

АТОМНАЯ И ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

УДК 539.167; 537.591

**УНИВЕРСАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС
В ЭКСПЕРИМЕНТАХ ПО ФИЗИКЕ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ****А. А. Силаев, А. А. Силаев (мл.), А. В. Широков, Н. П. Ильина,
В. В. Радченко, Ю. В. Попов, И. В. Яшин***(кафедра космических лучей и физики космоса; НИИЯФ)*

E-mail: sialexx@eas.sinp.msu.ru, npi@srd.sinp.msu.ru

Разработан универсальный научно-измерительный комплекс для исследований широкого круга вопросов ядерной физики. Комплекс позволяет использовать четыре детектора заряженных частиц и обеспечивает каждый из них высоковольтным питанием в диапазоне от 0 до 2000 В. Комплекс усиливает сигналы детекторов, производит их амплитудную дискриминацию, осуществляет выбор данных по заданным критериям, преобразует амплитуды сигналов в цифровой код с последующей передачей на аппаратном уровне в персональный компьютер. Комплекс работает под управлением компьютера, для чего разработано программное обеспечение для операционной системы Windows.

При создании установок с использованием стандартной аппаратуры можно выделить два основных подхода. Первый реализуется на базе универсальной системы типа КАМАК. Такие системы работают в режиме реального времени, отличаются высоким быстродействием, но неудобны для оперативного изменения условий отбора данных. Второй подход — это применение многоходового цифрового осциллографа, пересылающего данные в персональный компьютер с дальнейшим их программным анализом (стандартные программы типа Lab View). В этом случае можно оперативно менять условия отбора данных, но передача этих функций персональному компьютеру (ПК) существенно снижает скорость их обработки.

В настоящей работе благодаря использованию программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) фирмы Xilinx [1] был разработан универсальный научно-измерительный комплекс (УНИК). При этом удалось реализовать достоинства двух подходов — работу в режиме реального времени с возможностью оперативного изменения условий эксперимента (изменение высоковольтных напряжений детекторов, усиление, использование схем совпадения или антисовпадения). Эти возможности реализуются с дисплея по командам оператора. Измерение спектров производится в оперативной памяти ПЛИС. Компьютер принимает, обрабатывает и отображает на дисплее только те данные, которые используются при построении спектров.

В настоящее время приборы на основе УНИК используются для контроля сцинтилляционных детекторов большой площади, которые применяются на установках по изучению широких атмосферных ливней в Якутске [2] и Москве [3], а также в ря-

де модернизированных задач специального ядерного практикума НИИЯФ МГУ [4].

Рассмотрим возможности комплекса на примере задачи по изучению амплитудных спектров сигналов сцинтилляционного и черенковского детекторов от частиц космического фона. На рис. 1 представлена блок-схема установки, которая состоит из трех частей: блока детекторов (БД), комплекса (УНИК) и компьютера (ПК) с адаптером связи (АДН). Для связи между адаптером ПК и контроллером (КОН) УНИК используется стандартный компьютерный кабель (КАБ) с разъемами типа DB-25.

Блок детекторов состоит из трех сцинтилляционных (Д1, Д2, Д3) и одного черенковского (Д4) детек-

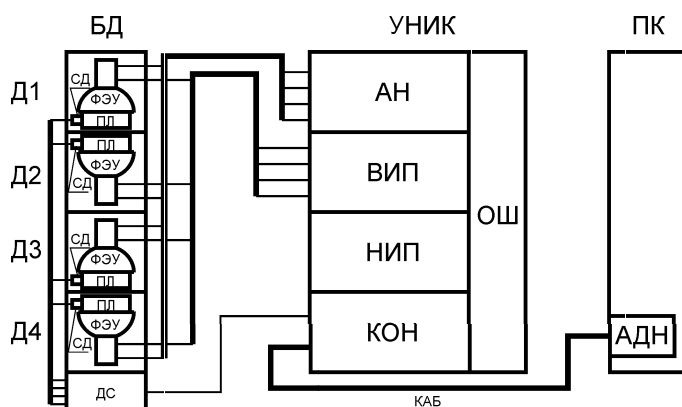


Рис. 1. Блок-схема установки по изучению сцинтилляционного и черенковского детекторов. БД — блок из 4 детекторов: Д1, Д2, Д3 — сцинтилляционные детекторы; Д4 — черенковский детектор, ФЭУ — фотоэлектронный умножитель, ПЛ — пластический радиатор света; СД — светодиод; ДС — распределитель импульсов светодиодов; АН — плата анализаторов на 4 входа; ВИП — плата из 4 высоковольтных преобразователей; НИП — плата низковольтных источников питания; КОН — контроллер; ОШ — общая шина; КАБ — стандартный компьютерный кабель связи; ПК — персональный компьютер; АДН — адаптер связи материнской платы

торов, расположенных по вертикали. Для изучения работы черенковского детектора блок детекторов может переворачиваться. В нижнем положении Д4 свет из черенковского радиатора (ПЛ) распространяется вдоль направления регистрируемой частицы и попадает на ФЭУ. В верхнем положении Д4 черенковский свет не попадает в ФЭУ. Таким образом, черенковский детектор используется как для регистрации заряженных частиц, так и для общего определения направлений их прихода. Радиаторы детекторов Д2, Д3 (ФЭУ-84) имеют меньшую площадь и служат для выделения частиц с направлениями, близкими к вертикали. Таким образом, производятся регистрация и сравнение спектров сигналов от двух типов детекторов Д1 и Д4 (ФЭУ-49) в двух положениях.

УНИК выполнен в виде 8-слотового крейта с общей шиной, заполняемого платами определенного функционального назначения. В настоящей установке используются четыре типа плат: плата низковольтного питания (НИП), которая состоит из сетевого преобразователя с нестабилизированным выходным напряжением 12 В, и три стабилизатора, выполненные на микросхемах фирмы MAXIM с выходными характеристиками: +5 В–1 А, –5В–0.2 А и +3.3 В–1 А. Через разъем общей шины ОШ напряжения поступают на все платы крейта.

Плата КОН обеспечивает передачу данных ПК УНИК. В КОН используется микросхема программируемой логики — XC 95144XL. Для имитации прохождения заряженных частиц через все детекторы в КОН генерируются тестовые импульсы, которые с помощью распределителя (ДС) подаются одновременно на все детекторы.

Плата высоковольтных преобразователей (ВИП) служит для питания четырех ФЭУ. Напряжения каждого из выходов изменяются по командам ПК в диапазоне от 0 до 2000 В с шагом около 8 В. Работа платы подробно рассмотрена в [5].

На рис. 2 представлена блок-схема платы анализатора (АН) спектра на четыре входа. В плате

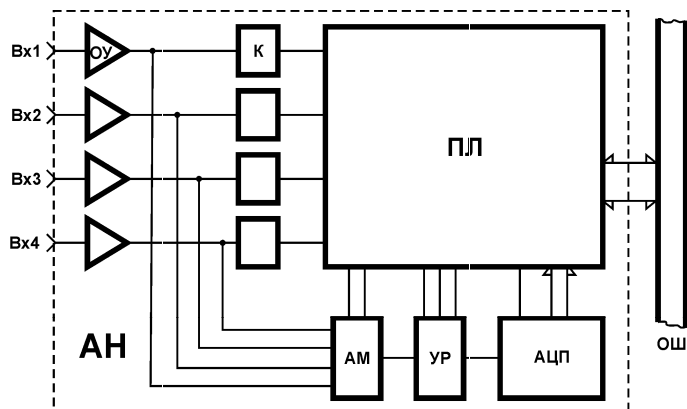


Рис. 2. Блок-схема платы анализатора АН на 4 входа. Вх1–Вх4 — входы аналоговых сигналов, ОУ — операционный усилитель, К — компаратор, АМ — аналоговый мультиплексор на 4 входа, УР — усилитель с изменяемым коэффициентом усиления, АЦП — аналого-цифровой преобразователь, ПЛ — программируемая логика, ОШ — общая шина

в аналоговой части используются быстродействующие электронные компоненты фирмы Analog Device. Сигналы отрицательной полярности с анода ФЭУ поступают на соответствующие входы платы, усиливаются операционными усилителями (ОУ) AD8058 и поступают как на компараторы (К) AD8611, так и на соответствующие входы аналогового мультиплексора (АМ) AD8184. Компараторы формируют управляющие импульсы, которые поступают на входы микросхемы программируемой логики (ПЛ), которая осуществляет отбор данных по критериям, устанавливаемым оператором ПК. Оператор может производить амплитудный анализ сигналов каждого из детекторов как без совпадений с сигналами других детекторов, так и при их совпадениях (кратность до четырех). В ПЛ используется микросхема семейства Spartan2 XC9572XL. Динамический диапазон анализируемых сигналов от 2 мВ до 1 В.

Аналоговый мультиплексор АМ пропускает для дальнейшего измерения сигнал от одного из детекторов. Адрес детектора определяется кодом, который выставляется ПЛ. Для сигналов с длительностью существенно большей, чем время переключения адреса АМ, предусмотрена возможность измерения сигналов от любого числа детекторов в одном цикле отбора. В этом случае АН переключается с тактовой частотой 10 МГц, что позволяет измерять амплитуды сигналов со всех детекторов с временным сдвигом 100 нс. Выделенные сигналы поступают на усилитель с изменяемым коэффициентом усиления (УР) AD8661. Коэффициент усиления УР может изменяться в пределах +26 дБ ÷ –26 дБ и определяется последовательным кодом, который устанавливается оператором перед началом измерений.

Далее сигналы поступают на вход восьмиразрядного амплитудно-цифрового преобразователя (АЦП) AD876. При выполнении критерия отбора данные записываются в оперативную память ПЛ. Память разделена на две части. Данные с АЦП записываются в одну из них, доступную для записи. В это время данные второй части доступны для чтения. После передачи данных в ПК функции частей переключаются. Таким образом, быстродействие платы АН определяется в основном возможностями линии связи.

Комплекс управляется программой с компьютера типа IBM PC. На рис. 3 показаны диалоговые окна программы управления и отображения данных. В базовой конфигурации выведены два окна: правое окно используется для управления комплексом, а левое — для отображения амплитудного спектра и работы с ним. При необходимости возможно открытие сразу нескольких окон для каждого из детекторов.

Программа позволяет управлять с помощью компьютера всеми аппаратными функциями: выбором входа анализатора (панель DATA CHANNEL, на рисунке выбран 1-й канал), выбором каналов совпаде-

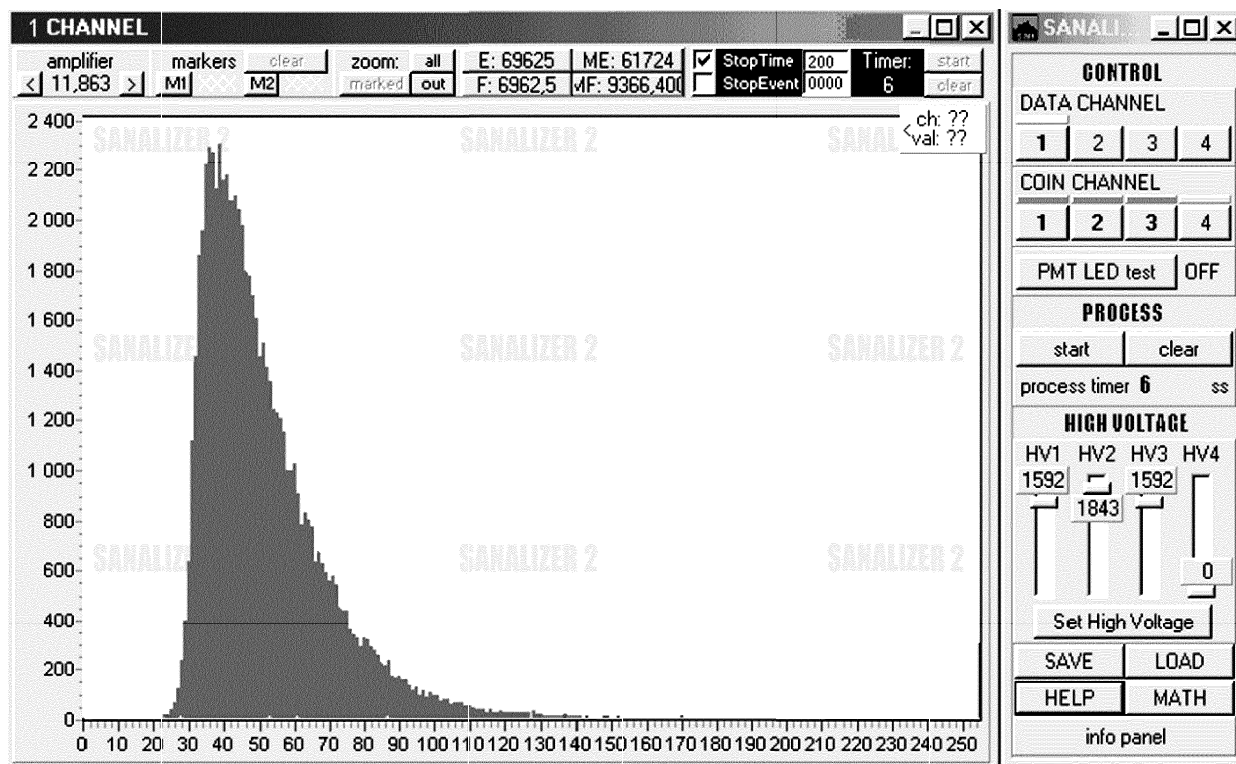


Рис. 3. Диалоговые окна программы управления и отображения данных

ний (панель COIN CHANNEL, на рисунке выбраны 2-й и 3-й каналы), подачей калибровочного импульса (PMT LED test), управлением высоковольтными источниками питания (HIGH VOLTAGE). Данные спектра отображаются в виде гистограммы. Результаты сохраняются в текстовом формате и в дальнейшем могут быть обработаны с помощью стандартных программ, таких, как MS Excel, Origin и др. В программе имеется возможность подключения своих математических библиотек.

Окно отображения спектра ведет общую статистику и статистику выделенных каналов (два маркера). Программа позволяет приближать и удалять картинку, а также просматривать параметры каждого элемента гистограммы. Пользователь может сам создать программу отображения спектра, используя прилагаемые библиотеки аппаратного уровня комплекса. Используемое программное обеспечение может быть адаптировано к широкому кругу задач.

Подобно системе КАМАК, комплекс УНИК может быть расширен другими платами определенного функционального назначения. В дальнейшем планируется дополнить комплекс платой временного анализатора.

Таким образом, разработанный комплекс может быть использован для проведения широкого круга

экспериментов в ядерной физике с детекторами, использующими фотоумножители, пропорциональные и полупроводниковые счетчики. К достоинствам комплекса следует отнести: минимизацию внешних коммуникаций, отсутствие механических регулировочных элементов, использование программируемой логики. Все это существенно повышает надежность и эффективность установок с использованием УНИК по отношению к традиционным системам.

Литература

1. Кнышев Д.А., Кузелин М.О. ПЛИС фирмы «XILINX»: описание структуры основных семейств. М., 2001.
2. Ефимов Н.Н. Широкие атмосферные ливни от космических лучей с энергией 10^{17} – 10^{20} эВ. Дисс. ... д-ра физ.-мат. наук. Якутск, 1984.
3. Веденев О.В., Гарипов Г.К., Игошин А.В. и др. // Изв. РАН. Сер. физ. 2003. **67**, № 10. С. 1457.
4. Ильина Н.П., Кузнецова Г.П., Силаев А.А. и др. Черенковский детектор: Сб. Специальный практикум по современным методам физических исследований. Ч. 1. М., 2004. С. 162.
5. Гарипов Г.К., Силаев А.А., Силаев Ал.А., Широков А.В. // Приб. и техн. эксперимента. 2002. № 3. С. 158.

Поступила в редакцию
29.10.04