

С-284

**ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

10-93-12

УДК 539.12+681.3.06

**СЕДЫХ**  
**Юрий Валентинович**

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМ  
СБОРА, ОБРАБОТКИ И ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДАННЫХ  
ЭКСПЕРИМЕНТОВ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ  
НА БАЗЕ ПЕРСОНАЛЬНЫХ КОМПЬЮТЕРОВ**

**Специальность: 05.13.16 — применение вычислительной  
техники, математического моделирования  
и математических методов в научных исследованиях**

**Автореферат диссертации  
на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук**

Дубна 1993

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации и Лаборатории ядерных проблем.

Научный руководитель  
доктор физико-математических наук Иванченко  
Иосиф Моисеевич

Официальные оппоненты:  
доктор физико-математических наук Гребеников  
Евгений Александрович

кандидат физико-математических наук Вовенко  
Анатолий Серафимович

Ведущая организация: Петербургский институт ядерной физики (г. Гатчина).

Защита состоится " " 1993 г.  
в часов на заседании специализированного совета  
Д 047.01.04 Лаборатории вычислительной техники и автоматизации  
ОИЯИ, г. Дубна Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Автореферат разослан " " 1993 г.

учёный секретарь  
специализированного совета  
кандидат физико-математических наук Иванченко З.М.

#### ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Интенсификация научных исследований, усложнение систем сбора, обработки, анализа и представления данных экспериментов физики высоких энергий (ФВЭ), с одной стороны, и появление в середине 80-х годов персональных электронно-вычислительных машин (ПЭВМ) - с другой, привели к необходимости разработки математического обеспечения, которое позволило бы эффективно использовать потенциальные возможности новых вычислительных средств в научных исследованиях в области физики высоких энергий. Персональные компьютеры обладают рядом достоинств, которые создали предпосылки включения этих средств в системы автоматизации физических исследований: относительно высокая вычислительная мощность, "дружественный интерфейс", графические возможности, высокая надёжность, простота эксплуатации и невысокая стоимость. Фактором, сильно сдерживавшим использование ПЭВМ в этой области, являлось отсутствие инструментальных средств автоматизации программирования и проблемно-ориентированного математического обеспечения, аналогичных используемым в ФВЭ на традиционных компьютерах, а также базовых программных средств, ориентированных на персональные ЭВМ.

Работы, положенные в основу диссертации, выполнены в соответствии с проблемно-тематическим планом научно-исследовательских работ и международного сотрудничества ОИЯИ.

Цель работы заключалась в разработке принципов построения на ПЭВМ математического обеспечения экспериментов физики высоких энергий, в разработке эффективно реализуемых на персональных компьютерах алгоритмов сбора, обработки и представления экспериментальных данных и в создании на основе этих разработок систем программного обеспечения для ряда крупных экспериментов.

Научная новизна работы. Разработана методика и на её основе впервые на персональных компьютерах созданы варианты пакетов прикладных программ и адаптированы библиотеки общего пользования, использовавшиеся в физике высоких энергий только на больших компьютерах. Предложены принципы построения распределённой графической системы на основе комплекса центральная-персональная ЭВМ. Разработана структура графического метафайла, обеспечивающая минимальный его размер, высокую точность представления графических данных, минимальное время доступа к произвольному изображению, переносимость с одного компьютера на другой. Предложена и

реализована структурно-функциональная модель базовой библиотеки RCLIB, представляющей все необходимые средства доступа к аппаратному обеспечению персональной ЭВМ и эффективного использования её ресурсов, средства создания хорошего интерфейса, одинаково удобного и для начинающего и для опытного терминального пользователя.

Предложены принципы построения ONLINE программного обеспечения на персональных компьютерах под управлением системы MS DOS на базе концепции параллельных асинхронных процессов, программируемых на языках высокого уровня.

Предложены концепции построения программного обеспечения автоматизированных стендов испытаний в условиях серийного производства на основе микрокомпьютеров. Рациональность и эффективность предложенных концепций подтверждена при создании участка испытаний детекторов адронного калориметра установки ДЕЛФИ, математическое обеспечение которого было создано на основе предложенных принципов.

Разработан экономичный метод решения задачи определения параметров пространственного положения плоских детекторов.

Практическая значимость работы. На основе проведённых разработок и исследований создано программное обеспечение автоматизированных стендов тренировки и контроля детекторов адронного калориметра установки ДЕЛФИ, на которых было испытано более 20 тыс. стримерных трубок, успешно работающих в течение нескольких лет на ускорителе ЛЭП в ЦЕРНе. Построена рабочая станция для разработки и использования программного обеспечения в области физики высоких энергий, которая нашла широкое применение в физических институтах нашей страны и за рубежом. В частности, на базе построенной рабочей станции была создана программа ZFITTER, используемая в настоящее время тремя из четырёх установок на ускорителе ЛЭП (ЦЕРН, Швейцария) для фитирования полученных данных с целью определения основных параметров теории электрослабых взаимодействий, а также получения других физических результатов. Разработанное математическое обеспечение применялось на установке БИС-2 для контроля и обработки экспериментальных данных. С помощью разработанных программ впервые в ОИЯИ были получены физические результаты, указывающие на существование явления низкотемпературного ядерного синтеза. Эти программы используются в методических исследованиях при проектировании мюонной системы нового эксперимента ATLAS на строящемся ускорителе LHC в ЦЕРН.

Апробация работы. Результаты, положенные в основу диссертации, докладывались на IV всесоюзном семинаре по автоматизации научных исследований в ядерной физике и смежных областях, обсуждались на научных семинарах ЛВТА, ЛЯП и ЛВЭ ОИЯИ (1986-1992), на семинарах экспериментального отдела физики частиц ЦЕРН (Женева, 1990-1992).

Результаты, положенные в основу диссертации, опубликованы в журналах "Программирование", "Nuclear Instruments and Methods", в виде "DELPHI Note" ЦЕРН, препринтов и сообщений ОИЯИ. Всего по теме диссертации опубликовано 26 работ. Основные результаты диссертации изложены в работах /1-15/.

Структура работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы.

#### КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы основные задачи и особенности их решения, дано сжатое содержание по главам.

В первой главе описывается постановка и методика решения задачи организации тренировки, испытаний и контроля детекторов адронного калориметра многоцелевого экспериментального комплекса (установка ДЕЛФИ) в условиях серийного производства<sup>/1/</sup>.

Решаемые проблемы являлись, в известной степени, противоречивыми и новыми для физики высоких энергий<sup>/11,12/</sup>. С одной стороны, большой объём производства (надо было изготовить около 25 тыс. стримерных трубок), сжатые сроки, необходимость испытаний каждой трубки на нескольких стендах, с другой - требования высокой надёжности произведённых детекторов, которые должны были без дальнейшего обслуживания работать годы, и отсутствие чётких критериев на начальных этапах производства, на основе которых должна была вестись аттестация качества трубок. Кроме того, параллельно во времени необходимо было обеспечить возможность проведения методических исследований с целью изучения различных характеристик произведённых детекторов.

Эти проблемы могли быть решены только путём компьютерной автоматизации стендовых испытаний<sup>/8,13/</sup>. В качестве базовых ЭВМ были выбраны микроЭВМ ДВК-1. Главными критериями такого выбора были невысокая стоимость, надёжность, коммерческая доступность и наличие средств сопряжения с крейтом КАМАК ЭВМ указанного типа.

С целью уменьшения вероятности ошибок операторов, не имевших специальной подготовки для работы с вычислительной техникой, общее управление компьютерами (изменение режимов, параметров и другие сравнительно редкие команды) производилось через системы меню, выполненных в виде схематического изображения специализированной группы клавиш со вписанными в их изображения соответствующими командами и значениями параметров. Для оперативного управления применялись сенсорные пульты, программная организация работы с которыми исключала ошибочные команды.

Для контроля действий операторов и использования в методических исследованиях необходимая информация записывалась на диск в рабочий электронный журнал. При этом с целью его защиты на случай зависания, соответствующие файлы периодически закрывались и открывались вновь в режиме продолжения.

Особое внимание было уделено вопросам оперативного отображения текущего состояния. В условиях большого количества информации на стендовых дисплеях эффективно использовались цветовые решения. Информация о критических трубках выводилась в красных и малиновых тонах, которые привлекали к себе внимание операторов. Дополнительно выдавался звуковой сигнал при появлении плохих трубок, что позволяло оператору не смотреть постоянно на экран дисплея и обслуживать несколько стендов одновременно.

С целью коррекции режимов тренировки или испытаний, все программы имели ряд параметров, которые считывались из текстового (который легко редактировать) профилирующего файла, а также могли быть изменены интерактивно. Для этого был разработан минивариант пакета FFREAD, позволивший вводить данные в свободном формате.

С целью получения оперативных данных для методических исследований была предусмотрена возможность вывода информации о каждой трубке в виде таблицы измеренных и вычисленных параметров по команде оператора.

Вторая глава посвящена базовой библиотеке PCLIV, разработанной для связи программ, реализуемых на языках высокого уровня, с операционной средой IBM-совместимых персональных компьютеров.

Необходимость создания такой библиотеки была вызвана несколькими причинами. Прикладные программисты - физики, как правило, владеют только языком Фортран, который на персональном компьютере не имеет развитой системной поддержки. То же самое можно сказать и об аппаратных возможностях при работе на Фортране.

Таким образом, для написания высокоэффективных прикладных программ, выгодно использующих системные функции, быстрых, экономичных, с хорошим интерфейсом пользователя, и была создана библиотека PCLIV, насчитывающая более 200 модулей. Языками программирования при этом служили Фортран, выполнявший организационные и логические функции, и Ассемблер, который использовался для создания эффективных, экономичных и скоростных программ, выполняющих различные специфические функции.

Программы библиотеки обеспечивают вывод текстовой и графической информации на экран дисплея в различных модах, дают большие возможности для работы с клавиатурой. Они осуществляют доступ к портам ввода/вывода, служащим для управления различными нестандартными устройствами, а также расширяют возможности управления принтером, контролируя его работу. Используя системный таймер, соответствующие программы могут выдавать системное время, позволяют измерять интервалы времени с точностью до 1 микросекунды. Ряд программ организуют работу с динамиком в режиме прерывания, практически не занимая процессор. Значения частот звуковых фрагментов (могут быть заложены и паузы) и их длительности заносятся в кольцевой буфер, откуда и считываются во время очередного прерывания. По прерыванию организована и работа с последовательными портами, обеспечивая возможность эффективной связи с другими компьютерами или устройствами. Во избежание нежелательных эффектов все измененные библиотечными программами вектора прерываний восстанавливаются *автоматически* при любом (нормальном или аварийном) завершении задачи<sup>15/</sup>.

Большие возможности даёт библиотека PCLIV при работе с операционной системой. Программа может получать командную строку, посредством которой она была загружена. Предусмотрен дополнительный сервис для выделения отдельных параметров и спецификаций команды. Можно получать полное имя файла, из которого была загружена программа, что бывает очень удобно при необходимости, например, инициализации из файла. Он может находиться в той же директории, где и сама программа. При необходимости можно стартовать дочерние программы. Богатый набор функций предусмотрен и при работе с файловой системой. Файл можно удалить, переименовать, прочитать или изменить его атрибуты (время создания, системные флаги), узнать длину. Предусмотрена альтернативная система доступа к файловой информации. Она обеспечивает высокое быстродействие, устойчива к ошибкам штатного

операционного окружения и имеет удобные функциональные возможности. Организация альтернативной системы аналогична работе с файлами системы DOS. Это последовательный доступ с возможностью изменения указателя перед любым чтением/записью. При этом по количеству реально прочитанных/записанных слов, возвращаемых соответствующими программами, легко контролировать наличие конца файла.

Библиотека реализует все системные возможности для работы с директориями. Их можно создавать, удалять, менять текущую директорию, просматривать директорию при поиске файла по обобщённому имени.

Разработан ряд программ для эффективного использования оперативной памяти. Работа с ней ведётся так же, как в альтернативной системе доступа к файлам, рассмотренной выше, то есть последовательно можно читать (или писать) её содержимое, при необходимости меняя текущий указатель. Была использована концепция виртуальной памяти, когда часть данных, не помещающихся в оперативную память, сбрасывалась на диск во временный файл. При этом интерфейс прикладного программиста не зависит от того, где реально размещаются данные, в памяти или на диске (хотя всегда можно это узнать с помощью дополнительных программ, сообщающих значение текущего указателя, количество байтов, находящихся непосредственно в оперативной памяти и т.д.), это отражается лишь на скорости доступа к соответствующей информации.

Создан ряд программ, существенно облегчающих и ускоряющих обработку текстовых строк: перекодировку, сжатие, поиск информации, проведение различных манипуляций со строками.

Библиотека включает полный набор программ для работы с "мышкой" из числа предусмотренных системными драйверами, включая и возможность работы по прерыванию (из Фортрана) при изменении координаты указателя "мышки" или нажатии её клавиш.

В рамках библиотеки PCLIB разработана система для создания и управления диалоговыми оболочками, базирующимися на меню. Меню связаны с многопараметрическими комплексами, поэтому создаются гибкие, но очень сложные конструкции, или простые, но обладающие узким набором функциональных возможностей. Для разрешения этих противоречивых требований большинство параметров меню задаются по умолчанию. При вызове программы построения меню необходимо задать небольшое их число, что позволяет в этом режиме строить сравнительно несложные окна с ограниченным числом возможностей.

При необходимости большого количества возможностей можно использовать вспомогательные, практически независимые (что очень важно при добавлении или изменении тех или иных возможностей) программы, а также изменять значения переменных общих блоков описываемой системы. При таком подходе легко конструируются, хотя в окончательном варианте бывают и весьма сложными, программы построения и управления меню с широким набором выбираемых параметров: положение окна, цвет окна, тип рамки, заголовок меню, количество полей меню, их цвет и содержимое, использование функциональных клавиш, "мышки" и ряд других.

Третья глава посвящена исследованиям и разработке методов построения рабочей станции на базе IBM-совместимых компьютеров<sup>/2/</sup>. Как уже говорилось, изолированность персональных ЭВМ от математического обеспечения, сложившегося в области физики высоких энергий, сильно сдерживала их применение в этой области. Но при адаптации на них проблемно-ориентированных пакетов и библиотек общего пользования возникли большие трудности, для преодоления которых разработана специальная автоматическая процедура подготовки программных текстов, трансляции и компоновки библиотек. Результатом работы процедуры является готовая к использованию библиотека. При этом путём изменения командного файла легко задаётся необходимый режим трансляции каждой из библиотек. Например, библиотеки пакетов HBOOK, HPLLOT и FFREAD потребовали разработки специальной дополнительной процедуры для разрешения противоречия в организации работы этих пакетов с динамической памятью, которая размещалась в общем блоке минимального размера по умолчанию и расширяемая пользователем до необходимой величины, и версии Фортрана, которая не обеспечивала правильной работы в таком режиме.

В рамках этих работ был создан вариант системы управления текстовыми базами данных RATCHU для персональных компьютеров. Были разработаны программы, позволившие создать два интерфейса пользователя, один из которых аналогичен интерфейсу, используемому на CDC, другой - на VAX, а также добавлен ряд других возможностей, облегчающих использование системы на персональных компьютерах. В качестве библиотек общего пользования были поставлены библиотеки KERN и KERNNUM, причём для первой из них был написан набор ассемблерных программ (операции с битами, байтами, доступ к системному времени и т.д.), необходимых для её функциональной завершенности. Были поставлены проблемно-ориентированные пакеты

НBOOK, HPLOT, MINUIT, FFREAD. Таким образом, для физиков, работающих в области высоких энергий, была создана привычная программная среда на персональных ЭВМ.

При постановке графического пакета HPLOT потребовалось написать пакет графических примитивов. Для этого были созданы пакеты TV для интерактивного вывода графической информации на экран дисплея, принтер и плоттер, а также пакет GPLOT, представляющий эту информацию в графическом метафайле. Разработанная структура метафайла обеспечивает минимальный его размер при сохранении высокой точности хранения данных, переносимость с одного компьютера на другой, быстрый доступ к разным частям графических данных. Интерпретатор метафайла для IBM PC позволяет выводить информацию на экран дисплея, принтер и плоттер, растягивать любую прямоугольную часть экрана на весь экран и удовлетворяет широкому спектру современных требований к пользовательскому интерфейсу.

Реализованные таким образом графические возможности персональных ЭВМ в рамках построенной рабочей станции стали базисом при создании распределённой интегрированной системы ИРИС<sup>4,6,7/</sup>, одной из функций которой является, например, генерация метафайла на мощных центральных компьютерах и интерпретация его на персональных ЭВМ<sup>3/</sup>.

В четвёртой главе анализируются два подхода к построению ONLINE программ на базе персональных компьютеров. Оба подхода базируются на концепции параллельных асинхронных процессов, которая использовалась в разработках подобных программ для более мощных компьютеров<sup>10/</sup>. При реализации этой концепции было создано базовое математическое обеспечение, позволяющее на языках высокого уровня Фортран или Си разрабатывать программы, обслуживающие параллельные процессы. Это даёт возможность сравнительно малыми затратами создавать сложное математическое обеспечение экспериментов физики высоких энергий.

Один из подходов анализируется на примере ONLINE программ, использовавшихся в цикле экспериментов по обнаружению эффекта низкотемпературного ядерного синтеза. Вся логическая часть, включая программы, обслуживающие параллельные процессы, была написана на Фортране. Приём данных обслуживали 3 процесса: собственно считывание данных, их преобразование и сжатие, запись на диск. Первый процесс работал с высшим приоритетом при поступлении новых данных и запускался по прерыванию от контроллера КАМАК. Второй процесс не мог быть объединён с первым из-за

увеличения на порядок мёртвого времени приёма данных, а с третьим по причине возможных длительных задержек в его работе и вследствие этого переполнения буферов принятыми данными, объём которых на порядок выше упакованных. Обе эти причины могли привести к потере данных, чем и обосновывается использование трёх относительно независимых процессов в системе сбора данных. Все эти процессы обслуживались основной программой. Четвёртый процесс обслуживался дочерней программой, которая проводила необходимую для оперативного контроля хода эксперимента статистическую обработку данных, представляя результаты в виде гистограмм и таблиц. При этом данные брались непосредственно из записываемого файла, что обеспечивало высокую надёжность контроля эксперимента.

В рамках методических исследований при проектировании мюонной системы эксперимента ATLAS<sup>15/</sup> предложена несколько иная схема. Из программы приёма данных большая часть, связанная с организацией пользовательского интерфейса, реализацией функций контроля и управления экспериментом, была вынесена в отдельную программу управления. Связь между этими программами осуществлялась путём считывания или изменения управляющей программой параметров в глобальной структуре основной. При этом был использован язык Си, рационально дополнивший возможности Фортрана. Таким образом, резидентная программа содержала только собственно программы обслуживания процессов считывания экспериментальных данных и записи их на диск, занимая минимальную оперативную память. Такая организация диспетчеризации асинхронных процессов обеспечила, с одной стороны, высокую реактивность системы сбора данных, с другой - возможность параллельного использования стандартных режимов работы персональной ЭВМ, в том числе, прохождение параллельных процессов подготовки и запуска программ обработки и анализа принимаемых данных, управление экспериментом, передачу данных на другой компьютер для записи на ленту и т.д.<sup>14/</sup>

Применение такого подхода позволило удовлетворить таким, в известной мере противоречивым, условиям, как достижение высокой скорости приёма информации и обеспечение высокой степени загрузки центрального процессора. Так, на компьютере IBM PC 386 25 МГц максимальная скорость приёма достигает 2000 событий в секунду (то есть мёртвое время равно приблизительно 500 мкс) при размере события более 350 байт, что составляет около 700 Кбайт в секунду. Для сравнения можно отметить, что, например, на крупных установках

на Серпуховском ускорителе скорость приёма данных на компьютеры типа ЕС 1040, НР была около 150 Кбайт в секунду.

В пятой главе рассматривается эффективный способ решения задачи определения геометрических параметров плоских однокоординатных детекторов по результатам измерения координат частиц, движущихся по прямолинейным траекториям. Данной задаче посвящено множество работ. Предлагаемая в диссертации методика решения позволяет определить всю совокупность геометрических параметров, отличается простотой реализации, вычислительной устойчивостью<sup>9/</sup>.

Предположим, что задана некоторая декартова система координат XYZ, в которой расположены M детекторов. С каждым детектором связана локальная система координат  $X_k Y_k Z_k$  ( $k=1, 2, \dots, M$ ) такая, что плоскость  $X_k O_k Y_k$  совпадает с регистрирующей плоскостью k-го детектора. Нормаль плоскости  $X_k O_k Y_k$  в системе координат XYZ имеет координаты  $(N_{xk}, N_{yk}, 1)$ , угол между осью регистрируемой координаты и проекцией оси OX на плоскость  $X_k O_k Y_k$  равен  $\alpha_k$ , положение точки  $O_k$  определяется её смещением  $S_k$  относительно точки пересечения оси OZ с плоскостью  $X_k O_k Y_k$  и смещением  $Z_k$  этой точки относительно начала системы XOZ. Таким образом, задача состоит в том, чтобы, используя некоторые начальные приближения описанных параметров (например, результаты геодезических измерений), а также измерения плоскостями координат прямых треков, уточнить значения параметров.

Положение пространственных прямолинейных треков определяется параметрами  $A_i^x, B_i^x, A_i^y, B_i^y$  уравнений прямых - проекций треков на плоскости XOZ и YOZ:  $X_i = A_i^x * Z + B_i^x$  и  $Y_i = A_i^y * Z + B_i^y$ .

Учитывая прямолинейность треков и наличие ошибок измерения, параметры  $Z_k, \alpha_k, S_k, A_i^x, B_i^x, A_i^y, B_i^y$  при  $N_{xk} = N_{yk} = 0$  определяем из условия минимума функционала

$$\sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^M \left[ (A_i^x * Z_k + B_i^x) * \cos(\alpha_k) + (A_i^y * Z_k + B_i^y) * \sin(\alpha_k) + S_k - C_{ki} \right]^2$$

где N - число треков,  $C_{ki}$  - измерение k-ым детектором координат i-го трека.

Для этого используется следующая итерационная процедура. Каждая итерация состоит из двух шагов. На первом шаге методом наименьших квадратов определяются параметры  $A_i^x, B_i^x, A_i^y, B_i^y$ , используя приближения  $Z_k, \alpha_k, S_k$  с предыдущих итераций, а на

первой итерации результаты геодезических измерений. На втором - по полученным оценкам  $A_i^x, B_i^x, A_i^y, B_i^y$  методом наименьших квадратов уточняются значения  $Z_k, \alpha_k, S_k$ . Нелинейная на этом шаге система нормальных уравнений решается, например, методом Ньютона. Показана сходимость данной процедуры. Состоятельность и несмещённость получаемых оценок была доказана численным экспериментом.

Отметим, что при таком подходе матрица нормальных уравнений, получаемых на первом шаге, может быть разбита на клетки размером 4x4 так, чтобы матричные элементы, соответствующие параметрам  $(A_i^x, B_i^x, A_i^y, B_i^y)$  и  $(A_j^x, B_j^x, A_j^y, B_j^y)$ ,  $i, j=1, 2, \dots, N$  составляли одну клетку. Тогда все недиагональные клетки будут представлять собой нулевые матрицы и система нормальных уравнений для нахождения параметров треков распадается на N независимых линейных систем 4-го порядка для определения параметров каждого трека. Аналогично система уравнений для нахождения параметров детекторов распадается на M независимых систем для определения  $Z_k, \alpha_k, S_k$ . Это позволило разработать компактную процедуру минимизации, в которой хранятся только сравнительно небольшие массивы параметров  $Z_k, \alpha_k, S_k$  и сумм, входящих как коэффициенты в нормальные уравнения для определения  $Z_k, \alpha_k, S_k$ . Её вычислительная устойчивость была достигнута за счёт того, что искались не сами значения параметров, а их поправки к предыдущим приближениям.

На первых этапах анализа экспериментальных данных обычно наиболее актуальным является определение параметров  $S_k$  при заданных значениях остальных параметров детектора. Были подробно проанализированы свойства предложенного метода для этого случая. Выведена точная формула преобразования вектора  $[S] = [S_1, S_2, \dots, S_M]^T$  после одной итерации:

$$[S] - \frac{1}{N} [C] * [1] = [G] * ([S^0] - \frac{1}{N} [C] * [1])$$

где N - количество треков, [1] есть вектор  $[1, 1, 1, \dots, 1]^T$  размерности N,  $[C] = [C_{ki}]$  - матрица всех измерений всех плоскостей,  $[S^0]$  - начальное приближение вектора [S]. Проанализированы свойства матрицы преобразования [G] и, исходя из них, доказана сходимость предложенного метода за одну итерацию для этого случая, доказана его устойчивость, вытекающая из наличия только нулевых и единичных собственных значений матрицы [G], дана геометрическая интерпретация решения, заключающаяся в том, что средние значения измерений, зарегистрированных каждым детектором, вектор которых

определяется выражением  $\frac{1}{N}$  [С]\*[1], после корректировки значениями  $S_k$  принадлежат одной пространственной прямой.

Предложен простой метод для нахождения параметров  $N_{\text{хк}}$  и  $N_{\text{ук}}$ , заключающийся в разбиении каждого детектора на области, для которых независимо находятся значения  $Z_k$ . По ним затем могут быть оценены искомые параметры. При увеличении числа областей можно не только улучшить точность оценок параметров  $N_{\text{хк}}$  и  $N_{\text{ук}}$ , но и оценить при необходимости отклонение рабочей поверхности от плоской формы.

#### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Разработаны принципы построения и функциональные алгоритмы, на основе которых создано программное обеспечение автоматизированной системы стендовых испытаний, тренировки и контроля координатных детекторов установки ДЕЛФИ. Предложенные и использованные концепции позволили удовлетворить требованиям серийного производства, обеспечив высокое качество детекторов. Созданные с помощью этой системы стримерные трубки (более 20 тыс. штук) успешно используются в течение нескольких лет в эксперименте на ускорителе ЛЭП в ЦЕРНе.

2. Впервые для персональных компьютеров были созданы варианты проблемно-ориентированных пакетов и адаптированы библиотеки общего пользования, применявшиеся ранее только на больших ЭВМ. Это дало возможность решить на персональных компьютерах широкий класс задач области физики высоких энергий и открыло богатые возможности совместного использования больших и персональных ЭВМ в режиме разделения выполняемых функций. На базе IBM-совместимых персональных ЭВМ под управлением MS DOS построена рабочая станция для разработки и применения программного обеспечения экспериментов физики высоких энергий.

3. Разработаны принципы построения и на их основе создана базовая библиотека для взаимодействия Фортрановских программ с аппаратным и системным обеспечением персональных ЭВМ типа IBM PC под управлением системы MS DOS. Библиотека позволяет использовать практически все возможности ПЭВМ данного типа, работая только на языке высокого уровня. Это даёт возможность прикладным программистам создавать программные продукты, удовлетворяющие современным требованиям: хороший интерфейс пользователя, максимальная производительность, многофункциональные возможности, высокое качество представления данных и т.д.

4. Разработаны и реализованы принципы построения ONLINE программ, создаваемых на языках высокого уровня, обслуживающих несколько параллельных асинхронных процессов на персональных ЭВМ типа IBM PC под управлением системы MS DOS. Это позволило перенести на персональные компьютеры богатый опыт использования в ONLINE экспериментах больших компьютеров и максимально использовать новые возможности самой ПЭВМ. На базе предложенных принципов был создан комплекс программ реального времени, обеспечивающий максимальную скорость сбора данных и надёжный контроль эксперимента. Правильность выбранных концепций и их эффективность были подтверждены в цикле экспериментов поиска явления низкотемпературного ядерного синтеза в ОИЯИ и в методических исследованиях при проектировании мюонной системы нового эксперимента ATLAS на строящемся ускорителе ЛНС в ЦЕРНе.

5. Разработаны алгоритмы и построена общая схема решения полной задачи определения геометрических параметров плоских детекторов, сочетающие простоту реализации, адаптивность, экономичность и вычислительную устойчивость. Предложен легко реализуемый метод определения углов наклона плоскости детектора к оси пучка.

Применение результатов исследований и разработок, представленных в диссертации, позволили получить ряд важных физических и методических результатов.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах:

1. G.D.Alexeev, ..., Yu.V.Sedykh, R.Toledo. High Voltage Tests and Training of Plastic Streamer Tubes for the DELPHI Hadron Calorimeter. JINR, E13-87-399, Dubna, 1987.
2. И. М. Иванченко, Ю. В. Седых. Рабочая станция на базе ПЭВМ для разработки программного обеспечения экспериментов в области физики высоких энергий. ОИЯИ, P10-87-898, 1987. Программирование, 1988, №4, с.102-105.
3. И. М. Иванченко, ..., Ю. В. Седых, С. А. Щелев. Распределённая графическая система на базе вычислительного комплекса центральная-персональная ЭВМ. ОИЯИ, P10-88-913, Дубна, 1988.
4. В. Е. Аниховский, ..., Ю. В. Седых и др. Град ЕС- система машинной графики на ЕС 1061. ОИЯИ, P10-88-2, Дубна, 1988.
5. П. А. Кулинич, Ю. В. Седых, Н. В. Сергеева. Интерфейс КАМАК персонального компьютера "Правец-16". ОИЯИ, P10-87-876, Дубна, 1987.



6. А. Ю. Бонюшкина, . . . , Ю. В. Седых. Графическая система ИРИС. Интегрированный комплекс проблемно- ориентированных пакетов программ интерактивной иллюстративной графики. ОИЯИ, Б1-10-88-889, Дубна, 1988.
7. А. Ю. Бонюшкина, . . . , Ю. В. Седых. Графическая система ИРИС. Программные средства распределённой графики с применением персональной ЭВМ. ОИЯИ, Б1-10-88-890, Дубна, 1988.
8. Г. Д. Алексеев, . . . , Ю. В. Седых и др. Автоматизация стендов тренировки и испытания стримерных трубок для адронного калориметра установки ДЕЛФИ. ОИЯИ, Р13-90-276, Дубна, 1990.
9. Н. Н. Говорун, . . . , Ю. В. Седых. Комплекс программ реального времени установки БИС-2 на линии с распределённой системой ЭВМ. ОИЯИ, Б1-10-86-118, Дубна, 1986.
10. И. И. Евсиков, . . . , Ю. В. Седых. Математическое обеспечение неоднородной распределённой вычислительной системы для экспериментов в области физики высоких энергий. Материалы IV Всесоюзного семинара по автоматизации научных исследований в ядерной физике и смежных областях. Протвино, 1986, с. 74-75.
11. P.Aarnio, . . . , Yu.Sedykh et al. The DELPHI Detector at LEP. Geneva, 1990, 54p. (CERN EF 90-5).
12. A.Augustinus, . . . , Yu.Sedykh et al. The DELPHI Detector (Detector with Lepton Photon and Hadron Identification). Experiments at CERN in 1991, Geneva, CERN. 1991, p.261-266.
13. G.D.Alekseev, . . . , Yu.Sedykh et al. The Results of Mass Testing of the Plastic Streamer Tubes for the DELPHI Hadron Calorimeter. Nucl.Instr. Meth.Phys.Res.A. 1991, v.305, №2, p.344-353.
14. G.D.Alekseev, . . . , Yu.V.Sedykh, V.V.Tokmenin. The Preliminary Study of Pressurized Drift Tubes as a Detector for Precision Muon Tracking. JINR RAPID COMMUNICATIONS No.5[56]-92, p.45-50, Dubna, 1992.
15. G.Alexandrov, . . . , Yu.Sedykh et al. ATLAS Letter of Intent for a General Purpose pp Experiment at the Large Hadron Collider at CERN. CERN/LHCC/92-4 (LHCC/I 2), Geneva, 1992.

Рукопись поступила в издательский отдел  
18 января 1993 года.