

ПРИМЕНЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ

УДК 004.35

8-ВХОДОВАЯ СИСТЕМА ДЛЯ НЕЙТРОННО-ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО МЕТОДУ ВРЕМЕНИ ПРОЛЁТА

© 2012 г. В. Н. Швецов, С. В. Алпатов*, Н. В. Астахова**, Т. Л. Еник, Л. В. Мицына,
А. Б. Попов, И. М. Саламатин, К. М. Саламатин***, П. В. Седышев, А. П. Сиротин

*Объединенный институт ядерных исследований, Лаборатория нейтронной
физики им. И.М. Франка*

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

**НИИ прикладной акустики*

Россия, 141980, Дубна Московской обл., ул. 9 мая, 7а

***НИИ “Атолл”*

Россия, 141980, Дубна Московской обл., ул. Приборостроителей, 5

****Международный университет “Дубна”*

Россия, 141980, Дубна Московской обл., ул. Университетская, 17

Поступила в редакцию 24.11.2011 г.

Разработаны оборудование и программное обеспечение для регистрации времяпролетных спектров с малой шириной канала (10 нс) в прецизионных экспериментах в условиях низкой интенсивности пучка нейтронов или регистрации редких событий. 8-входовый временной кодировщик работает без просчетов при интенсивности сигналов до 10^5 с^{-1} на каждом из восьми входов. Использование USB-интерфейса обеспечивает мобильность системы. Разработанная методика интеграции системы из компонентов в исполняемом формате позволяет получить распределенную систему, обеспечивает более высокую преемственность программного обеспечения и возможность сборки системы силами пользователя.

1. ВВЕДЕНИЕ

В связи с вводом в эксплуатацию линейного ускорителя ИРЕН [1] возникла необходимость разработки 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 включены два специальных блока: временной кодировщик, разработанный в ЛНФ ОИЯИ, а также многофункциональный микрошаговый контроллер 8SMC1-USBhF, предназначенный для управления окружением образца [3].

2. ОПИСАНИЕ ВРЕМЕННОГО КОДИРОВЩИКА

Основным элементом аппаратной части системы является временной кодировщик. Устройство собрано на основе дискретной логики, программируемой логической интегральной схемы

(п.л.и.с.) Xilinx серии Spartan3E и микроконтроллера Cypress [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 элементов схемы.

Конверторы уровней осуществляют преобразование выходных сигналов нейтронных детекторов стандарта NIM–САМАС в сигналы стандарта LV–TTL, необходимые для работы устройства.

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

Формирователи детекторных и *START* импульсов осуществляют выделение фронта входных импульсов и формирование управляющих сигналов, соответствующих этому моменту времени. Вход *START* дополнительно блокируется на короткое время (1 мс) после прихода импульса, что обеспечивает повышенную устойчивость работы

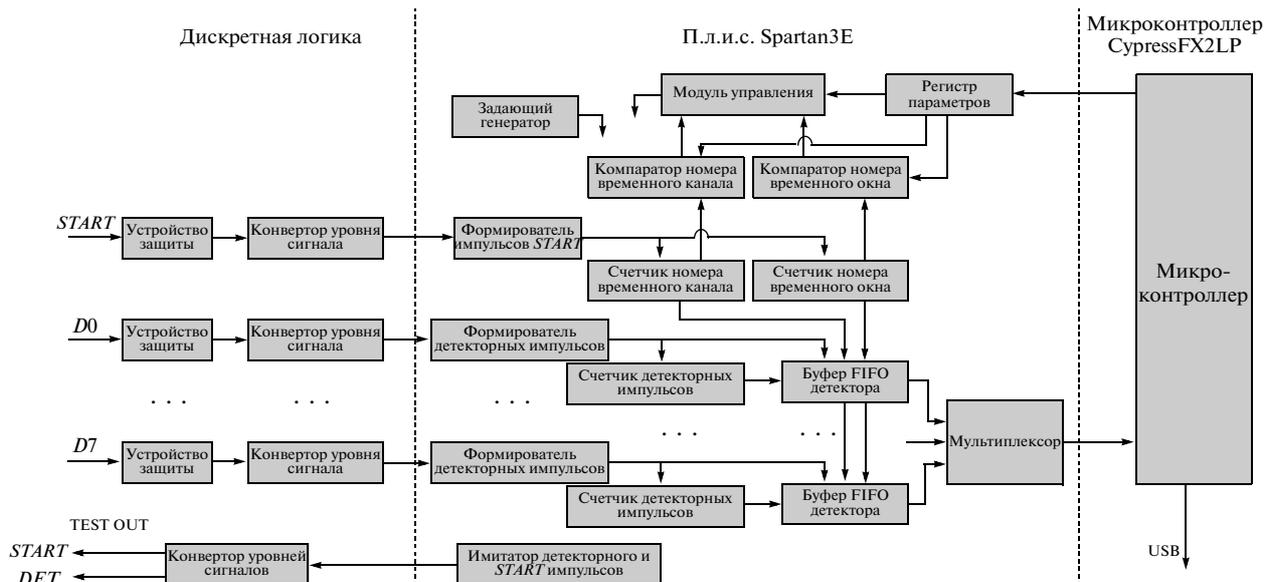


Рис. 1. Функциональная схема временного кодировщика.

устройства в условиях мощных импульсных электромагнитных помех.

По импульсу *START* производится 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 инкрементируется соответствующий счетчик детекторных импульсов, и информация об импульсе (текущее значение счетчика времени и номер детектора 0, ..., 7) заносится в соответствующий буфер FIFO. 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:

- состояние процесса регистрации, состояние детекторных буферов FIFO;
- требуемое число сигналов *START* (временных окон) для управления продолжительностью регистрации;
- периодичность инкремента счетчика времени (10 или 100 нс);

– продолжительность интервала блокировки детекторных входов.

Регистрация детекторных импульсов начинается по USB-команде *ПУСК*. Предварительно по этой команде счетчик сигналов *START* переводится в нулевое состояние, и в поле параметров заносится заданное пользователем количество 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 импульсы “детекторный” и *START* длительностью 20 нс с периодом 10485760 и 10485740 нс соответственно, которые затем конвертируются в физические уровни стандарта NIM–CAMAC. Имитатор может использоваться для калибровки и тестирования.

Микроконтроллер осуществляет:

- перемещение данных из детекторных буферов FIFO во внутренний сдвоенный буфер FIFO USB;
- передачу этих данных по USB-интерфейсу;
- выравнивание (дополнение) до кратного длины буфера общего объема передаваемых данных;

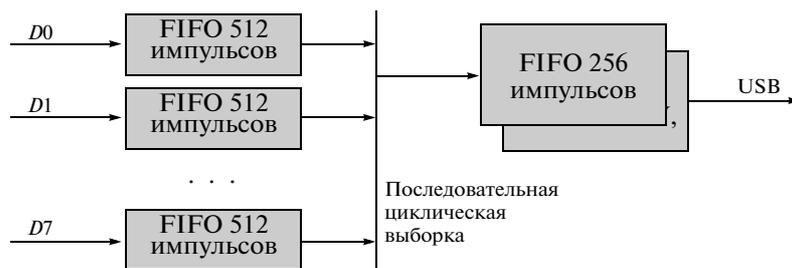


Рис. 2. Структура внутренних буферов FIFO временного кодировщика.

– прием и выполнение USB-команд управления устройством;
– передачу по USB-интерфейсу информации о состоянии как процесса регистрации, так и детекторных буферов FIFO.

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

Перемещение данных из детекторных буферов FIFO во внутренний двоянный буфер FIFO USB осуществляется методом последовательной циклической выборки. При этом при наличии достаточного свободного места в буфере FIFO USB информация из очередного детекторного буфера FIFO канала вычитывается полностью. При от-

сутствии 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, нс	10
Минимальная ширина (дискретность) временного канала, нс	10/100
Регистрируемый номер временного канала импульса	от 0 до $2^{21}-1$
Максимальная рабочая длительность временного окна, мс	20/200
Суммарное количество импульсов по каждому каналу	от 0 до $2^{25}-1$
Допустимая интенсивность регистрируемых импульсов:	
среднее суммарное по всем детекторам, импульс/с	$8 \cdot 10^5$
среднее по одному (каждому) детектору, импульс/с	$9 \cdot 10^5$
пиковое “мгновенное” суммарное по всем детекторам, импульсов	4096
пиковое “мгновенное” по одному (каждому) детектору, импульсов	512
Предустановка числа регистрируемых сигналов <i>START</i> (окон)	от 1 до $2^{24}-1$
Параметр длительности интервала блокировки входов, временные каналы	от 0 до $2^{21}-1$
Интерфейс	USB2.0 HS
Габаритные размеры, мм	140 × 115 × 35 мм
Питание	USB (250 мА)

3. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ

Программное обеспечение системы работает под управлением операционной системы Windows и включает в себя:

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

3.1. Драйверный слой программ

Разработаны две программы драйверного слоя – TOFusb и BLK и одна – BulkRead – для микропроцессора USB-интерфейса.

3.1.1. Программа TOFusb работает на э.в.м., к которой подключается кодировщик, и управляет работой микропроцессора кодировщика командами через USB-интерфейс. В память микропроцессора кодировщика в соответствии с технологией фирмы [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. При старте программа TOFusb командой *START* запускает процессы регистрации данных от детекторов, передачи их на управляющую э.в.м. и записи во входной буфер программы сортировки. Каждое событие, зарегистрированное детектором, описывается кадром объемом 4 байта, 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, размещенные в оперативной памяти э.в.м.

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 э.в.м. 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).

3.1.2. Программа BLK (блок локального контроля) – это унифицированная подсистема многокоординатного управления окружением образца. Она может работать на э.в.м., 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. Встроенный интерпретатор управляет механикой системы, используя драйверы фирмы [3].

3.2. Управляющая программа TOF

Программа TOF – это интерфейс пользователя к системе регистрации времяпролетных спектров. Программа имеет 3 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.

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.

Название файлов формируется автоматически и включает в себя текстовую метку, задаваемую 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 автоматически и включает в себя дату создания.

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

3.2.1. 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. Протоколируются 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 содержат 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.

3.2.2. Регистрация файлов в цикле. При большой продолжительности экспозиции состояния есть несколько очевидных причин 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” – 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.

3.2.3. Автоматическое изменение условий регистрации данных. Данная страница предназначена для регистрации данных при автоматическом изменении условий окружения образца (например, смене мишеней, включении/выключении поляризации и т.п.). В процессе накопления нужной статистики условия окружения образца неоднократно чередуются, и для каждого состояния составляется свой список зарегистрированных файлов. В дальнейшем каждый из этих списков, соответствующих определенным 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.

3.3. Программная общая шина

Взаимодействие между управляющей программой TOF и драйверным слоем (программой TOFusb) осуществляется через “программную общую ши-

ну” (п.о.ш.). Последняя 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 п.о.ш., предоставляются одни и те же значения всех переменных, описанных в структуре данных, наложенной на п.о.ш. Любая программа может изменять значения этих переменных, используя семафор для устранения конфликтов при одновременном обращении к одной переменной.

Образ п.о.ш. 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 п.о.ш.

Структура данных в п.о.ш. включает в себя:

- 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.

3.4. 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 представлена в виде последовательности каналов (ячеек памяти). Каждому каналу соответствует определенный интервал времени пролета нейтронов. Программа позволяет задавать до восьми интервалов и нужную ширину канала (в единицах минимальной ширины канала) в каждом интервале.

Полное количество каналов определяется суммой по всем восьми 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).

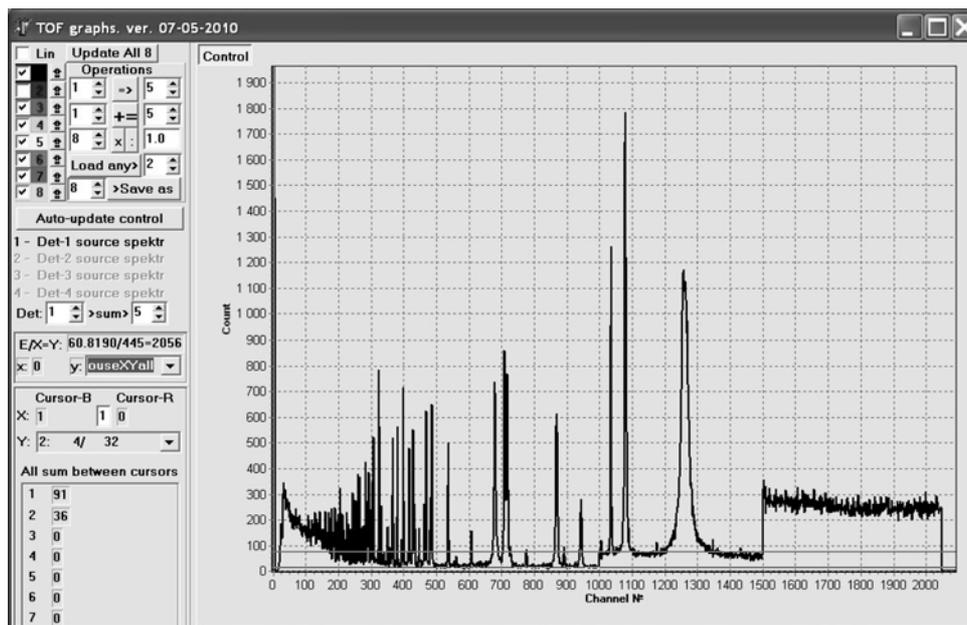


Рис. 3. Окно программы визуализации спектров.

Энергия нейтронов E , эВ, определяется по формуле

$$E = (72.3L/t)^2,$$

где L , м – длина пролетной базы; t , мкс – время пролета нейтрона.

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.

3.5. 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. Окно программы визуализации показано на рис. 3.

Мышь и два курсора дают информацию 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. Светлые поля управляющих элементов могут редактироваться.

3.6. 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, которая выполнена в виде модуля в загружаемом (.exe) формате и может работать в двух режимах:

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

3.6.1. Алгоритм анализа и программный модуль экспресс-анализа. В спектрометрии типичной практикой, используемой для получения данных с нужной статистической точностью, является повторение измерений одного типа (обычно равной продолжительности) с последующим их контро-

лем, 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, вычисляются сумма $S_{i,j}$ отсчетов в каналах, принадлежащих j -му интервалу, и следующие соотношения:

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

Здесь $S_{s,j}$ – сумма спектров, полученных в J измерениях; m – нормировочный коэффициент. Отношение L_i характеризует “долговременную” стабильность условий измерения, S_i – “кратковременную”, M – 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 систему автоматического управления и работать в режиме on line. В случае, когда

$$|L_i - L_0| \text{ или } |S_i - S_{i-1}| > k\sigma,$$

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

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

3.6.2. Интерфейс пользователя подсистемы ЕА в автоматическом режиме контроля. Данная подсистема может быть загружена на удаленных э.в.м., 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 возникновении нарушения заданных критериев достоверности данных может вырабатываться предупреждающий сигнал.

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 та-

ких 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 3 формата вывода результатов контроля:

– Protocol with “+/-” – 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 .

3.6.3. 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 достоверности 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.

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.

Представленный интерфейс позволяет задавать 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 автома-

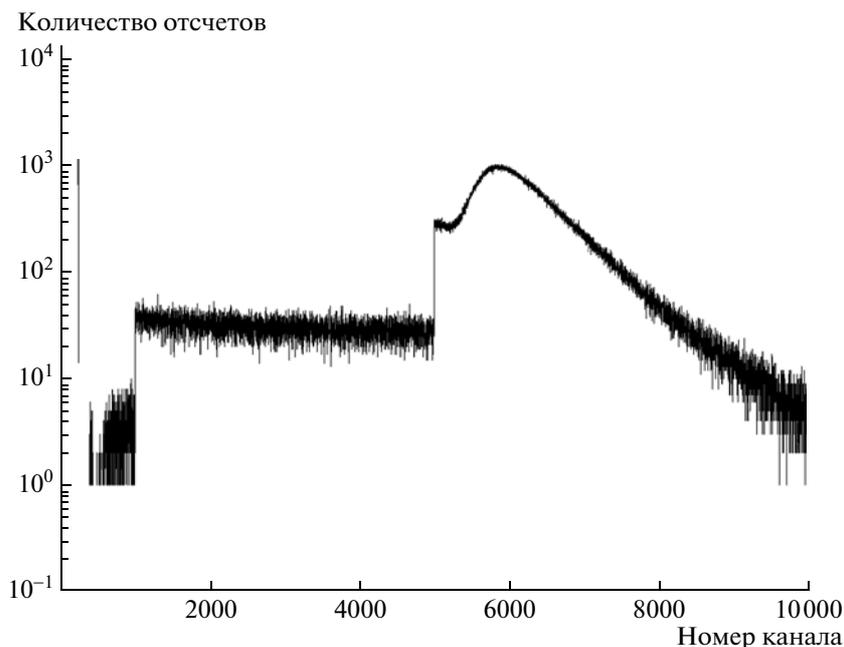


Рис. 4. Спектр нейтронов от источника ИРЕН, полученный на 9-метровой пролетной базе.

тически и предоставляет возможность их корректировки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Система разработана для выполнения время-пролетных экспериментов и испытана в экспериментах на источнике нейтронов ИРЕН. Разработанный временной кодировщик надежно работает при экспозициях продолжительностью сотни часов. С использованием данной системы была выполнена часть исследований, описанных в работе [1]. На рис. 4 приведен времяпролетный спектр нейтронов, полученный на 9-метровой пролетной базе установки ИРЕН. Нейтроны регистрировались гелиевым счетчиком СММ-17.

Регистрировались 3 группы каналов с различной шириной:

- каналы 1–1000 шириной 20 нс;
- каналы 1001–5000 шириной 200 нс;
- каналы 5001–10000 шириной 2000 нс.

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 “программная общая шина”.

Такой подход обеспечивает гибкость системы, способствует повторному использованию кода и в конечном счете — повышению надежности результатов. Реализация п.о.ш. возможна и в других операционных системах [5], и авторы рекомендуют использование этого приема для организации быстрого взаимодействия программ, представленных в формате загрузки.

Подсистема экспресс-анализа, модули п.о.ш. и подсистема ВЛК могут быть без изменения использованы в составе других систем автоматизации эксперимента.

Работа выполнена в ЛНФ имени И.М. Франка ОИЯИ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Belikov O.V., Belozerov A.V., Becher Yu. et al.* // Proc. 48th of Internat. Seminar “ISINN-17”. (Dubna, May 27–29, 2009). Dubna: JINR, 2010. С. 10.
2. *Enik T.L., Mitsyna L.V., Nikolenko V.G. et al.* // Proc. 48th of Internat. Seminar “ISINN-17”. (Dubna, May 27–29, 2009). Dubna: JINR, 2010. С. 162.
3. Контроллер шагового двигателя с USB-интерфейсом 8SMC1-USBhF // <http://www.standa.lt>
4. <http://www.cypress.com/?rID=34870>
5. http://habrahabr.ru/blogs/nix_coding/55716/