

Учреждение Российской Академии Наук
ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им. П.Н.Лебедева РАН

На правах рукописи
УДК 524.1: 004.4

МИЗИН Сергей Витальевич

Программное обеспечение приборов
мониторинга космических лучей.

01.04.01 – «Приборы и методы экспериментальной физики».

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук

Москва – 2010

Работа выполнена в Физическом Институте им. П.Н.Лебедева Российской Академии Наук.

Научный руководитель: доктор физико-математических наук

Махмутов Владимир Салимгереевич

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,

Вашенюк Эдуард Владимирович,

Полярный Геофизический Институт РАН,

кандидат физико-математических наук,

Охлопков Виктор Петрович,

Московский государственный университет им.

М.В. Ломоносова

Ведущая организация:

Институт Земного Магнетизма Ионосферы и

Распространения Радиоволн - ИЗМИРАН,

г. Троицк.

Защита состоится

25 октября 2010 г. в часов

на заседании Диссертационного совета

Д002.023.02 при Физическом Институте им.

П.Н.Лебедева РАН по адресу: 119991, ГСП-1, г.

Москва, Ленинский проспект, д.53, главный

корпус.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Физического Института им.П.Н. Лебедева РАН.

Автореферат разослан « » _____ 2010 г.

Учёный секретарь диссертационного совета

Скворцова И.Д.

(тел.8-499-132-66-30).

I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы и постановка задачи. Развитие физики элементарных частиц и ядерной физики в последние годы является сложным и длительным процессом, поскольку в своей экспериментальной части связано с построением исследовательских установок чрезвычайно высокой мощности и сложности, а, следовательно, и дороговизны. Примером являются все работающие на сегодня ускорительные исследовательские системы, включая и наибольшую по мощности – введенный в строй большой адронный коллайдер в ЦЕРНе. Параллельное развитие регистрирующей аппаратуры для регистрации космических лучей естественного происхождения, в дальнейшем – КЛ, часто даёт не менее существенные результаты, как для экспериментальной, так и теоретической физики. Например, с использованием метода стратосферного зондирования [1]. Со 2-й половины 20 века добавилась ещё и 3я область эксперимента по ядерной физике – создание бортовых физических приборов космических аппаратов. Автор данной работы принимал участие в международном проекте «Памела», при разработке и сборке комплексного регистратора КЛ высоких энергий [2,3]. Наземные приборы непрерывного автоматического мониторинга КЛ, описываемые в данной работе, поставляющие данные о потоке и свойствах КЛ у поверхности Земли, являются важным дополнением результатов измерений полученных на космических аппаратах, измерений КЛ на стратосферных зондах и на больших исследовательских установках, например, на ускорителях. Таким образом, данные наземных установок КЛ закрывают «окна» в энергетических спектрах элементарных частиц. Следовательно, создание таких установок и программного обеспечения к ним определяет **актуальность** данной работы.

Целью настоящей работы было создание эффективных программных комплексов управления приборами регистрации и долговременного мониторинга КЛ и потоков заряженных частиц на основе современных средств вычислительной техники. Регистрирующие системы автоматического долговременного мониторинга КЛ и программные комплексы к ним, созданные при выполнении данной работы, функционируют в режиме непрерывного мониторинга свыше 3.5 лет.

Положения, выносимые на защиту.

1. Создана, проверена и надёжно работает реализованная схема построения быстрых и эффективных программ управления физическими

приборами в реальном времени в режиме многоконвейерной обработки данных для регистрации элементарных частиц КЛ, на 3-х экспериментальных приборах непрерывно эксплуатирующихся несколько лет.

2. Создан метод реализации высокоточного приборного таймера для экспериментальных устройств, обеспечивающий относительную точность не хуже $10^{-4;-5}$, необходимую для проведения измерений интенсивности КЛ и заряженных частиц.

3. Разработана и реализована оригинальная методика построения программ с надёжной автоматической системой сохранения данных регистрации физических приборов при любых случайных отказах сети электропитания и сбоях оборудования.

4. В процессе создания этих программно-аппаратных комплексов, в составе программ успешно реализованы и отлажены достаточно универсальные (переносимые) фрагменты кода, представляющие собой «эмулятор» внешнего управляемого прибора, при его отсутствии, с использованием программных датчиков случайных чисел, добавляемых к среднему возможному значению. Это позволяло выполнить отладку самих программ ранее, чем были завершены все электронные компоненты приборов. Для прибора «Сцинтилляционный годоскоп» создан программный модуль проверки и отладки электроники прибора.

Объекты исследования. Объектом исследования для физических приборов и программных комплексов управления, которые выполнил автор данной работы, являются потоки космических лучей и заряженных частиц.

Научная новизна работы состоит в создании новых программных комплексов для высокоточных приборов автоматизированного мониторинга КЛ и пучка заряженных частиц от ускорителя на основе методов многопоточного программирования («multi-threading»). Эти комплексы используют простой персональный компьютер для полного управления приборами в автономном режиме, с записью и передачей результатов непрерывного мониторинга по локальным сетям и через глобальную сеть Интернет для последующей удалённой оперативной автоматизированной обработки. Соответственно, научные данные, полученные с этих комплексов являются новыми.

Научной и практической ценностью работы автор считает использование самых современных и передовых методов компьютерного программирования и соответствующих алгоритмов для построения программно-

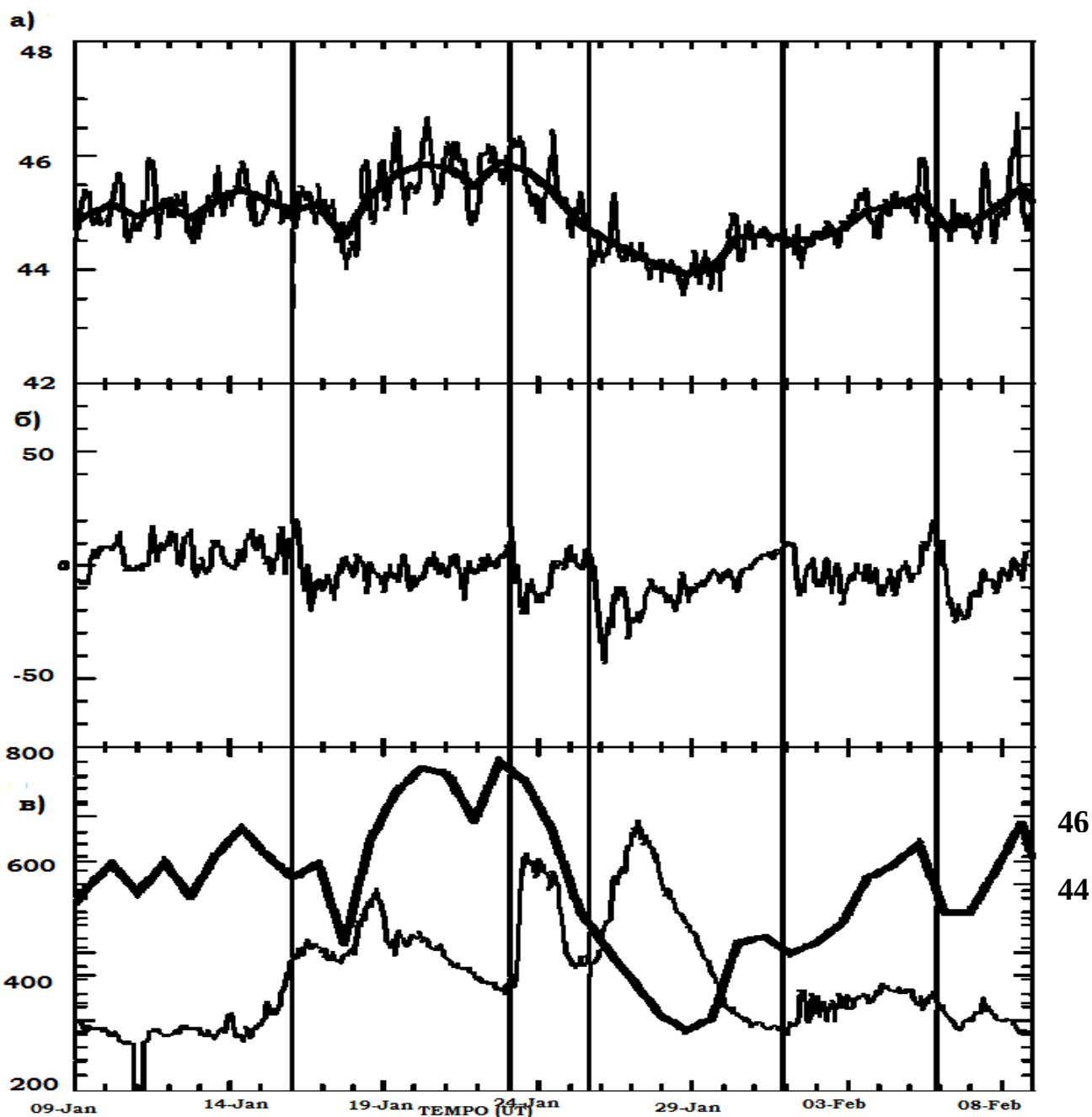
аппаратных комплексов высокоточных приборов автоматизированного мониторинга КЛ и пучков заряженных частиц. Ценным в работе является детальное рассмотрение фрагментов кодов управляющих приборами программ, с подробными пояснениями и комментированием. Эти управляющие программы проверены годами непрерывной автоматической работы высокоточных систем регистрации КЛ на базе персонального компьютера средней мощности. Полезным является также изложение методов многопоточного программирования на примерах конкретных авторских программ, позволившее реализовать такие высокоточные и высокоскоростные приборы регистрации на базе персонального компьютера с высокой степенью надёжности и защищённости экспериментальных данных. Практической ценностью является также проработка и реализация схемы прямой выдачи этих данных в глобальную сеть Интернет для последующей автоматизированной обработки результатов пользователями.

Личный вклад автора. Автором была разработана общая схема и структура управляющих программ для вышеуказанных приборов регистрации КЛ и заряженных частиц. Сформулированы и реализованы требования по автоматизации работы приборов в режиме длительного автоматического (без участия оператора) мониторинга КЛ наземными установками. Все управляющие программные комплексы представленных трех приборов выполнены автором полностью самостоятельно. Установка соответствующих программ, их отладка и настройка в составе экспериментального комплекса проводилась лично автором работы. В процессе обсуждения получаемых результатов, усложнения и расширения экспериментального приборного комплекса, автором вносились изменения в программы управления приборами. Результаты анализа данных долговременного мониторинга прибора «Ковёр» и сцинтилляционного годоскопа в ЦЕРНе обсуждались и интерпретировались при активном участии автора данной работы.

Достоверность защищаемых результатов подтверждается как результатами тщательного тестирования работы программных комплексов, так и непосредственно экспериментальными данными, полученными на соответствующих экспериментальных установках.

Апробация результатов работы. Программные комплексы управления, разработанные автором, успешно используется на протяжении последних лет в ряде экспериментальных установок. Также созданная автором программа,

используемая в стенде градуировки газоразрядных счётчиков-телескопов в последние 2.5 года обеспечивает необходимые отбор и нормировку большого количества детекторов-телескопов, как для эксперимента стратосферного



24 января – 5 февраля 2006 г, время UT

Рисунок 1. Данные прибора «Ковер» полученные во время геомагнитного возмущения 24 января – 5 февраля 2007 г. [6]. а) счет канала телескопа - кривая усреднения (за 1 час) наложена на точки отсчётов прибора; б) данные по геомагнитному индексу Dst и в) изменение скорости солнечного ветра (тонкая линия, левая шкала в км/с) и изменение счета телескопа «Ковра» (правая шкала) .

зондирования атмосферы (до 1000 телескопов в год), так и для других наземных установок регистрации КЛ, например, для приборов «Ковёр».

Программа управления прибором «Ковёр», установленного в астрономической обсерватории CASLEO (Аргентина, (<http://www.casleo.gov.ar>)) уже свыше 3 лет (с 2006 г.) обеспечивает регистрацию и автоматическую передачу научных данных при непрерывном автоматическом режиме работы прибора «Ковёр». Результаты анализа данных, полученных и получаемых на установке «Ковёр», регулярно докладывались и обсуждались на международных конференциях, Российской конференции по космическим лучам и семинарах ФИАН, а также опубликованы в Российских и международных изданиях [4-7] (Рис.1).

Апробирован в лабораторных условиях программный комплекс, обеспечивающий работу прибора «Сцинтилляционный годоскоп», созданного для международного эксперимента CLOUD в ЦЕРНе (<http://public.web.cern.ch/public/en/Research/CLOUD-en.html>; <http://www.fian-inform.ru/?mode=mnews&id=591&page=1>), задачи и цели которого обсуждались в ряде международных конференций – «рабочих встречах», например в [4], а также – на семинаре ФИАН.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка литературы, представленных на 140 печатных страницах, включая 19 рисунков, список литературы из 18 наименований и 3-х приложений, содержащих полный текст программного кода ключевых файлов программ, управляющих приборами.

II. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **Введении** представлены и кратко охарактеризованы по целям, назначению и получаемым научным результатам три научно-исследовательских прибора, перечислены управляющие программные комплексы, полностью разработанные автором данной диссертационной работы.

Глава 1, озаглавленная «Программа управления прибором «Ковёр» («Carpet»)) посвящена наземному прибору долговременной автоматической регистрации КЛ «Ковёр». Этот прибор, разработанный и созданный на Долгопрудненской Научной Станции ФИАН им. П.Н.Лебедева, установлен в обсерватории CASLEO в 2006 г. Приводится описание, назначение, структура и

принцип работы прибора в связи с особенностями регистрации им именно КЛ. Основное внимание в главе уделено общей и частной реализации программ

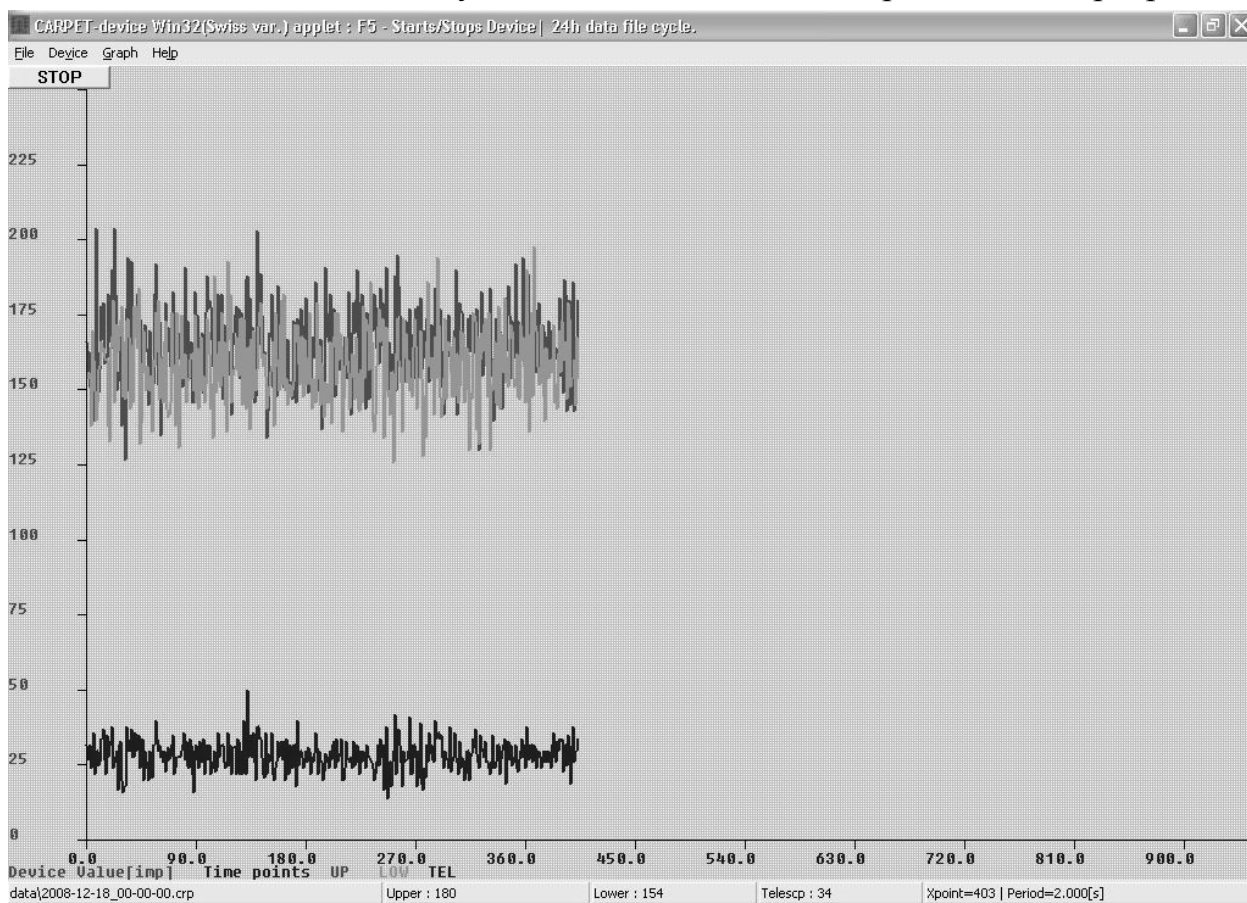


Рисунок 2. Визуализация рабочего окна программы управления прибором "Ковёр", работающего в основном режиме регистрации КЛ. Верхние 2 кривые показывают темп счета прибора в каналах верхних и нижних счетчиков, а нижняя кривая – канал телескопа.

управления высокоскоростными приборами («реального времени») с помощью разработанных программ для персонального компьютера. Подробно обсуждаются сложности реализации таких программ и приёмов, которые применены для их преодоления на примере прибора «Ковёр». Приводится снимок рабочего окна управляющей программы прибора «Ковёр» в процессе эксперимента.

В параграфе 1.1 «Общее описание и назначение прибора» дано общее и достаточно подробное описание прибора «Ковёр». Иллюстрируются внутреннее устройство, внешний вид и схема рабочей установки прибора «Ковёр», установленного в Обсерватории CASLEO. Описывается схема регистрации и механизмы записи и передачи получаемых данных.

В параграфе 1.2 «Программа управления прибором «Ковёр» представлено общее описание функциональности и принципа работы программного комплекса по управлению прибором «Ковёр» (см. Рис.2). Сформулированы общие трудности при создании высокоскоростных приборных программ управления, методы и приёмы программирования, которые позволяют эти трудности преодолевать. В общем смысле, таким методом является многопоточное (multi-threading) программирование. Отдельно отмечается, что для автоматизированных программ (работающих без участия оператора) и приборов отдельную трудность и задачу представляет сохранность данных измерений и устойчивость системы к сбоям в системе электропитания как энергетического оборудования, так и компьютера.

Параграф 1.3 «Существенные особенности кода программы «Ковёр»» полностью посвящен конкретизации, иллюстрации принципов и задач, сформулированных в параграфе 1.2 и подробному комментированию кода управляющей программы прибора «Ковёр». Рассмотрено построение автоматизированного, устойчивого к сбоям по электропитанию, надёжного и полностью автоматизированного программного комплекса управления физическим прибором с развитым графическим интерфейсом. Здесь же подробно рассмотрена система программной реализации эмулятора физического прибора для целей отладки комплекса, на примере установки прибора «Ковёр».

В параграфе 1.4 «Иллюстрации данных мониторинга космических лучей, полученных на установке «Ковёр» в астрономической обсерватории CASLEO» (Аргентина) приведены примеры интересных результатов по вариациям космическим лучей, полученных в процессе 3-х летних непрерывных автоматических измерений на установке в горной астрономической обсерватории CASLEO. Приводятся сводные графики зависимостей измеренного потока КЛ, особенности его модуляции в период 2006-2010 гг. Показаны примеры нового эффекта, выявленного именно в процессе работы установки прибора «Ковёр». Как-то – непериодические всплески потока КЛ, наблюдаемые при высокой облачно-грозовой активности в приземной атмосфере. Дана предварительная интерпретация таких всплесков в их взаимной связи с электрическими полями в приземной атмосфере, наблюдаемым датчиком электрического поля (датчик EFM-100), входящим в состав научного комплекса.

Глава 2 «Программа управления программно-аппаратным комплексом стенда калибровки газоразрядных счётчиков» представляет разработанную автором данной диссертации программу управления установки другого назначения – установки «Калибровочный стенд» для калибровки газоразрядных счётчиков.

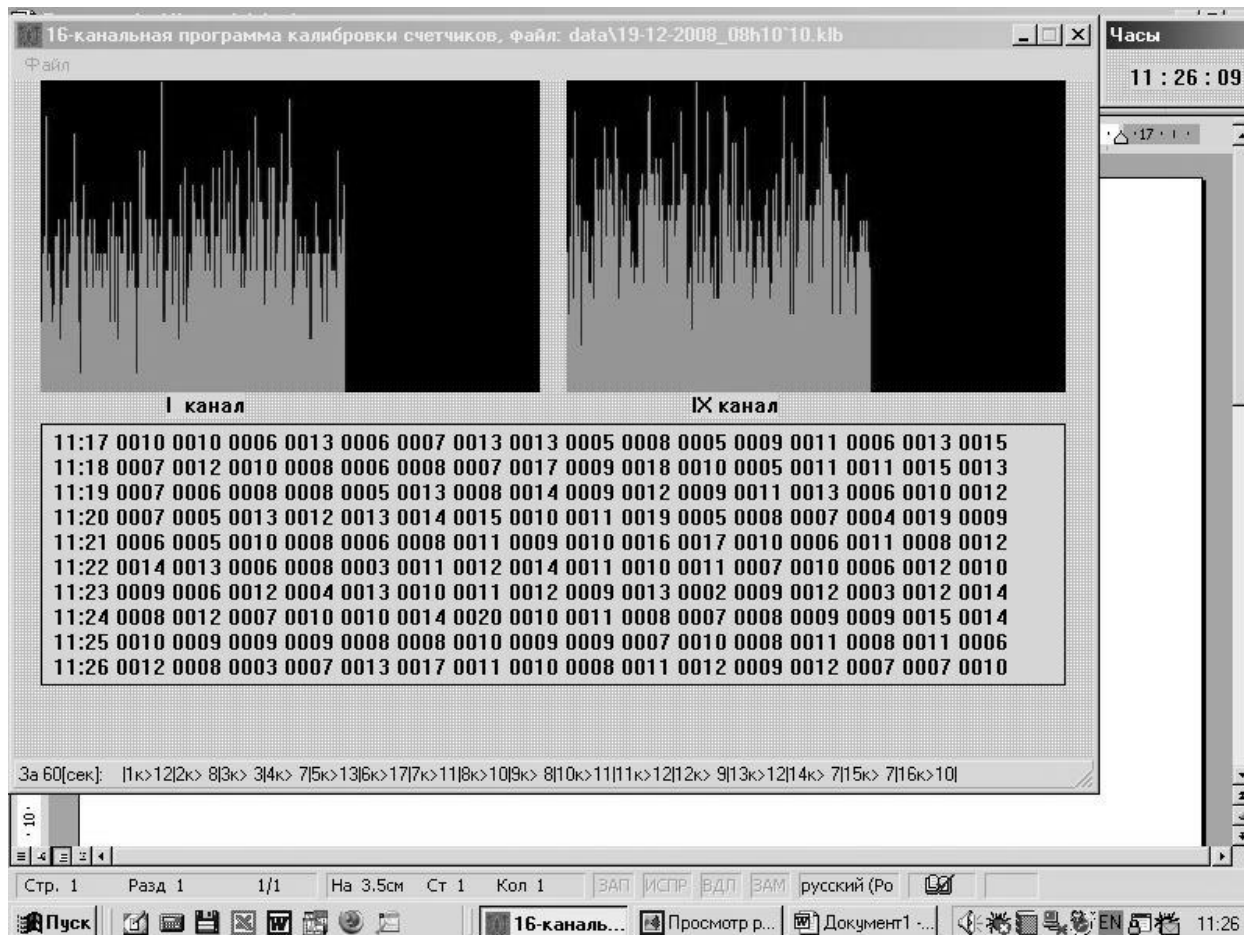


Рисунок 3. Рабочее окно программы управления 16-канальным прибором "Стенд калибровки телескопов". Графическое и табличное представления текущих данных калибровки телескопов.

В параграфе 2.1 «Общее описание и назначение программы управления «Калибровочный стенд» для стенда калибровки сдвоенных газоразрядных счётчиков-телескопов» представлено описание и назначение программы управления прибором «Калибровочный стенд», которая предназначена для автоматизации калибровки газоразрядных счётчиков-телескопов (см. Рис.3). Данный стенд, на протяжении последних трех лет управляется программой, разработанной автором диссертации. Этот стенд калибровки является важной составляющей многих экспериментальных работ и исследований, проводимых

длительное время на Долгопрудненской Научной Станции ФИАН им. Лебедева по различным научным направлениям. В том числе, по международным проектам в разных научных лабораториях – от Российской Антарктической станции Мирный и лаборатории Полярного Геофизического института (Апатиты, Мурманская область) до астрономической обсерватории CASLEO (Аргентина) и Европейского центра ядерных исследований ЦЕРН (Швейцария). Необходимость и универсальность данного прибора-стенда определяется важной задачей метрологической стандартизации и калибровки, используемых во всех этих экспериментах газоразрядных (типа Гейгера-Мюллера) счётчиков типа СТС-6 или СБМ. Для того чтобы верно интерпретировать данные, получаемые такими счётчиками или их совокупностью, необходимо выполнение следующих двух условий: 1) применяемые в приборах детекторы одного типа не должны иметь больших расхождений в эффективности регистрации, 2) характеристики этих однотипных («одинаковых») детекторов должны быть установлены в процессе стандартной калибровки через введение калибровочных поправок. Использование этих поправок позволило получить однородный экспериментальный ряд данных измерений КЛ в земной атмосфере с 1957 г. по настоящее время. В целом, на ДНС ФИАН, на описываемом стенде калибровки ежегодно выполняется калибровка около 1000 пар счётчиков-телескопов, используемых впоследствии в различных экспериментах.

В параграфе 2.2 « Программный проект «Калибровочного Стенда», подробно разобран код программы управления калибровочным стендом. Описаны и разъяснены ключевые особенности и преимущества выполненной программно-аппаратной реализации «Калибровочного стенда» телескопов с прямым вводом данных на АЦП стандартной звуковой платы ПК. Представлены два существенных преимущества реализации: 1) построение счётной схемы 16-ти канального калибровочного стенда на основе стандартной звуковой платы ПК позволило сократить сложность электроники стенда, который, по сути, работает просто в импульсно-аналоговом режиме; 2) реализация высокоточного таймера высокого приоритета даёт высокую точность работы стенда, с относительной погрешностью по времени не хуже $10^{-4 \div -5}$. Далее в этом параграфе детально, с комментариями разбирается код программы, который позволил реализовать эти два принципиальных преимущества программы.

Глава 3 «Программа управления установкой сцинтилляционных детекторов» полностью посвящена описанию программы управления наиболее сложным прибором – годоскопом заряженных частиц на основе плоских секций сцинтилляционных детекторов. Программа управления этим прибором также полностью выполнена автором данной диссертации. Данная установка, именуемая далее «Сцинтилляционный годоскоп», изготовлена Долгопрудненской Научной Станцией ФИАН в рамках международного проекта CLOUD и предназначена проведения экспериментальных работ в ЦЕРНЕ, наряду с детектором космических лучей – установкой «Ковёр» (Глава 1 данной диссертации).

В параграфе 3.1 «Общее описание установки из сцинтилляционных детекторов» дано общее описание как самой установки «Сцинтилляционный годоскоп», так и целей и задач, для которых он был изготовлен. Комплекс из 2-х приборов для международного эксперимента CLOUD, изготовленный на Долгопрудненской Научной Станции ФИАН, был смонтирован на ускорителе ЦЕРН в середине 2009 г. и вступил в работу. Рабочий график эксперимента CLOUD предусматривает 3 года проведения экспериментов с различными параметрами. За прошедший год, оба прибора – и «Сцинтилляционный годоскоп», и «Ковёр» успешно прошли все тестовые измерения и были использованы при проведении несколько сессий эксперимента CLOUD в 2009-2010 гг. В настоящее время ведётся обработка полученных экспериментальных данных, которые включены в главу 4 данной диссертации.

Основная задача прибора «Сцинтилляционный годоскоп» состоит в мониторинге пучка высокоэнергичных частиц, выходящих из ускорителя и проникающих в специальную камеру эксперимента CLOUD. В этой камере изучается воздействие ионизирующих частиц на атмосферные процессы, как и сопутствующие этому количественные измерения процесса ионизации атмосферы. Сцинтилляционный годоскоп, собранный из 18 сцинтилляционных счетчиков (размеры каждого $1800 \times 20 \times 200 \text{ мм}^3$, Рис. 4), см., позволяет получать пространственное и временное распределения потока частиц, попадающих из ускорителя в рабочий объем камеры (напомним, что установка «Ковёр» позволяет вести параллельно контроль за космическими лучами и возможной радиоактивностью, вызванной разными источниками в месте проведения эксперимента).



Рисунок 4. На переднем плане – рабочее окно монитора, иллюстрирующее работу программного обеспечения. На заднем плане – «Сцинтилляционный годоскоп» для регистрации пучка заряженных частиц от ускорителя. Он состоит из 9 горизонтальных и 9 вертикальных плоских сцинтилляционных счётчиков.

Сцинтилляционный годоскоп имеет 81 пространственный канал сбора данных и их считывания. Причем считывание производится за сравнительно короткое время ~ 20 мс (суммарный счет совпадений импульсов горизонтальных и вертикальных счетчиков, Рис.4) и 500 мс (суммарный счет по каждому из 81 каналов). Таким образом, сцинтилляционный детектор обеспечивает временную регистрацию пространственного профиля потока частиц от ускорителя в ЦЕРН.

Параграф 3.2 «Описание функциональности и принципа работы программы «Сцинтилляционный годоскоп»» включает в себя обзор и описание программы управления работой сцинтилляционного детектора (см. Рис. 5).

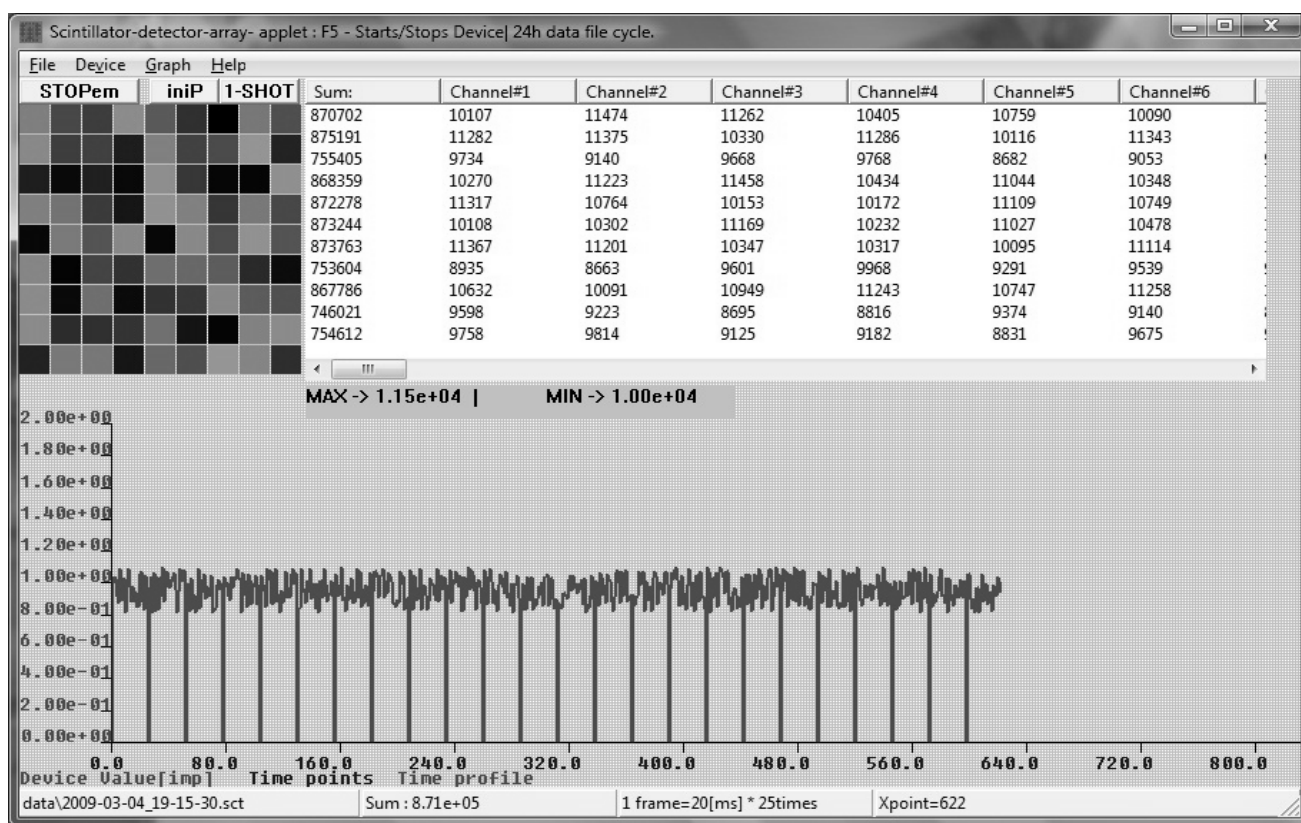


Рисунок 5. Рабочая область программы управления прибора "Сцинтилляционный годоскоп". Вверху слева – графическое отображение пространственного распределения пучка частиц, проходящего через детектор, справа- текущие табличные данные счета. Временной профиль суммарного потока проходящих частиц представлен внизу.

Программа «Сцинтилляционный годоскоп» является дальнейшим развитием и усложнением структуры и алгоритмов, заложенных автором в программе

«Ковёр», описанной в 1-й главе диссертации. Данная программа намного сложнее и по функциональности, и по всем параметрам графического интерфейса пользователя – оператора.

Существенное усложнение, связано с двумя особенностями, характерными для данной установки:

- Требуются короткие интервалы времени накопления данных – десятки миллисекунд, что потребовало создания специального механизма отображения миллисекундных данных на экране таким образом, чтобы они выводились на экран в режиме доступном для фиксирования человеческим глазом – когда отображение изменившихся данных происходит за время не менее 0.5 с.
- Сложная схема опроса электроники «Сцинтилляционного годоскопа», анализа, преобразования, отображения и сохранения информации от 81-го канала прибора.

Поэтому, с одной стороны, эффективная внутренняя структура и интерфейс, разработанные автором диссертации для программы «Ковёр», позволили использовать и развить её элементы в программе «Сцинтилляционный детектор». Но с другой стороны, потребовалась очень значительная переработка и доработка нескольких других функциональных элементов программы и её графического интерфейса. В целом, можно говорить, что программа «Сцинтилляционный детектор» полностью новая, по сравнению с программой «Ковёр», и в ней использованы только те же механизмы и некоторые элементы программы «Ковёр». Унаследован механизм создания и функционирования высокоточного таймера системного уровня, который особенно загружен в программе «Сцинтилляционный годоскоп», базирующийся на временном интервале интегрировании данных. Развита и усилена до 5 независимых программно-вычислительных потоков (по сравнению с 3-мя вычислительными потоками в программе «Ковёр») механизм многопоточных (многоконвейерных) вычислений в связи с появлением дополнительных быстродействующих элементов прибора и графических элементов интерфейса оператора и настройщика прибора «Сцинтилляционный детектор».

В **параграфе 3.3** «Существенные особенности кода программы «Сцинтилляционный годоскоп»» производится полный и подробный разбор программного кода управляющей программы «Сцинтилляционный годоскоп» с точки зрения вышеописанных особенностей самого прибора и управляющей им

программы. В частности, прибор – «Сцинтилляционный годоскоп» является высокоскоростным устройством, а управляющая им программа выполняет большой объём вычислительной работы в непрерывном режиме с одновременным (параллельным) отображением на экране состояния «сцинтиллятора» и записью данных в файл. Программный комплекс обеспечивает долговременный и полностью автоматизированный режим работы прибора в течение месяцев так же, как это реализовано для прибора «Ковёр» рассмотренного в Главе 1 данной работы.

В параграфе 3.4 «Данные, полученные на ускорителе ЦЕРН в результате работы прибора «Сцинтилляционный годоскоп»», представлены некоторые данные, полученные в ходе предварительных сессий эксперимента CLOUD на ускорителе ЦЕРН. Общее описание международного эксперимента CLOUD в ЦЕРНе по исследованию влияния ионизирующих излучений на свойства атмосферы приведены в источниках на официальном сайте ЦЕРН: <http://public.web.cern.ch/public/en/Research/CLOUD-en.html> и <http://cdsweb.cern.ch/record/1221293>

В 2010 г. по плану эксперимента CLOUD заканчивается монтаж всего комплекса оборудования, и одновременно проводятся как тестовые и поверочные работы, так и рабочие сессии эксперимента.

Глава 4 «Основные результаты, полученные на установке «Ковёр», калибровочном стенде (стенде градуировки) и сцинтилляционном детекторе» посвящена краткому обзору научных результатов работы описанных приборов, уже представленных в российских и зарубежных журналах и трудах конференций, [4-9]. Первая часть результатов относится к долговременным данным прибора «Ковёр», продолжающего набор данных в режиме непрерывного автоматического мониторинга с 2006 по 2010гг (по настоящее время) в астрономической обсерватории CASLEO в рамках международного соглашения о научном сотрудничестве между научными институтами Бразилии, Аргентины и ФИАН (Рис.6) .

На Рис. 7 представлены данные, полученные на описываемой в работе установке «Сцинтилляционный годоскоп» во время одной из предварительных сессий эксперимента в конце 2009 г. Здесь по вертикальной оси отложен темп счёта заряженных частиц, фиксируемых прибором «Годоскоп» за один 20 мс интервал, а по горизонтальной оси – время в количестве последовательных 20 мс интервалов.

Start Time: 2006/04/01 00:00:00 Final Time: 2009/03/01 00:00:00
 NSUM = 86400 (CARPET) NSUM = 240 (Pressure)

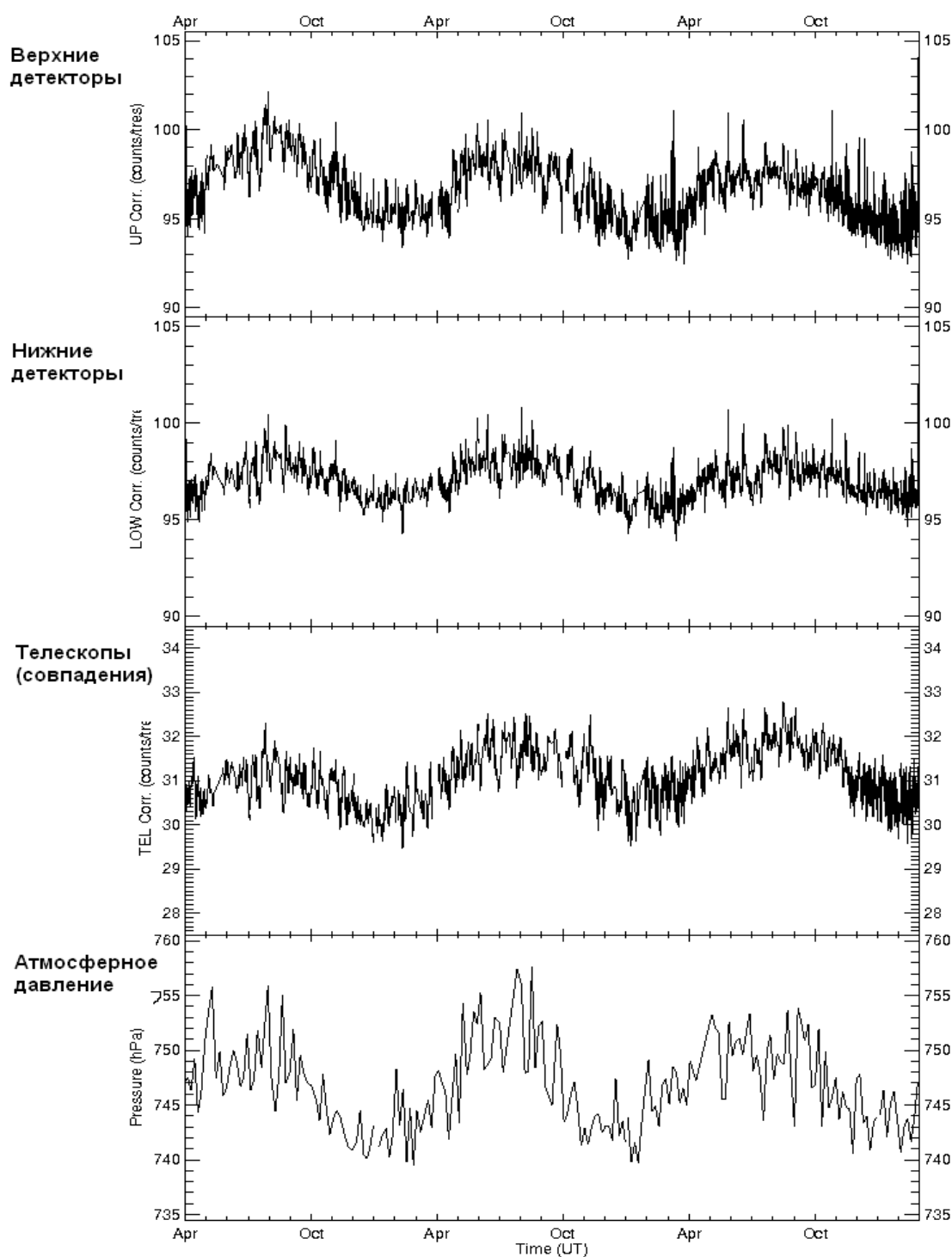


Рисунок 6. Данные мониторинга по 3-м каналам прибора «Ковёр» за период 2006 г.(апрель)-2010 г. (февраль) работы в обсерватории CASLEO (усреднение за сутки). Нижний график показывает атмосферное давление. Чётко видна годовая (сезонная) «волна» интенсивности КЛ в атмосфере (сверху).

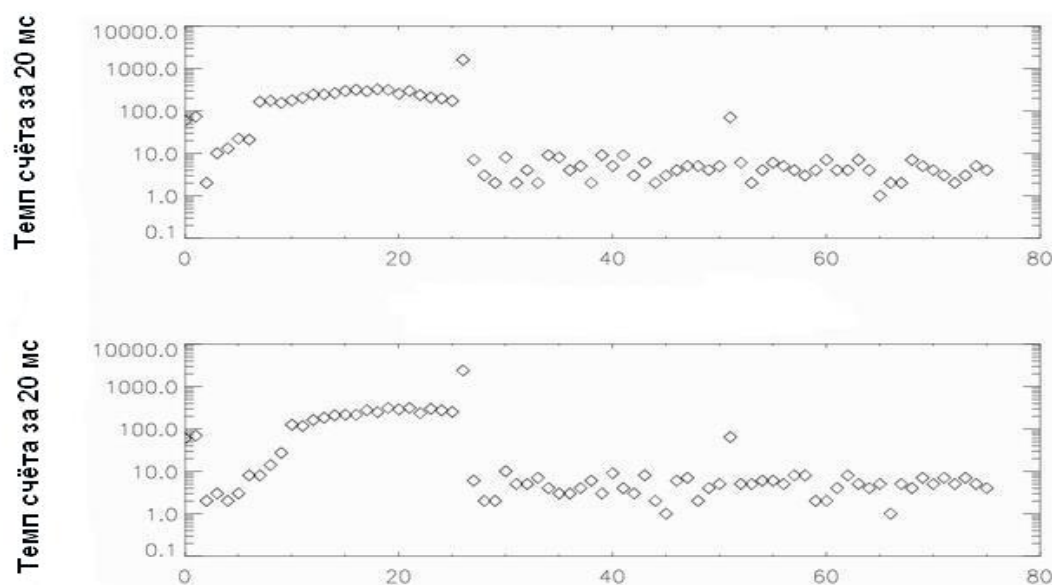


Рисунок 7. Временной профиль пучка заряженных частиц от ускорителя в ЦЕРНе, измеренный установкой «Сцинтилляционный годоскоп» 14 ноября 2009 г. По вертикальной оси - количество зарегистрированных частиц за 20 миллисекундный интервал, по горизонтальной оси порядковая нумерация последовательных 20 мс отсчётов на интервале времени 1.6 с.

Высокий уровень счёта прибора (более 100 за 20 мс) соответствует времени регистрации заряженных частиц от окна ускорителя ЦЕРН, низкий уровень – соответствует времени регистрации «фоновых» потоков космических лучей. Все эти заряженные частицы, регистрируемые «Сцинтилляционным годоскопом», от ускорителя затем попадают в главную ионизационную камеру эксперимента CLOUD.

Глава 5 «Заключение» формулирует основные результаты, полученные автором, которые автор считает существенными, и которые были получены в процессе работы экспериментальных установок, управляемых программными комплексами, разработанными автором данной диссертации.

III. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ

В процессе выполнения данной работы были получены следующие существенные, по мнению автора, результаты:

- 1) Созданы и проверены долговременной успешной работой 3 программных комплекса прямого управления с персонального компьютера достаточно быстрыми и сложными приборами регистрации заряженных частиц.
- 2) Выбранный и реализованный передовой механизм программирования – многопоточное программирование (multi-treading) – позволил добиться в программах управления приборами сочетания высокого быстродействия, надёжности, безотказности и развитого графического интерфейса, что позволяет оператору полностью контролировать работу прибора, ход эксперимента и его результаты прямо на экране компьютера, и своевременно вносить коррективы в режим работы приборов.
- 3) Сопутствующим достижением применённого метода многопоточного программирования явилась реализация и устойчивая работа высокоточного таймера интервалов для приборов, позволяющего задавать и устойчиво выдерживать в работе приборов временные интервалы накопления данных до ~ 10 мс включительно без привлечения и применения дополнительной сложной и дорогостоящей высокоскоростной электроники.
- 4) Созданный в процессе эксплуатации прибора «Ковёр» отдельный алгоритм повышения сохранности данных эксперимента, позволил исключить потери информации с приборов в процессе длительных автоматических экспериментов при любых отказах компьютера и питающих сетей длительностью свыше 1-х суток, что позволяет эксплуатировать созданные программно-аппаратные комплексы приборов длительное время в полностью автоматическом режиме.
- 5) Выбранная многопоточная схема управляющих программ позволила реализовать во всех представленных управляющих программах выдачу данных хода эксперимента в реальном времени в локальную или глобальную сеть Интернет для осуществления параллельной оперативной обработки данных хода идущего эксперимента на удалённых серверах больших вычислительных центров.
- 6) Реализованы программные механизмы тестирования и отладки сложной электроники приборов регистрации заряженных частиц.

В соответствующих приборам главах автор данной работы выделил и детально рассмотрел те методы и приёмы программирования, которые считает важными и существенными как для написания аппаратно-ориентированных программ вообще, так и программ долговременного непрерывного мониторинга в частности.

IV. СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ДИССЕРТАЦИИ

1. G.A.Bazilevskaya, E.Flueckiger, V.S.Makhmutov, S.V.Mizin.

Omnidirectional and vertical fluxes of charged particles in the Earth's atmosphere during solar proton events.-Radiation Measurements, Vol.26, No.3, pp. 443-446, 1996.

2. Picozza P., Galper A.M., Castellini G., ..., Bazilevskaja G.A., ..., Kvashnin A.N., ..., Maksumov O., ..., Misin S., ..., Stozhkov Yu.I., et al.

PAMELA - a payload for antimatter matter exploration and light-nuclei astrophysics. ArXiv:astro-ph/0608697, v. 1, 31 Aug 2006.

3. Picozza P., Galper A.M., Castellini G., ..., Bazilevskaja G.A., ..., Kvashnin A.N., ..., Maksumov O., ..., Misin S., ..., Stozhkov Yu.I., et al.

The first year in orbit of the PAMELA experiment. - In: Proc. 30th International Cosmic Ray Conference, Merida, Mexico, 2007.

PAMELA - a payload for antimatter matter exploration and light-nuclei astrophysics. - Astroparticle Physics, 2007, v. 27, p. 296-315.

4. Р.Р. Мендонса, Ж.-П.Ролан, В.С.Махмутов, Ю.И. Стожков, А.Н.Квашнин, О.С.Максумов, С.В.Мизин, Г.Фернандез. Наблюдение вариаций космических лучей и электрического поля в приземной атмосфере. Известия РАН, Серия Физическая, 2009г., том 73, №3, с.423-425.

5. V.S. Makhmutov, Y.I. Stozhkov, A.N. Kvashnin, M.S. Kalinin, O.S. Maksumov, V.N. Makunin, S.V. Mizin. GCR counter & Beam Hodoscope. CLOUD collaboration meeting, UK, Leeds, 3-4 Feb. 2009

а также на сайте коллаборации CLOUD по адресу: <http://indico.cern.ch>

6. R. R. S. de Mendonca, J.-P. Raulin, V. S. Makhmutov, Yu. I. Stozhkov, A. N. Kvashnin, O. S. Maksumov, S. V. Mizin, and G. Fernandez. Observation of Cosmic Ray and Electric Field Variations in the Surface Atmosphere. Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics, 2009, Vol. 73, No. 3, pp. 404–406. © Allerton Press, Inc., 2009.

7. Emilia Correia, Jean Pierre Raulin, Pierre Kaufmann, JoseHenrique Fernandez, Edvaldo Simoes da Fonseca Jr., Paulo Fagundez, Umransin, Vladimir Makhmutov, Hugo Levato,

Space Weather Impacts in the Polar Atmosphere–SWIMPA -EoI#603

<http://www.sos.siena.edu/~aweatherwax/icestar/Helisphere%20Impact%20on%20Geospace%20Workshop/correia.pdf>

8. De Mendonca, R. S., Raulin, J.-P. , Makhmutov, V. S., Correia, E. , Kaufmann P. FIRST OBSERVATIONS WITH THE COSMIC RAY DETECTOR *CARPET* AT EL LEONCITO, Simposio Brasileiro de Geofisica Espacial e Aeronomia – SBGEA, 23 a 26 de outubro de 2006, Sao Jose dos Campos, SP

9. V.S. Makhmutov, Y.I. Stozhkov, A.N. Kvashnin, O.S. Maksumov, S.V. Mizin, V.N. Makunin. Preliminary results on the GCR counter and Particle Beam Hodoscope records during first CLOUD run on Nov.-Dec. 2009. CLOUD collaboration meeting, Villigen/PSI, 25-28 Jan. 2010