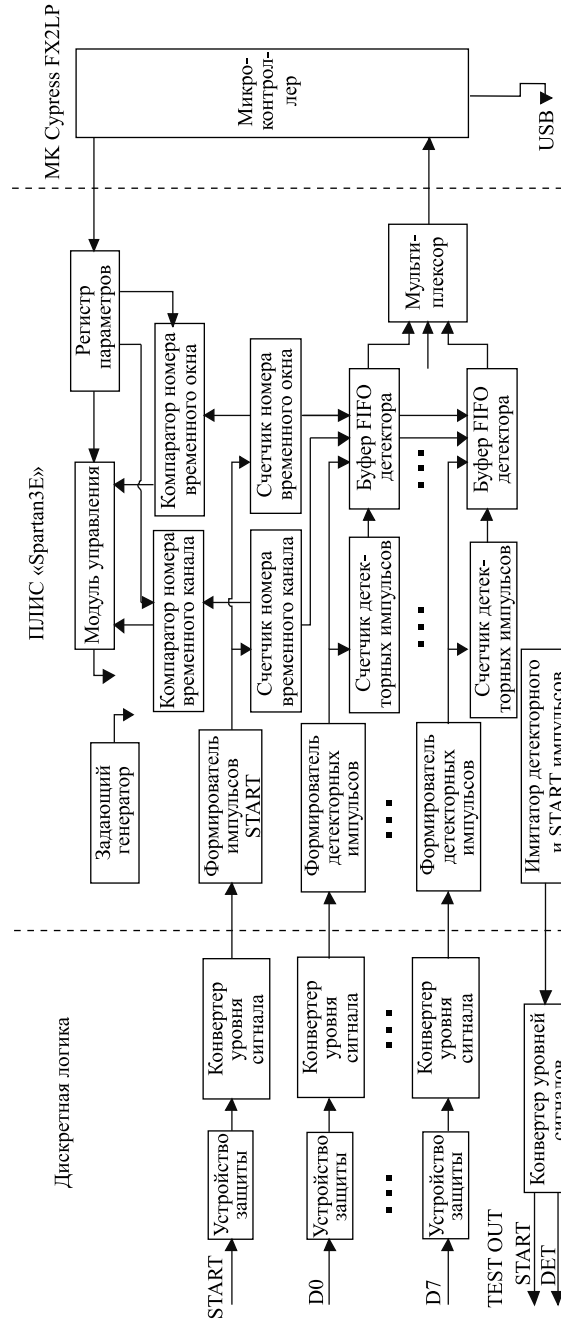


Рис. 1. Функциональная схема временного кодировщика

Формирователи детекторных и «Start» импульсов осуществляют выделение переднего фронта входных импульсов и формирование управляющих сигналов, соответствующих этому моменту времени. Вход «Start» дополнительно блокируется на короткое время (1000 мкс) после прихода импульса, чем обеспечивается повышенная устойчивость работы устройства в условиях мощных импульсных электромагнитных помех.

По импульсу «Start» производятся обнуление счетчика времени (номера временного канала) и инкремент счетчика сигналов «Start». Значение счетчика времени инкрементируется каждые 10 (или 100) нс и «замораживается» при достижении максимального значения счета. Частота инкрементирования этого счетчика определяет дискретность измерения и максимальное значение времени поступления сигнала от детектора относительно сигнала «Start».

По каждому детекторному импульсу производятся инкрементирование соответствующего счетчика детекторных импульсов и занесение в соответствующий буфер FIFO информации об импульсе (текущее значение счетчика времени и номер детектора 0...7). При переполнении буфера подсчет импульсов продолжается без сохранения информации, вплоть до (хотя бы частичного) освобождения буфера.

Блокировка всех детекторных входов на заданное время от начала временного окна (появления импульса «Start») осуществляется с использованием компаратора номера временного канала.

В регистре параметров хранится информация о следующих параметрах текущего цикла измерения:

- состоянии процесса регистрации, состоянии детекторных буферов FIFO;
- требуемом числе сигналов «Start» (временных окон) для управления продолжительностью регистрации;
- периодичности инкремента счетчика времени (10 или 100 нс);
- продолжительности интервала блокировки детекторных входов.

Регистрация детекторных импульсов начинается по USB-команде «Пуск». Предварительно по этой команде обнуляется счетчик сигналов «Start», и в поле параметров заносится заданное пользователем значение количества регистрируемых сигналов «Start». Регистрация прекращается при достижении этим счетчиком заданного значения или по USB-команде «Стоп». Исполнение команд «Пуск» и «Стоп» синхронизируется с первым следующим за ними импульсом «Start».

По окончании регистрации значение счетчиков детекторных импульсов также заносится в соответствующий детекторный буфер FIFO.

Модуль управления, вырабатывая необходимые управляющие сигналы, координирует совместную синхронную работу элементов схемы.

Имитатор детекторного и «Start» импульсов работает постоянно и независимо от остальной части схемы. Он вырабатывает детекторный и «Start»

импульсы длительностью 20 нс с периодом 10485760 и 10485740 нс соответственно, которые затем конвертируются в физические уровни стандарта NIM-CAMAC. Может использоваться с целью калибровки и тестирования.

Микроконтроллер осуществляет:

- перемещение данных из детекторных буферов FIFO во внутренний двоярный буфер FIFO USB;
- передачу этих данных по USB-интерфейсу;
- выравнивание (дополнение) до кратного длине буфера общего объема передаваемых данных;
- прием и выполнение USB-команд управления устройством;
- передачу по USB-интерфейсу информации о состоянии процесса регистрации и состоянии детекторных буферов FIFO.

Структура внутренних буферов FIFO временного кодировщика приведена на рис. 2.

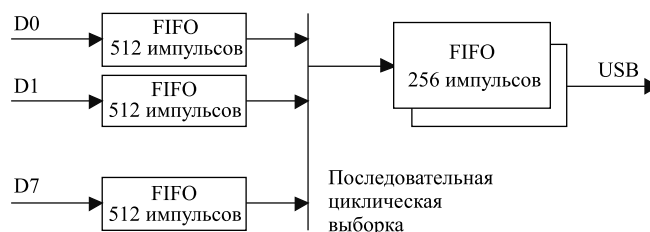


Рис. 2. Структура внутренних буферов FIFO временного кодировщика

Перемещение данных из детекторных буферов FIFO во внутренний двоярный буфер FIFO USB осуществляется методом последовательной циклической выборки. Причем при наличии достаточного количества свободного места в буфере FIFO USB информация из очередного детекторного буфера FIFO канала вычитывается вся полностью. При отсутствии свободного места в буфере FIFO USB последовательный перебор буферов FIFO каналов продолжается, хотя фактического перемещения данных не происходит.

Команды управления временным кодировщиком:

- установка ширины временного канала;
- установка продолжительности блокировки детекторных входов;
- «Пуск», «Стоп» регистрации данных;
- запрос состояния процесса регистрации, буферов FIFO, версии программного обеспечения.

Технические параметры:	
число независимых детекторных входов	8
стандарт сигналов	NIM-CAMAC (16 мА)
минимальная длительность и промежуток между детекторными импульсами	10 нс
минимальная ширина (дискретность) временного канала	10/100 нс
регистрируемый номер временного канала импульса	$0 \dots 2^{21}-1$
максимальная рабочая длительность временного окна	20/200 мс
суммарное количество импульсов по каждому каналу	$0 \dots 2^{25}-1$
допустимая интенсивность регистрируемых импульсов:	
среднее суммарное по всем детекторам	$8 \cdot 10^5$ имп./с
среднее по одному (каждому) детектору	$9 \cdot 10^5$ имп./с
пиковое «мгновенное» суммарное по всем детекторам	4096 имп.
пиковое «мгновенное» по одному (каждому) детектору	512 имп.
предустановка числа регистрируемых сигналов «Start» (окон)	$1 \dots 2^{24}-1$
параметр длительности интервала блокировки входов	$0 \dots 2^{21}-1$ врем. кан.
интерфейс	USB2.0 HS
габаритные размеры	140 × 115 × 35 мм
питание	USB (250 мА)

2. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ TOF

Программное обеспечение системы TOF работает под управлением операционной системы Windows и включает:

- программы драйверного слоя;
- управляющую программу;
- программу управления сортировкой данных;
- программу обработки данных;
- служебные программы.

2.1. Драйверный слой программ. Разработаны две программы драйверного слоя — TOFusb и BLK, а также BulkRead для микропроцессора USB-интерфейса.

2.1.1. Программа TOFusb работает на ЭВМ, к которой подключается кодировщик, и управляет работой микропроцессора кодировщика командами через USB-интерфейс. В память микропроцессора кодировщика, в соответствии с технологией фирмы (см. [4]), «зашивается» программа BulkRead, которая реализует bulk-интерфейс для всех входов, по которым поступают данные о времени пролета нейтронов от детекторов, интерпретацию команд, поступающих от TOFusb, и передачу потока данных по USB-интерфейсу. Программа TOFusb по команде «Start» запускает процессы регистрации данных от детекторов, передачи их на управляющую ЭВМ и записи во входной буфер программы сортировки. Каждое событие, зарегистрированное детектором, описывается кадром из четырех байтов, где кодируется время пролета нейтрона (21 бит), номер входа (детектора) и другие данные. При обнаружении данных во входном буфере включается сортировка данных в буфера спектров в оперативной памяти ЭВМ.

Алгоритм сортировки использует табличное описание оси времени формируемых спектров, задаваемое программой управления временной диаграммой (программой TimeScale, см. ниже). Благодаря этому для любого варианта описания временной диаграммы время сортировки одно и то же и составляет 30 нс/событие на ЭВМ с частотой процессора 2,8 ГГц. Помимо спектров с заданной пользователем временной диаграммой, можно разрешить формирование вспомогательных спектров с заданной фиксированной шириной канала, полностью перекрывающих максимальное временное окно. Включение формирования такого вспомогательного спектра увеличивает время сортировки события на 10 %.

Программа TOFusb написана на языке C++ Builder, представлена в исполняемом (.exe) формате, загружается и выгружается в нужные моменты времени управляющей программой TOF. Взаимодействие с управляющей программой осуществляется через поименованный участок общей памяти (файл, отображенный в память).

2.1.2. Программа BLK (блок локального контроля) — унифицированная подсистема многокоординатного управления окружением образца. Она может работать на ЭВМ, к которой подключен контроллер 8SMC1-USBhF, и реализует конечный автомат, управляемый номером состояния. В программе присутствует блок взаимодействия по сети с управляющей программой и интерпретатор команд.

При запуске BLK блок сетевого взаимодействия по фиксированному номеру порта разыскивает управляющую программу, регистрируется и в дальнейшем выполняет прием команд и передачу сообщений. Для взаимодействия с BLK в управляющую программу встраивается соответствующая процедура.

Список реализуемых команд задается текстовым файлом нумерованных скриптов, описывающих алгоритм достижения нужного состояния. Встроены

ный интерпретатор управляет механикой системы, используя драйверы фирмы (см. [4]).

2.2. Управляющая программа TOF. Программа TOF — интерфейс пользователя к системе регистрации времяпролетных спектров. Программа имеет три страницы, соответствующие основным режимам работы, и несколько окон, создаваемых вызываемыми функциональными модулями.

Названия страниц и режимы работы следующие:

- «Single file» — регистрация одиночного файла (спектра);
- «Files by cycle» — регистрация файлов в цикле;
- «Auto control» — автоматическое изменение условий регистрации данных.

Окно управления программой показано на рис. 3. Для каждого режима работы программа открывает доступ к соответствующим (дополнительным) параметрам управления и заводит свое дерево каталогов (каталоги \S, \C, \A). В отдельные подкаталоги заносятся данные каждого детектора. Названия фай-

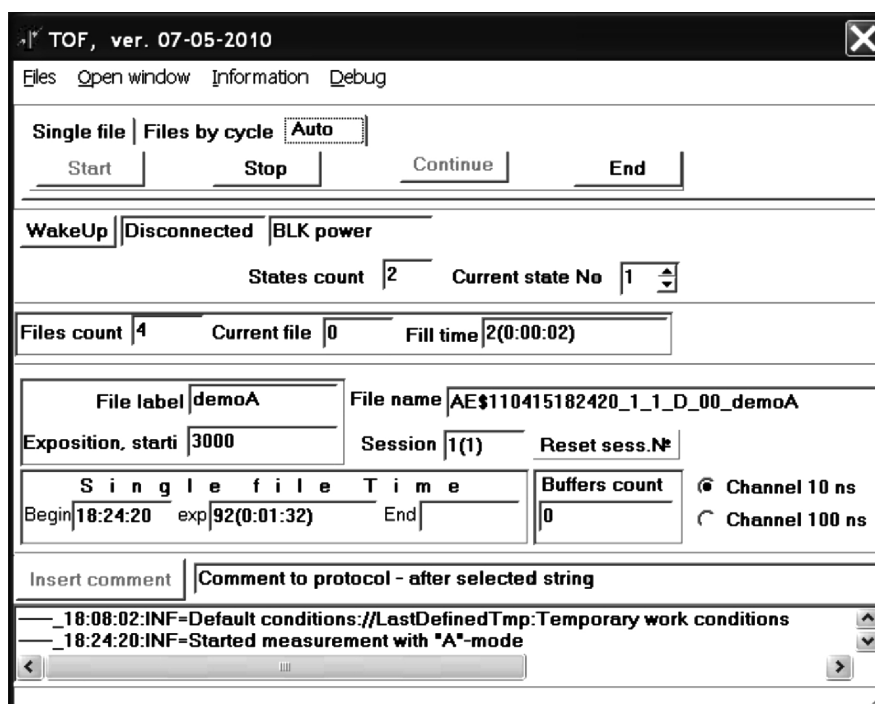


Рис. 3. Окно управляющей программы в режиме автоматического изменения условий регистрации данных

лов формируются автоматически, в название включается текстовая метка, задаваемая пользователем. В разных режимах используются разные шаблоны названий файлов, учитывающие состав параметров. Всегда создаются списки названий файлов, предназначенные для автоматизации обработки данных. Ведется протокол работы программы TOF, в котором отмечаются существенные события: изменение режима работы, изменение условий регистрации данных, запись файла, возникновение сбоев и ошибок и т.д. Новый файл протокола автоматически заводится при смене суток, его название формируется также автоматически и включает дату создания.

Программа TOF всегда продолжает ранее прерванную работу, восстанавливая заданные до этого пользователем значения управляющих переменных и состояние прерванных процедур.

2.2.1. Регистрация одиночных файлов. Данный режим предназначен для случая, когда пользователь часто меняет условия регистрации данных — например, для новой пролетной базы и детектора проверяет работу с заданной временной диаграммой. Протоколируется изменение условий регистрации и факт записи файла. При изменении условий регистрации программа заводит новый номер группы регистрируемых файлов и обнуляет счетчик файлов в группе. После записи файла автоматически изменяется порядковый номер файла в группе. Имена файлов формируются автоматически и включают дату, время создания файла, номер группы файлов, номер детектора, номер файла в группе и заданную пользователем текстовую метку, отражающую тему исследования.

Пользователь задает продолжительность экспозиции данных и текстовую метку в названии файлов. Для управления регистрацией предоставлены четыре кнопки: «Start», «Stop», «Continue», «End». Назначение кнопок соответствует названиям.

2.2.2. Регистрация файлов в цикле. При большой продолжительности экспозиции состояния есть несколько очевидных причин к тому, чтобы разбить полную экспозицию на последовательные интервалы более коротких измерений и зарегистрировать файлы с частичной экспозицией. Именно для таких измерений введена страница «File by cycle». Пользователь в полях значений параметров страницы «Single file» (видимых в любом режиме) задает продолжительность измерения отдельного файла и текстовую метку названия файла, а в полях параметров страницы «File by cycle» задает количество таких файлов. Программа составляет список файлов, измеренных при заданных условиях. Такой список предназначен для специальной подсистемы экспресс-анализа, которая позволяет проконтролировать совместимость (корректность) данных, полученных в отдельных экспозициях, для получения файлов суммарной экспозиции. Названия файлов частичной экспозиции, файла со списком названий файлов, которые должны анализироваться совместно, формируются автоматически.

Как и для предыдущего режима, для управления работой введены кнопки «Start», «Stop», «Continue», «End». Система продолжает прерванную работу. Поэтому если работа была прервана на данной странице, то после повторной загрузки программа разрешит использование кнопок «Continue» и «End».

2.2.3. Автоматическое изменение условий регистрации данных. Эта страница предназначена для регистрации данных при автоматическом изменении условий окружения образца (например смене мишеней, включении/выключении поляризации и т. д.). В процессе накопления нужной статистики условия окружения образца неоднократно чередуются, и для каждого из состояний составляется свой список зарегистрированных файлов. В дальнейшем каждый из этих списков, соответствующих исследовавшимся состояниям мишеней, может быть использован для контроля качества зарегистрированных данных, автоматизированной обработки или коррекции.

Изменение состояния окружения образца выполняется программами драйверного слоя (подсистема BLK), доступными по сети и представленными в виде конечных автоматов.

2.3. Программная общая шина. Взаимодействие между управляющей программой TOF и драйверным слоем (программой TOFusb) осуществляется через программную общую шину (ПОШ). ПОШ реализуется разработанной функцией API GetODB, которая захватывает ресурс оперативной памяти нужного размера, и модулем, который «накладывает» на эту память описание нужной структуры данных. Функция GetODB создает поименованный файл, отображенный в память (реализовано в ОС Windows), или находит созданный ранее, и возвращает вызывающей программе указатель на этот участок памяти. Всем программам, подключившимся к ПОШ, предоставляются одни и те же значения всех переменных, описанных в структуре данных, наложенной на ПОШ. Любая программа может изменять значения этих переменных, используя семафор для устранения конфликтов при одновременном обращении к одной переменной.

Образ ПОШ сохраняется в памяти до тех пор, пока к ней подключен хоть один пользователь (процесс). Благодаря этому во время работы системы TOF могут загружаться различные программы и получать быстрый доступ к одному и тому же содержанию данных в ПОШ.

Структура данных в ПОШ включает:

- группу управляющих параметров для драйверного слоя, в числе которых таблицы, управляющие сортировкой данных;
- буфера спектров, заполняемые в режиме on-line программами сортировки и др.

Функция API GetODB не зависит от конкретного варианта описания структуры данных и может быть использована в различных проектах без изменения.

2.4. Управление временной диаграммой программы сортировки. Программа сортировки строит спектры (гистограммы) количества зарегистрированных нейтронов в зависимости от времени пролета дистанции от источника до детектора нейтронов. Ось времени программы сортировки представляется в виде последовательности каналов (ячеек памяти). Каждому каналу соответствует определенный интервал времени пролета нейтронов. Полное описание этой оси, необходимое для установления соответствия между номером канала и временем пролета нейтронов, задается следующими параметрами:

1) временем задержки вспышки нейтронов относительно стартового импульса от источника нейтронов;

2) временем задержки начала регистрации и сортировки данных относительно вспышки нейтронов. Даная задержка определяет также сдвиг начала оси времени спектра относительно вспышки нейтронов;

3) 8 временными интервалами, для каждого из которых задается его длина (количеством каналов) и ширина канала в дискретах по 10 нс;

4) частотой вспышек нейтронов, определяющей максимальную протяженность окна для регистрации нейтронов.

Полное количество каналов определяется суммой по всем 8 интервалам, но принудительно ограничено и не может быть более 10000. Временное окно, в течение которого регистрируются нейтроны, определяется суммой продолжительностей используемых интервалов и заданными задержками или периодом следования импульсов вспышек ускорителя (используется меньшее из этих двух значений). Энергия нейтронов (эВ) вычисляется по формуле

$$E = (72,3 L/t)^2,$$

где L — длина пролетной базы (м); t — время пролета нейтрона (мкс).

Для задания значений используемых параметров введена программа TimeScale, вызываемая из программы управления. Каждое сочетание параметров может быть записано в файл, а файл помечен строкой комментария пользователя (для последующей идентификации его при поиске) и помещен в архив. Любой из этих файлов может быть выбран из архива и назначен для дальнейшего использования по умолчанию.

При изменении используемой шкалы сортировки данных инкрементируется номер группы файлов и обнуляется счетчик файлов в группе. Номер группы включается в название файла. Факт изменения используемой шкалы времени отмечается в протоколе работы.

2.5. Визуализация спектров. Программа имеет 8 трактов изображения данных, что позволяет поместить в одном окне до 8 спектров в одной системе координат. Номера трактов соответствуют номерам детекторов (входов). Во время регистрации данных может использоваться режим автоматического обновления изображения с периодом, задаваемым пользователем.

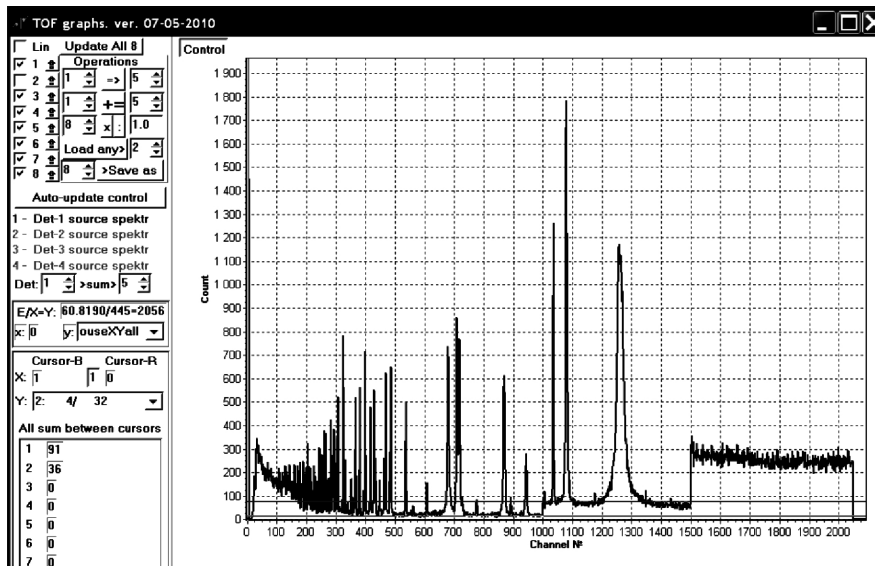


Рис. 4. Окно программы визуализации спектров

С изображением в каждом тракте возможны быстрые операции: включить/выключить изображение, сместить по вертикали, умножить поканально на заданное число, копировать данные в другой тракт, загрузить в тракт данные из файла и др.

При движении мыши и двух курсоров выводится информация об энергии и количестве отсчетов нейтронов в любом канале, для каждого спектра выводится сумма отсчетов в интервале, ограниченном двумя курсорами. Введены необходимые операции быстрого управления визуализируемым кадром с помощью мыши. Окно программы визуализации показано на рис. 4. Светлые поля управляющих элементов могут редактироваться.

2.6. Программа экспресс-анализа данных. В некоторых прецизионных экспериментах (исследование свойств поляризованных частиц и мишеней, эффектов несохранения четности и др.) время измерения составляет десятки часов, при этом существенную роль приобретает учет возможного дрейфа во времени параметров регистрирующей системы и характеристик источника нейтронов. С целью раннего обнаружения существенных искажений регистрируемых спектров и фильтрации сомнительных данных разработан алгоритм экспресс-анализа данных. На основе этого алгоритма создана подсистема экспресс-анализа данных ЕА. Подсистема ЕА выполнена в виде модуля в загружаемом (.exe) формате и может работать в двух режимах:

- автоматическом — во время регистрации и накопления данных;
- off-line — для анализа ранее накопленных данных.

2.6.1. Алгоритм анализа и программный модуль экспресс-анализа.

В спектроскопии типичной практикой, используемой для получения данных с нужной статистической точностью, является повторение измерений одного типа (обычно равной продолжительности) с последующим их контролем, фильтрацией и суммированием достоверных данных.

В случае поиска проявления нужного эффекта при изменении условий регистрации данных такая процедура дополняется чередованием условий, и возникают два (или более) списка чередующихся измерений, подлежащих контролю и суммированию данных по соответствующим спискам.

Для выполнения контроля на оси номеров каналов спектра выбираются интервалы (произвольное количество). Для каждого спектра, полученного в очередном i -м измерении, вычисляется сумма $S_{i,j}$ отсчетов в каналах, принадлежащих j -му интервалу. Вычисляются отношения

$$\begin{aligned}L_t &= mS_{i,j}/S_{0,j}, \\S_t &= mS_{i,j}/S_{i-1,j}, \\M &= mJS_{i,j}/S_{s,j}.\end{aligned}$$

Здесь $S_{s,j}$ — сумма спектров, полученных в J -измерениях, m — нормировочный коэффициент. Отношение L_t характеризует «долговременную» стабильность условий измерения, S_t — «кратковременную», M характеризует совместимость данного измерения с суммарным спектром. Вычисления выполняются для всех заданных интервалов.

Данный алгоритм используется в автоматически работающем программном модуле, который может быть включен в САЭ и работать в режиме on-line. В случае, когда величина

$$|L_t - L_0| \quad \text{или} \quad |S_t - S_{t-1}| > k\sigma,$$

где σ — стандартная ошибка, k задается пользователем, вырабатывается предупредительный сигнал (событие). По этому сигналу может быть выдано предупредительное сообщение и организована обратная связь с подсистемой регистрации данных без остановки регистрации данных.

Данный простой алгоритм позволяет для последовательных серий измерений обнаружить изменения эффективности детектора, уровня фона, цены деления шкалы энергии, выход контролируемых параметров за границы допустимых значений и другие эффекты.

2.6.2. Интерфейс пользователя подсистемы ЕА в автоматическом режиме контроля. Данная подсистема может быть загружена на удаленных ЭВМ, подключена к TOF по известному IP-адресу и переведена в режим автоматического анализа. В этом случае протокол совместного анализа данных предоставляется пользователю после записи каждого файла. При возникнове-

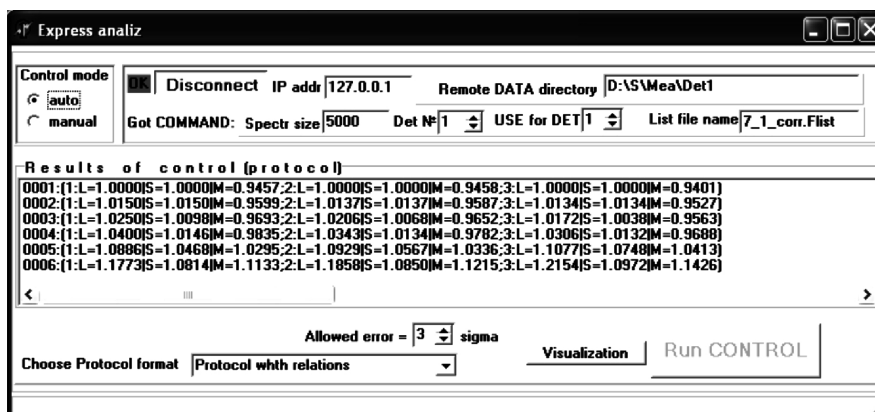


Рис. 5. Интерфейс пользователя в автоматическом режиме работы ЕА

нии нарушения заданных критериев достоверности данных может вырабатываться предупредительный сигнал.

На рис. 5 приведен интерфейс пользователя для автоматического режима контроля. Выбор режима работы осуществляется с помощью управляющих элементов «auto/manual» в поле «Control mode». Для соединения с программой управления экспериментом TOF следует задать ее IP-адрес (поле «IP addr») и нажать клавишу «Connect». В случае успешного соединения слева возникнет метка «ОК» на зеленом поле.

Для настройки режима «auto» пользователем задается допустимое отклонение — значение k стандартных ошибок σ (поле «Allowed error») — и список интервалов контроля. Для составления списка интервалов контроля и формирования архива таких списков могут использоваться курсоры программы визуализации спектров.

В процессе проведения эксперимента данная программа в поле «Results of control (Protocol)» представляет результаты контроля данных (одна строка для каждого файла). Введены три формата вывода результатов контроля:

- «Protocol with +/-», где для каждого интервала символом «-» обозначается нарушение критерия, заданного в поле «Allowed error»;
- «Protocol with relations» содержит нормированные отношения L, S, M ;
- «Protocol with sum values» содержит значения сумм, на основании которых получены отношения L, S, M .

2.6.3. Интерфейс пользователя подсистемы ЕА в диалоговом режиме контроля. После завершения эксперимента, в случае наличия предупреждений подсистемы экспресс-анализа, возникает необходимость более тщательного анализа данных. Необходимость дополнительного анализа до-

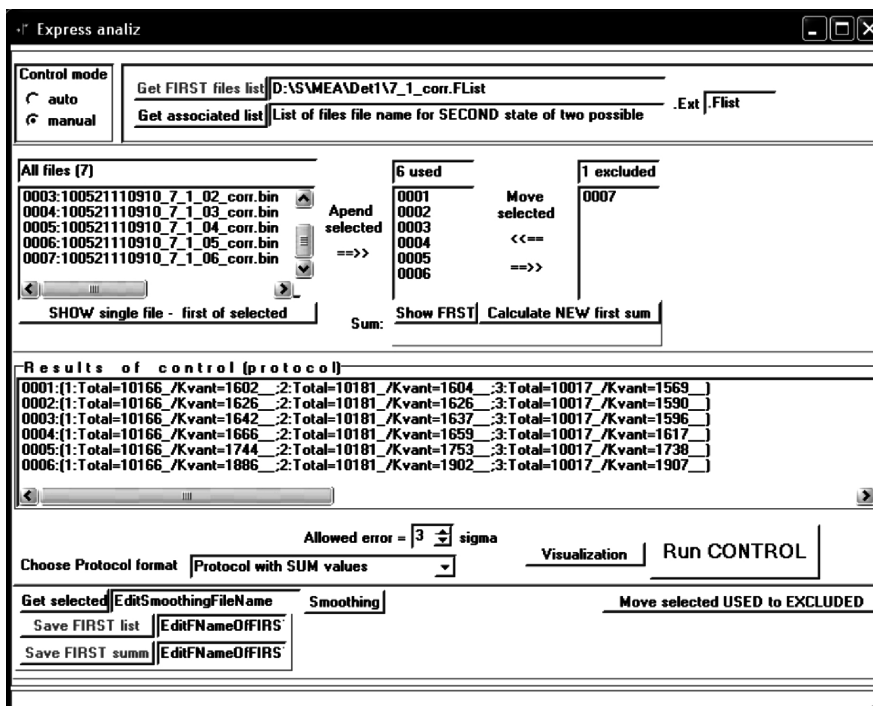


Рис. 6. Интерфейс пользователя в диалоговом режиме работы ЕА

стоверности данных может появиться и в связи с вопросами, возникшими после углубленной математической обработки данных. Для детального анализа причины предупреждающего сообщения, выработанного модулем экспресс-анализа, и исследования способов коррекции зарегистрированных результатов в программе ЕА введен диалоговый режим, который позволяет в режиме off-line повторить анализ при других параметрах контроля.

На рис. 6 представлен интерфейс пользователя программы ЕА, позволяющий выполнить анализ одного или двух (ассоциированных) списков файлов данных.

Программа позволяет выбрать нужный список. Для краткости дальнейшего представления вводится (и представляется в этом же окне) для каждого названия файла псевдоним — порядковый номер в списке. Исходный список может быть разделен на два: «used» и «excluded», куда помещаются названия (точнее — псевдонимы) анализируемых («used») и исключенных из анализа («excluded») файлов. По мере развития процесса анализа программа открывает дополнительные элементы управления работой, назначение которых понятно из надписей.

Одновременно с первым списком (кнопка «Get FIRST files list», см. рис. 6) программа может загрузить ассоциированный список («Get associated list»), не показывая его в окне. Все манипуляции редактирования списков будут выполняться синхронно над обоими списками, возможна визуализация отдельных файлов и файлов сумм ассоциированного списка.

Представленный интерфейс позволяет задать интервалы контроля и предельно допустимую погрешность отношений k . Как и в автоматическом режиме, результаты контроля представляются в трех различных форматах, для каждого файла — отдельная строка. Программа позволяет манипулировать содержанием списков файлов отдельных измерений, суммами, редактировать (синхронизировать) содержание ассоциированного списка файлов, представлять для визуального контроля различные сочетания отдельных файлов и файлов сумм, полученных для отредактированных списков. Отредактированные списки и суммарные файлы могут быть сохранены, названия файлов программа генерирует автоматически и предоставляет возможность их скорректировать.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Система разработана для выполнения времяпролетных экспериментов и испытана в экспериментах на источнике нейтронов ИРЕН. Разработанный временной кодировщик надежно работает при экспозициях продолжительностью в сотни часов. С использованием данной системы была выполнена часть

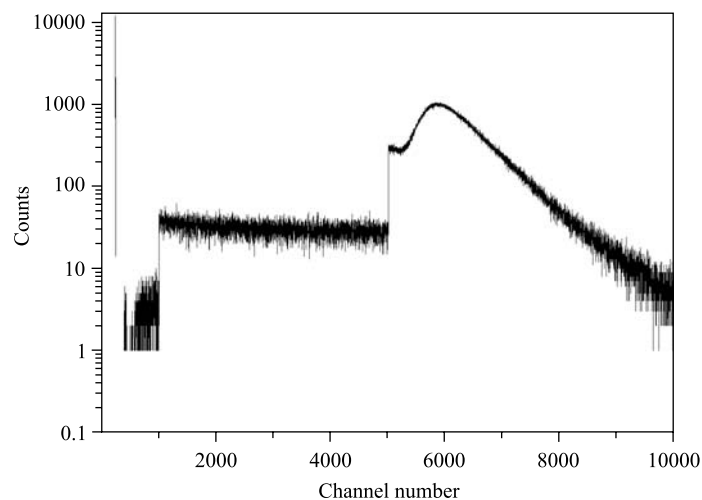


Рис. 7. Спектр нейтронов от источника ИРЕН, полученный на 9-метровой пролетной базе

исследований, доложенных в работе [1]. На рис.7 приведен времяпролетный спектр нейтронов, полученный на 9-метровой пролетной базе установки ИРЕН. Нейтроны регистрировались гелиевым счетчиком СНМ-17.

Регистрировались три группы каналов с различной шириной:

- 1) каналы 1 . . . 1000, ширина 20 нс;
- 2) каналы 1001 . . . 5000, ширина 200 нс;
- 3) каналы 5001 . . . 10000, ширина 2000 нс.

Конструктивное исполнение USB-интерфейса обеспечивает системе мобильность, предполагается использовать ее также в выездных экспериментах.

Компоненты системы (управляющая программа, программы драйверного слоя, подсистема экспресс-анализа) представлены в исполняемом формате (.exe), объединение их в систему осуществляется автоматически по сети или через рабочую область, названную «программная общая шина». Такой подход обеспечивает системе гибкость, способствует повторному использованию кода и в конечном счете повышению надежности результатов. Реализация ПОШ возможна и в других операционных системах (см. [5]), и авторы рекомендуют использование этого приема для организации быстрого взаимодействия программ, представленных в формате загрузки.

Подсистема экспресс-анализа, модули ПОШ и подсистема BLK могут быть без изменения использованы в составе других систем автоматизации эксперимента.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Belikov O. V. et al.* Physical Startup of the First Stage of IREN Facility // Proc. of Intern. Seminar «ISINN-17» (Dubna, May 27–29, 2009). Dubna: JINR, 2010. P. 10–16.
2. *Enik T. L. et al.* Preparation for Testing Experiment on IREN Neutron Beam // Proc. of Intern. Seminar «ISINN-17» (Dubna, May 27–29, 2009). Dubna: JINR, 2010. P. 162–164.
3. Контроллер шагового двигателя с USB-интерфейсом 8SMC1-USBhF.
<http://www.standa.it>
4. <http://www.cypress.com/?rID=34870>
5. http://habrahabr.ru/blogs/nix_coding/55716/

Получено 9 сентября 2011 г.

Редактор *А. И. Петровская*

Подписано в печать 20.12.2011.

Формат 60 × 90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 1,00. Уч.-изд. л. 1,27. Тираж 285 экз. Заказ № 57538.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.

E-mail: publish@jinr.ru

www.jinr.ru/publish/