

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES

ISSN 2224-5278

Volume 4, Number 418 (2016), 85 – 92

MODERNIZATION OF AN INTEGRATED MEASURING SYSTEM FOR DATA PROCESSING OF THICK EMULSIONS

A. M. Seitimbetov¹, A. Sh. Gaitinov², A. P. Slyusarev³, G. K. Bekenova³

¹Kazak National University after by al' Farabi, Almaty, Kazakhstan,

²Physics Technical Institute, Almaty, Alatau village, Kazakhstan,

³Satpaev Institute of Geological Sciences, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: aidos1947@mail.ru

Keywords: thick-layer (nuclear) photoemulsion, opto-mechanical assembly photoemulsion microscope, LPT-port IBM/PC, coordinate sensors of particle tracks, workstation, algorithms for measuring angles of the tracks.

Abstract. Modernization method for processing of track data by integrating personal computer (PC) and opto-mechanical assembly of photoemulsion specialized microscope is designed. System approach principles, such as integrity, building a system of hierarchy, structuring it possible to create a simple integrated microcomputer measuring system for special purposes, which controls the measurement process, data collection, storage and processing of the received data for a given program. Because of the big difference in speeds of work of measuring, electromechanical assemblies of microscope and electronic components of a PC, program counter (based on a continuous survey only the "R-S" trigger) was used. Setting signal of trigger is produced and reset – PC via a communication adapter. Similar methods have been used for other experimental microcomputer modernization of the obsolete facilities, such as X-ray diffractometers (series ДРОН).

In connection with the microscope module applied a new method of data acquisition from sensors, that helped to minimize the hardware interface and improve communications reliability by reducing the number of necessary cable connections. In direct conjugation of computer and microscope, readout device is software controlled. Application of multichannel switches of digital signals (such as K555КП15) allows: perform bitwise survey of all sensors simultaneously; enter the same for all sensors of microscope Barker code conversion unit in a binary; read information is supplied to the node via the integrated switch of digital signals, that controlled by register of select the sensor, which, in turn, set of computer code. Corners traces of particles in nuclear interactions and energy characteristics of the particles-fragments in interactions of the incident nuclei with emulsion nuclei were determined by using the measuring system of circular coordinate photoelectric sensors.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ИНТЕГРИРОВАННОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ С ТОЛСТОСЛОЙНЫХ ФОТОЭМУЛЬСИЙ

А. М. Сейтимбетов¹, А. Ш. Гайтинов², А. П. Слюсарев³, Г. К. Бекенова³

¹Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан,

²Физико-технический институт, Алматы, пос. Алатау, Казахстан,

³Институт геологических наук им. К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

Ключевые слова: толстослойная (ядерная) фотоэмульсия, оптико-механический узел фотоэмульсионного микроскопа, LPT-порт компьютера IBM/PC, датчики координат следов частиц, автоматизированное рабочее место, алгоритмы измерений углов следов.

Аннотация. Описан метод модернизации системы для обработки трековых данных путем интеграции персонального компьютера (ПК) и оптико-механического узла специализированного фотоэмульсионного микроскопа (ФЭМ) и структура электронной аппаратуры и алгоритмов измерений, управления и обработки данных о координатах следов частиц высоких энергий в толстослойных фотоэмульсиях.

Введение. В экспериментах на современных ускорителях и области космических лучей по изучению характеристик неупругих взаимодействий адронов и ядер с ростом первичной энергии возрастают трудности с пространственным разрешением вторичных частиц, образованных в этих взаимодействиях. Наиболее надёжным и, в то же время, наиболее трудоёмким при измерении пространственных характеристик (углов) вторичных частиц является метод толстослойных (ядерных) фотоэмульсий. Ядерная фотоэмульсия представляет собой желатиновый раствор мелких кристаллов галоидного серебра ($AgBr + AgI$). Заряженная частица, проходя через чувствительный эмульсионный слой, оставляет след, который после проявки виден в микроскоп в виде цепочки зерен металлического серебра. При этом отклонение проявленных зерен от траектории частицы составляет не более 0,8 мкм, что определяет высокое пространственное разрешение метода. По характеру видимого следа (его длине, толщине и т.п.) можно судить как о свойствах частицы, которая оставила след (её энергии, скорости, массе, направлении движения), так и о характере процесса (рассеивание, ядерная реакция, распад частиц), если он произошёл в эмульсии. Благодаря своим уникальным свойствам ядерная фотоэмульсия используется в физике частиц уже несколько десятилетий [1]. К недостаткам фотоэмульсионного метода относятся необходимость химической обработки фотопластинок, а также трудоёмкость процесса ручной обработки и анализа событий в эмульсии. С развитием электронных методов регистрации частиц фотоэмульсия была практически полностью вытеснена из эксперимента. Однако, в некоторых случаях, рекордное пространственное разрешение эмульсии, по-прежнему, незаменимо.

Ядерная фотоэмульсия имеет уникальное пространственное разрешение и возможность разделения треков частиц. Ни один из применяемых сейчас детекторов элементарных частиц не может обеспечить лучшее пространственное разрешение. При размере зерна 0,3–1 мкм отклонение зерен от восстановленной траектории движения частицы в среднем не превышает 0,8 мкм, а при определенных условиях может быть уменьшено до 0,2 мкм. Использование двусторонней эмульсии позволяет определять направление движения частиц с погрешностью менее 1 мрад. Поэтому в физике высоких энергий и в настоящее время активно применяется и развивается метод ядерных фотоэмульсий. Например, в одном из наиболее крупномасштабных экспериментов, OPERA, используется около 100 т ядерной фотоэмульсии. Еще в 70–80-е гг. прошлого столетия в ИФВЭ АН КАЗССР были созданы системы автоматизации фотоэмульсионных измерений на основе мини-ЭВМ и высокоточных оптических микроскопов (ФЭМ) типа МИРЭ-2 и МПЭ-11 [2].

Широкие возможности информационных технологий, интенсивное развитие компьютерной техники и программного обеспечения привело к более широкому внедрению автоматизированных измерительных систем в управление технологическими процессами и научные исследования.

У персонального компьютера (ПК) кроме традиционных функций отображения, хранения и обработки информации появились новые функции – измерения внешних сигналов и управления различными устройствами. Персональный компьютер с внешними измерительными модулями, платами расширения или встроенной платой сбора данных становится измерительной системой, заменяющей традиционные измерительные приборы. Персональный компьютер, управляя процессом измерений, может собирать, хранить и обрабатывать полученные данные по заданной программе.

С учетом современной ситуации, когда ПК стали намного дешевле, чем уникальные фотоэмульсионные микроскопы, а оптико-механические узлы (ОМУ) продолжают работать и в настоящее время, в то время как вычислительные и электронные ресурсы системы, входившие в виде автоматизированных рабочих мест (АРМ) в состав центра [2] значительно устарели, как физически, так и морально, было принято решение о переводе управления, измерений и обработке полученных данных на ПК IBM-PC.

При этом были учтены такие факторы, как ограниченные финансовые возможности научных лабораторий, отсутствие опытно-экспериментальной базы, что предполагает максимальное использование действующих надежных узлов и возможностей современных ПК, т.е. искать пути решения проблемы на интеграции ПК и экспериментального оборудования. Таким образом, для минимизации переделки имеющихся аппаратных средств и финансовых затрат на модернизацию в условиях лаборатории были использованы следующие методы:

1. Применение принципа аппаратно-программного дуализма [3], суть которого сводится к следующему: любой процесс, реализуемый программно, может быть преобразован в эквивалентный процесс, реализуемый аппаратными средствами и наоборот. Ни аппаратные средства, ни программное обеспечение не существуют независимо, поэтому это преобразование не может быть завершено полностью. Всегда есть программы управления аппаратными средствами и аппаратура, при помощи которой реализуются программные алгоритмы;

2. Применение принципов системного подхода, таких как целостность, иерархичность построения системы, структуризация. В этом аспекте пересматривается роль ПК в системе автоматизации ФЭМ, т.е. ПК из устройства, работающего на линии с микроскопом, превращается в неотъемлемую часть прибора. Таким образом, при таком подходе объединение микроскопа с ПК представляет собой единую интегрированную микрокомпьютерную измерительную систему специального назначения;

3. В условиях большой разницы в скоростях работы измерительных и электромеханических узлов микроскопа и собственно электронных узлов ПК появляется возможность введения программного счетчика на основе непрерывного опроса единственного “R-S” триггера, установка которого производится сигналом, а сброс - ПК через адаптер связи;

4. Минимизировать финансовые и материальные затраты за счет собственных разработок, как аппаратных средств сопряжения, так и специального программного обеспечения для управления, измерений и обработки данных.

Эти методы универсальны для микрокомпьютерной модернизации и других экспериментальных установок устаревшего типа, например, рентгеновских дифрактометров серии ДРОН (до ДРОН-4 включительно) [4].

Созданный на этих принципах АРМ-1 для измерения угловых характеристик ядерных взаимодействий состоит из четырех основных частей: микро-ЭВМ типа ПК IBM/PC, оптико-механического узла (ОМУ) микроскопа МПЭ-11-1, адаптера порта LPT, модуля связи на ТТЛ ИС и транзисторах, причем в качестве датчиков координат используются заводские позиционные датчики производства ЛОМО (г. Санкт-Петербург). В модуле связи с микроскопом МПЭ-11 применен новый метод съема информации с датчиков, позволивший минимизировать аппаратуру сопряжения и повысить надежность связи за счет сокращения числа необходимых кабельных соединений. При прежнем методе съема информации с датчиков производился опрос каждого разряда каждого датчика координаты отдельно, а выходные сигналы, наводимые при опросе, объединялись по схеме “Монтажное ИЛИ” и поступали в общий преобразователь кода Баркера в двоичный код по двум каналам (“А” и “Б”). При таком методе съема информации каждый датчик координаты (“X_{ст}”, “Y_{ст}”, “X_{вс}”, “Y_{вс}”, “Z”) имел свой регистр опроса с электронными усилителями на выходе, а приемники сигналов имели два канальных усилителя. Суть нового метода заключается в следую-

щем: каждый датчик координаты имеет двенадцать элементов для поразрядного опроса (катушек индуктивности или светодиодов в зависимости от типа микроскопа) и всего два выходных канала для передачи считанной информации, идущих в устройство съёма и преобразования кода. Во всех прежних устройствах для считывания информации на каждый датчик координаты имелся узел опроса с 12-ю выходными линиями и узел приёма информации с двумя входными линиями. Так как на каждом универсальном ФЭМ имеется 5 датчиков, связь с микроскопом требовала 72 линии связи и еще 3 линии для кнопки "Запись", расположенной непосредственно на станине микроскопа. При непосредственном сопряжении ЭВМ с микроскопом устройство для считывания является программно-управляемым. С появлением надежных многоканальных интегральных коммутаторов цифровых сигналов (например, К555КП5) появилась возможность:

- производить поразрядный опрос всех датчиков одновременно;
- ввести единый для всех датчиков микроскопа узел преобразования кода Баркера в двоичный;
- считанную информацию подавать на этот узел посредством интегрального коммутатора цифровых сигналов, управляемого регистром выбора датчика, который в свою очередь устанавливается кодом из ЭВМ.

Для удобства и простоты сопряжения предварительные усилители сигналов с датчиков, встроенные в их механические корпуса, оставлены без изменений.

Применение такого метода съёма информации дает экономию кабельных соединений, сокращает число используемых разъёмов, исключает необходимость логического переключателя для выбора номера программы в универсальном ФЭМ, и, соответственно, повышает надёжность устройства в целом. При такой организации связи ЭВМ с микроскопом типа МПЭ-11 необходимо всего 23 информационные линии: 12 линий опроса, 10 приёмных линий и 1 линия для кнопки "Запись". На рисунке 1 приведена блок-схема АРМ-1.

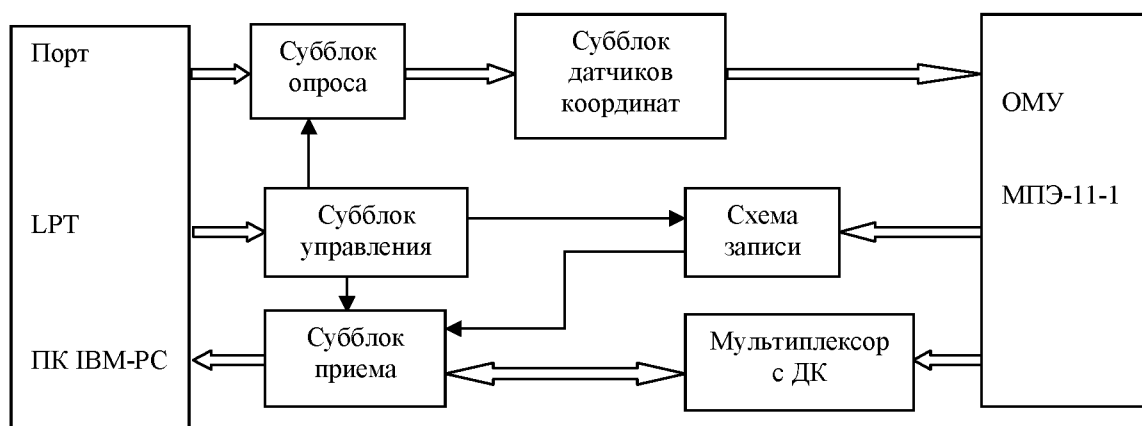


Рисунок 1 – Блок-схема модернизированного АРМ-1 для измерения угловых характеристик взаимодействий в толстослойных фотоэмульсиях

Figure 1 – Block diagram of an upgraded APM-1 to measure the angular characteristics of the interactions in a thick-layer emulsions

Основой систем автоматизации обработки данных с экспериментов с применением таких трековых детекторов, как толстослойные фотоэмульсии, являются высокоточные трёхкоординатные оптические микроскопы, снабженные датчиками координат (ДК), традиционно выполняемые в виде 13-разрядных позиционных преобразователей типа "угол-код", работающие в коде Баркера. В качестве элементов этих ДК первоначально использовались трансформаторные чувствительные элементы (микроскопы МИРЭ-1,2, МИГЭ-1,2), затем элементы в виде пар "инфракрасный светодиод (СД)-кремниевый фотодиод (ФД)", разделённые двумя кодовыми дисками, причём общее число пар равно 12 (микроскоп МПЭ-11).

В процессе длительной эксплуатации выявились существенные недостатки таких ДК:

- а) вследствие конструктивных особенностей построения оказался невозможным их ремонт в условиях лаборатории;
- б) установленные типы СД и ФД инфракрасного диапазона оказались весьма дефицитны.

Учитывая вышеизложенное, а также, что для определения физических характеристик необходимо знать только приращения координат (это следует из расчётных формул), были разработаны, изготовлены и отлажены простые в изготовлении, надёжные в эксплуатации и лёгкие в ремонте фотоэлектрические круговые ДК, содержащие один кодовый диск с 32 щелями и всего две пары "источник света-фотоприёмник", в которых источником света служат сверхминиатюрные лампочки накаливания, а фотоприёмником – обычные кремниевые фотодиоды. Такой датчик, снабжённый усилителем и схемой реверса, позволяет преобразовать значение угла поворота вала соответствующего привода в две серии последовательных импульсов, сдвинутых на 90° и на каждый оборот вырабатывает 128 импульсов. В практическом исполнении такой измерительный тракт позволил повысить надёжность определения координат в универсальных фотоэмульсионных микроскопах, традиционно использующих позиционные датчики координат, работающих в коде Баркера. При таком подходе информация о текущих значениях координат точек следа частицы программно формируется, отслеживается и хранится в буферной зоне памяти. На основе таких ДК и соответствующего им электронного блока измерителя, ориентированного на подключение к ПК был создан модернизированный АРМ-2 на базе ПК и ОМУ МПЭ-11 (рисунок 2).

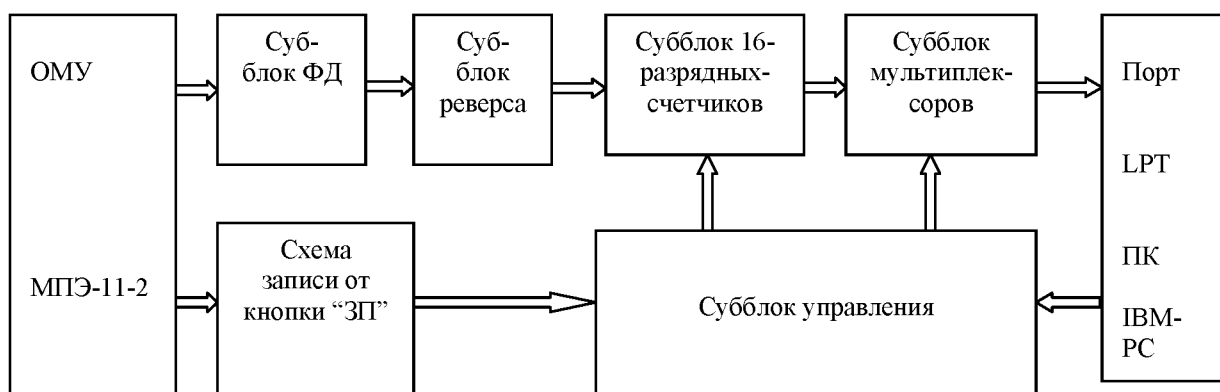


Рисунок 2 – Блок-схема модернизированного АРМ-2 для измерения угловых характеристик ядерных взаимодействий в толстослойных фотоэмульсиях

Figure 2 – Block diagram of an upgraded APM-2 to measure the angular characteristics of nuclear interactions in a thick-layer emulsions

Выбор метода измерений углов диктуется, как плотностью пучка вторичных частиц, так и наиболее оптимальным выбором комбинации работы трёх из пяти ДК. Условные обозначения этих ДК следующие: $X_{ст.}$, $Y_{ст.}$, $X_{вс.}$, $Y_{вс.}$, Z .

Цена деления ДК определяется индивидуально при измерении толщины слоя и сравнении её с первоначальным слоем эмульсии до проявления.

Под управлением стандартной операционной системы (ОС) ПК работают специальные управляющие программы, выполняющие следующие функции:

- опрос и съём информации с ДК ФЭМ, а также накопление данных о координатах точек следов частиц в буферной зоне памяти;
- диалог оператора с ПК через блок клавиатуры и видеомонитор;
- документирование полученных результатов;
- тестирование ДК и кнопки "ЗП".

При измерениях угловых характеристик вторичных частиц используется следующая методика измерений:

- Выставляется как можно лучше параллельность следа налетающей частицы;
- Производится диалог оператора с ПК для ввода начальных значений, выбирается метод измерения, измеряются нулевые углы первичного следа налетающей частицы;
- По коду 1 измеряются углы вторичных следов с большими отклонениями от направления первичного следа, когда не требуется большой точности в установке центра события;

4. По коду 2 измеряются углы следов вторичных фрагментов, вылетающих под очень малыми углами и визуально расходящиеся относительно друг друга на большом расстоянии от центра. В этом случае углы измеряются относительно двух сечений. Одно сечение берется в месте уже заметного расхождения измеряемых следов, второе – как можно дальше от первого сечения;

5. Для исключения искажений, вносимых разной плотностью слоев эмульсий, а также механическими искажениями, используются измерения с репером для малых углов по коду 2 и 3;

6. Большие пучки малых углов требуют непрерывного измерения, чтобы не перепутать их между собой, поэтому их измеряют по коду 3. Кроме того по коду 3 измеряются малые углы большого пучка следов, когда время измерения всей суммы следов достаточно длительное и надо учесть влияние этого времени, за которое измеряемые следы “уплывают” от первоначального положения.

Алгоритм измерений углов следов частиц в ядерных взаимодействиях приведен на рисунке 3.

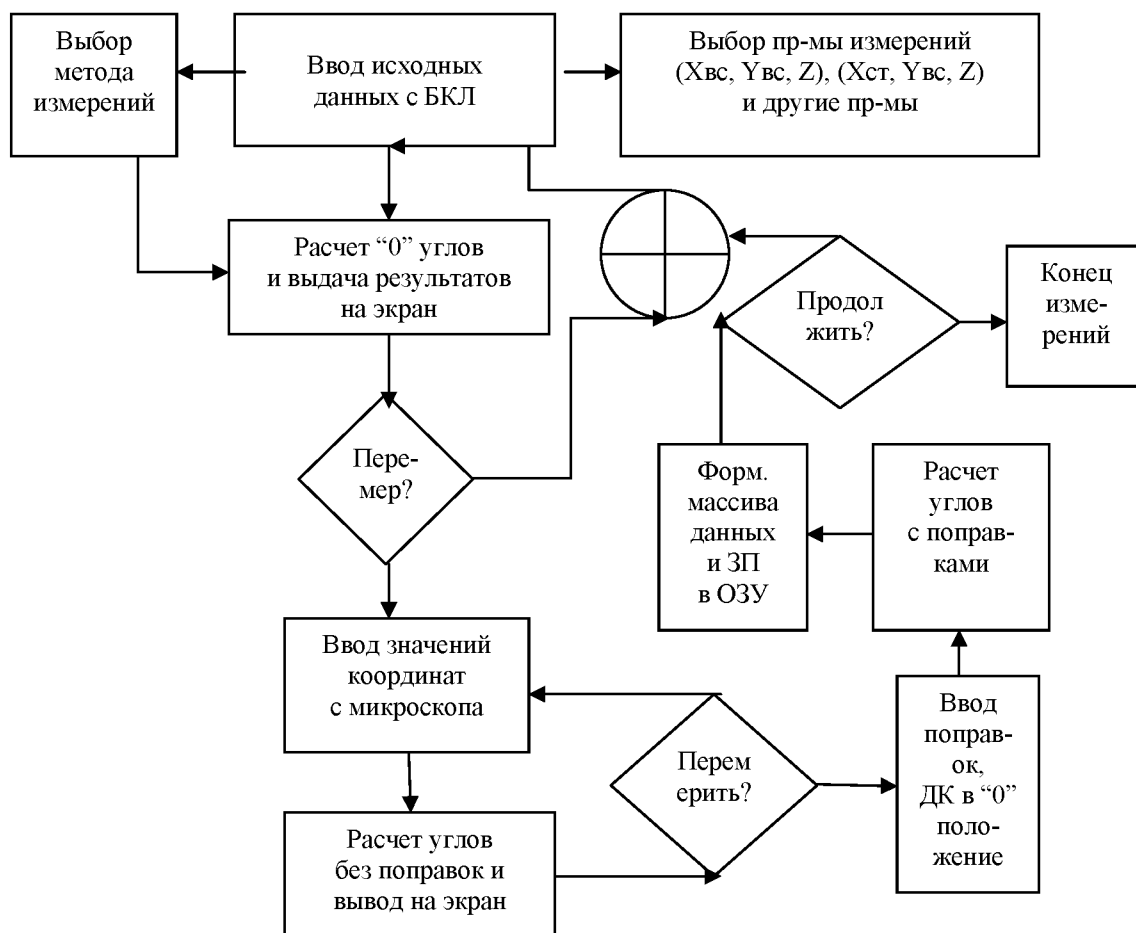


Рисунок 3 – Алгоритм измерений углов следов частиц в ядерных взаимодействиях

Figure 3 – Algorithm for measurement of angles of particle tracks in nuclear interactions

Кроме измерений угловых характеристик большое значение имеет изучение энергетических характеристик частиц – фрагментов во взаимодействиях налетающих ядер с ядрами фотоэмульсии и сравнение их с адрон-ядерными взаимодействиями.

Это, в основном, малоионизирующие частицы с зарядом $Z = 1$, наиболее верные энергетические характеристики которых можно определить только с помощью измерения кулоновского рассеяния этих частиц на ядрах фотоэмульсии. Поэтому была проведена также модернизация автоматизированной установки по измерению импульсов частиц [5].

Визуальное наблюдение следов в эмульсии ведется на ОМУ микроскопа МИРЭ-2 через оптическую систему с увеличением 1757. Значения координаты снимаются фотоэлектрическим датчиком, сопряженным через интерфейс с дополнительным портом ПК LPT через плату-переходник PCI-LPT. Фиксированные шаги по координате осуществляется шаговым двигателем типа ШД-4 под управлением программы при включенной электромагнитной муфте (ЭМ).

Эмульсионная стопка в данном эксперименте облучалась ядрами неона-22, которые взаимодействовали с ядрами фотоэмульсии и давали события в виде многолучевых звезд.

В событиях, где наблюдались фрагменты налетающих ядер, определялись импульсы этих фрагментов посредством АРМ-3, блок-схема которого приведена на рисунке 4.

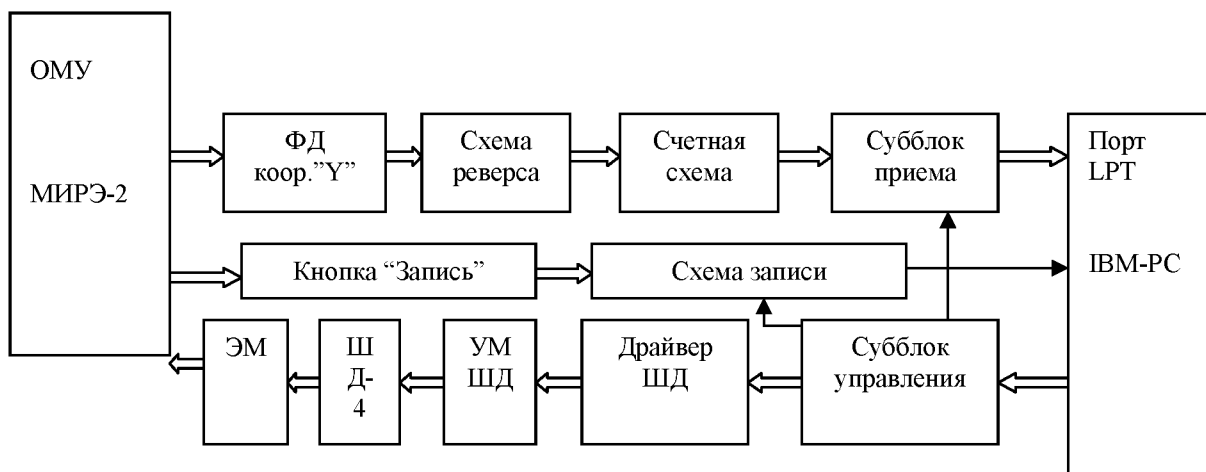


Рисунок 4 – Блок-схема модернизированного АРМ для измерения многократного кулоновского рассеяния заряженных частиц

Figure 4 – Block diagram of an upgraded APM to measure multiple Coulomb scattering of charged particles

Для определения импульса частиц по кулоновскому рассеянию применялся *rho*-метод. Нахождение импульса производилось по программе на четырёх ячейках, кратных минимальной, так чтобы максимальная ячейка соответствовала оптимальной для частиц с импульсом 12 Гэв/с. После снятия координат трека фрагмента в фотопластинке, по команде оператора происходит расчёт и выдача на экран монитора значения импульса фрагмента для всех кратных ячеек, проверяется по критерию отбора лучший результат, который и отображается на экране монитора.

Разработка и отладка управляющих и вычислительных программ проводилось на языке C++ в интегрированной среде разработки Borland C++.

За время длительной эксплуатации системы с ее помощью были проведены исследовательские работы по изучению взаимодействий ядер различных веществ с ядрами фотоэмульсии в рамках международного сотрудничества, отображенных в публикациях [6,7,8] а также и в ряде других научных публикаций.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Пауэлл С., Фаулер С., Перкинс Д. Исследование элементарных частиц фотографическим методом. – М.: Изд-во Иностранной литературы, 1962. – 424 с.

[2] Сейтимбетов А.М. Технические средства центра для обработки данных с ядерно-эмульсионных экспериментов // Сборник "Научные приборы и автоматизация научных исследований". – Алма-Ата: Гылым, 1992. – С. 11-19.

[3] Клигман Э. Проектирование микропроцессорных систем. – М.: Мир, 1980. – 575 с.

[4] Сейтимбетов А.М., Слюсарев А.П., Батракова А.Ю. и др. Изучение технологических продуктов Майкаинского месторождения на модернизированном рентгеновском дифрактометре ДРОН-4 // Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук. – 2011. – № 5. – С. 61-66.

[5] Гайтинов А.Ш., Сейтимбетов А.М. и др. Автоматизированная система реального времени для измерений энергетических характеристик ядерных взаимодействий в толстослойных фотоэмульсиях. – Препринт ИФВЭ-86-01. – Алма-Ата, 1986. – 46 с.

[6] Gaitinov A.Sh., Kanygina E.K., Skorobogatova V.I. *et al.* (Collaboration EMU01) General characteristics of Pb+Em collisions at 160 A GeV XV Intern. Conf. on Problems of High Energy Physics. – Дубна, Россия, 2000. – 25-29 сент.

[7] Аргынова А.Х., Гайтинов А.Ш. и др. Исследование механизма фрагментации ядер $^{16}\text{S}^{32}$ (3,7 А ГэВ) и $^{14}\text{Si}^{28}$ (14А ГэВ) в зависимости от энергии их столкновения с ядрами фотоэмульсии // Известия НАН РК. Серия физ.-мат. – 2011. – № 3. – С. 34-40.

[8] Аргынова А.Х., Гайтинов А.Ш. и др. Образование многозарядных фрагментов ядер (10 А ГэВ) и (158 А ГэВ) во взаимодействиях с ядрами фотоэмульсии // Известия НАН РК. Серия физ.-мат. – 2014. – № 3. – С. 85-89.

REFERENCES

[1] Pawells S., Fowler S., Perkins D. Study of elementary particles by photographic method. M.: Publ. House "Foreign Literature", 1962. 424 p.

[2] Seitimbetov A.M. Technical means for data processing center with a nuclear emulsion experiments // In book "Scientific instruments and automation of scientific research". Alma-Ata: Gylm, 1992. P. 11-19.

[3] Klingman E. Design of microprocessor system. M.: Mir, 1980. 575 p.

[4] Seitimbetov A.M., Slyusarev A.P., Batrakova A.Yu. et al. Study of technological products from Maikain deposit on a modernized X-ray diffractometer DRON-4 // Izvestiya NAN RK. Seriya Geologii i Tekhnicheskikh nauk. 2011. N 5. P. 61-66.

[5] Gaitinov A.Sh., Seitimbetov A.M. et al. Automated real-time system for measuring of power characteristics of nuclear interaction in a thick-emulsions. Reprint IPhHE-86-01. Alma-Ata, 1986. 46 p.

[6] Gaitinov A.Sh., Kanygina E.K., Skorobogatova V.I. et al. (Collaboration EMU01) General characteristics of Pb+Em collisions at 160 А GeV XV Intern. Conf. on Problems of High Energy Physics. Dubna, Russia, 2000. 25-29 September.

[7] Argynova A.Kh., Gaitinov A.Sh. et al. Study of nuclei fragmentation mechanism $^{16}\text{S}^{32}$ (3,7 А GeV) and $^{14}\text{Si}^{28}$ (14А GeV) depending on the energy of their collisions with the nuclei of the emulsion // Izvestiya NAN. Seriya phiz.-mat. 2011. N 3. P. 34-40.

[8] Argynova A.Kh., Gaitinov A.Sh. et al. Formation on multiply charged fragments (10 А GeV) и (158 А GeV) in interactions of nuclei with emulsion nuclei // Izvestiya NAN. Seriya phiz.-mat. 2014. N 3. P. 85-89.

ЖАНҒЫРТУ БІРІКТІРІЛГЕН ӨЛШЕУ ЖҮІЕСІН ӨНДЕУ ҮШІН ДЕРЕКТЕРДІ ЯДРОЛЫҚ ФОТОЭМУЛЬСИЯДА

А. М. Сеітімбетов¹, А. Ш. Гайтинов², А. П. Слосарев³, Г. К. Бекенова³

Өль-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,

²Физика техникалық институты, Алматы, Қазақстан

³Қ. И. Сәтбаев атындағы геологиялық ғылымдар институты, Алматы, Қазақстан

Тірек сөздер: қалың қабатты (ядролық) фотоэмульсия, оптика-механикалық фотоэмульсиондық микроскоптың торабы, IBM/PC дербес компьютердің LPT-порты, құрылғы координатының бөлшек іздері, автоматтандырылған жұмыс орны, іздердің бұрышын өлшейтін алгоритм.

Аннотация. Мақалада дербес компьютер мен оптика-механикалық торабының арнайы фотоэмульсиондық микроскопты біріктіру жолымен тректік деректерді жетілдіру, құрылғының электрондық құрылымы және алгоритмдерді өлшеу, қалың қабатты фотоэмульсияларда жоғарғы энергиялы бөлшектердің координаттық іздерін өңдеу және басқару үшін жүйені жетілдіру әдісі сипатталады.

Поступила 31.05.2016 г.