



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

96-100
На правах рукописи

Липаев Владимир Васильевич

**ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
МНОГОМАШИННОГО КОМПЛЕКСА
НЕЙТРИННОГО ДЕТЕКТОРА ИФВЭ-ОИЯИ
И СИСТЕМЫ СБОРА ДАННЫХ С ДРЕЙФОВЫХ КАМЕР ИФВЭ**

05.13.11 – математическое и программное обеспечение вычислительных машин,
комплексов, сетей и систем

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Протвино 1996

Работа выполнена в Институте физики высоких энергий (г.Протвино).

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук В.Н. Горячев.

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук А.С. Рошаль,
доктор физико-математических наук А.А. Деревщиков.

Ведущая организация – Лаборатория вычислительной техники и автоматизации
Объединенного института ядерных исследований (г.Дубна).

Защита диссертации состоится “_____” _____ 1997 г. в
_____ часов на заседании диссертационного Совета 05.13.11 при ИФВЭ по
адресу: 142284, г. Протвино Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИФВЭ.

Автореферат разослан “_____” _____ 1996 г.

Ученый секретарь
диссертационного Совета 05.13.11

В.Н. Ларин

© Государственный научный центр
Российской Федерации
Институт физики высоких энергий, 1996

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Практически на всех современных установках для исследований в области физики высоких энергий на ускорителях заряженных частиц применяется электронный съем информации. Это явилось следствием того, что развитие электроники, вычислительной техники и детекторов элементарных частиц позволило перейти от регистрации единичных физических событий к многомиллионной статистике. Одновременно с этим повысились требования к *on-line* программному обеспечению (ПО), которое кроме конечной задачи — обеспечение сохранения физических данных для последующей обработки в режиме *off-line*, должно решать все вопросы, связанные с управлением и контролем работы электроники регистрации данных (ЭРД) и детекторов. Причем данное ПО должно быть исключительно надежным, так как искажение или частичная потеря данных вследствие, например, ошибок в программах, вовремя не обнаруженный выход из строя или изменения в функционировании электроники и элементов детекторов могут привести, в лучшем случае, к потере части статистики, а в худшем — к провалу эксперимента, не говоря уже о стоимостном выражении таких ошибок.

В нейтринном детекторе ИФВЭ-ОИЯИ (НД), предназначенном для изучения нейтрино и антинейтрино с энергиями 2-30 ГэВ в пучках широкого спектра на ускорительно-накопительном комплексе У-70 ИФВЭ, используются высокоточные трековые и калориметрические детекторы с прецизионной многоканальной электроникой. Многомашинный комплекс, обеспечивающий сбор данных, контроль и управление работой электроники потребовал создания уникального многофункционального программного обеспечения, работающего в режиме реального времени, призванного обеспечить бесперебойную работу установки по набору статистики в течение длительного периода.

Цель диссертационной работы состояла в разработке и создании программного обеспечения для системы сбора данных в режиме реального времени с нейтринного детектора ИФВЭ-ОИЯИ и подготовке данных для системы *off-line* анализа GRAND.

Результаты, выносимые на защиту:

1. Разработанная и реализованная организация, структура и синхронизация многозадачного программного комплекса системы сбора данных, тестирования и контроля для дрейфовых камер ИФВЭ.
2. Созданный управляющий программный комплекс для приема, распределения и хранения данных со всех локальных систем сбора данных нейтринного детектора.
3. Созданные алгоритмы для быстрого восстановления отрезков треков, проходящих через дрейфовые камеры и запаковки информации.
4. Созданные языковые многоцелевые средства анализа символьной информации.
5. Результаты работ по созданию программы предварительной обработки записанных в режиме *on-line* данных и подготовке входной информации для системы *off-line* анализа GRAND.

Научная новизна работы состоит в разработке алгоритмов и создании программ для контроля и тестирования регистрирующей электроники и дрейфовых камер ИФВЭ, а также в обеспечении сбора данных с них в режиме реального времени; разработке нового языка анализа символьной информации и программных средств поддержки интерактивного режима; в создании управляющего программного комплекса системы сбора данных со всей установки “Нейтринный детектор ИФВЭ-ОИЯИ”; разработке и реализации наиболее быстрого из существующих алгоритмов восстановления отрезков треков частиц в дрейфовых камерах; создании программы для предварительного анализа данных в режиме *off-line* и подготовке структур данных для анализа в системе GRAND.

Практическая ценность. На основе разработок, представленных в диссертации, создано программное обеспечение для системы сбора данных с больших дрейфовых камер ИФВЭ, позволившее осуществить комплексную наладку всей системы ДК. Кроме того, с высокой надежностью был организован сбор данных со всей установки “Нейтринный детектор ИФВЭ-ОИЯИ” как в режиме набора статистики, так и во время калибровки на космических мюонах. Развитая система контроля обеспечила возможность быстрого обнаружения отклонений в работе электроники и отдельных подсистем и тем самым увеличила эффективность использования У-70.

Аппробация диссертации и публикации. Диссертация написана на основании работ, выполненных в отделе нейтринной физики ИФВЭ при разработке и создании программного обеспечения системы сбора данных установки “Нейтринный детектор ИФВЭ-ОИЯИ”. Работы, составляющие основное содержание диссертации [1-5], опубликованы в виде препринтов ИФВЭ, в материалах рабочих совещаний по Нейтринному детектору ИФВЭ-ОИЯИ, а также докладывались на международных рабочих совещаниях по НД (Дубна 1984, 1986 гг., Цойтен 1989 г.).

Объем и структура диссертации. Работа изложена на 79 страницах, состоит из введения, пяти глав, заключения, содержит 25 рисунков и список цитируемой литературы из 52 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе кратко описаны конструкция нейтринного детектора ИФВЭ-ОИЯИ, организация электроники и систем сбора данных для однотипных детекторов. Рассмотрены режимы работы установки и структура *on-line* программного обеспечения.

Схема установки “Нейтринный детектор ИФВЭ-ОИЯИ” приведена на рис. 1. НД состоит из мишенной части (МЧ), мюонного спектрометра (МС) и детектора электронов и γ -квантов (ДЭ). МЧ представляет собой мишень-калориметр, окруженную магнитной оболочкой и имеет модульную структуру. Каждый из 39 модулей включает: плоскость из 10 горизонтально расположенных жидкостных сцинтилляционных счетчиков (ЖСС); две плоскости (X, Y), состоящие из дрейфовых камер (ДК) ОИЯИ (модули 1 ÷ 19) или ИФВЭ (модули 20 ÷ 39); магнитную раму с внутренним окном, где располагаются пластины алюминия, позволяющие увеличить вес мишени со 120 до 200 т. МС состоит из намагниченных торроидов с расположенными между ними плоскостями дрейфовых камер ОИЯИ и предназначен для измерения импульса и знака заряда мюонов. Для идентификации и измерения электромагнитных ливней, выходящих из МЧ, используется ДЭ, который представляет собой ливневый детектор полного поглощения.

В зависимости от режима работы запуск электроники регистрации данных (ЭРД) производится либо от срабатывания банчевых счетчиков непосредственно перед МЧ (набор статистики в нейтринном пучке), либо при одновременном срабатывании заданной конфигурации плоскостей ЖСС (калибровка на космических мюонах).

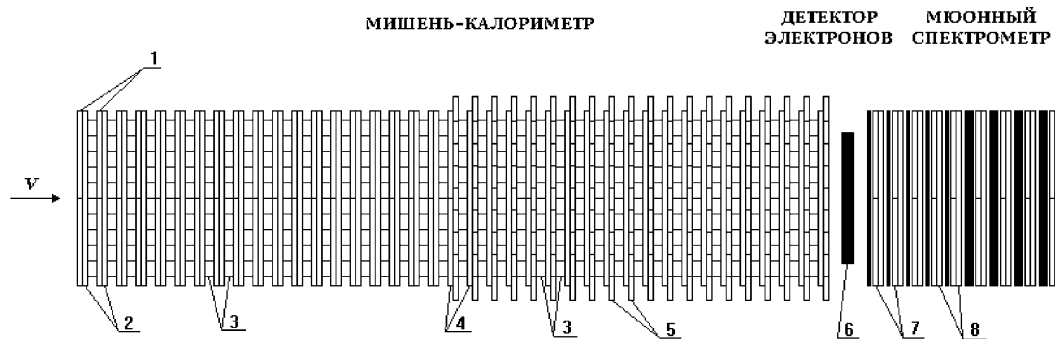


Рис. 1. Схема установки “Нейтринный детектор ИФВЭ-ОИЯИ”. 1, 2 — дрейфовые камеры ОИЯИ для измерения X, Y -координат треков в мишенной части; 3 — жидкостно-сцинтилляционные счетчики; 4, 5 — дрейфовые камеры ИФВЭ для измерения X, Y -координат треков в мишенной части; 6 — детектор электронов и γ -квантов; 7, 8 — дрейфовые камеры ОИЯИ для измерения X, Y -координат треков в мюонном спектрометре.

Вся система сбора данных разбита на четыре локальные (ЛССД) по отношению ко всему НД подсистемы, обслуживающие однотипные детекторы, а именно:

- дрейфовые камеры ИФВЭ;
- жидкостные сцинтилляционные счетчики;
- дрейфовые камеры ОИЯИ, расположенные в мишенной части и мюонном спектрометре;
- детектор электронов и γ -квантов.

В состав каждой ЛССД входит одна или несколько ЭВМ в конфигурации с набором периферийных устройств, позволяющих осуществлять автономную отладку и проводить методические исследования электроники сбора данных и детектирующих элементов. В качестве базовых ЭВМ используются мини-ЭВМ СМ-4, СМ-1420 и IBM PC-486. Кроме этого, в вычислительный комплекс была включена выделенная ПЭВМ, позволившая значительно расширить возможности по предварительной обработке и анализу данных со всего НД в режиме *on-line*. Центральной ЭВМ (ЦЭВМ) в общей ССД является ЭВМ СМ-4, выполняющая одновременно функции ЛССД с ДК ИФВЭ. Все остальные соединены с ней через интерфейсные платы СПИ-15 с реальной скоростью передачи данных 14 Кбайт/с. Связь с ПЭВМ осуществляется через параллельный интерфейс РПР СМ-РС.

Кроме данных с НД, в ССД поступает информация о характеристиках протонного пучка во время его проводки по тракту 8-го канала до мишени, информация о результатах мониторинга, а также некоторые параметры, характеризующие работу всего ускорительно-накопительного комплекса У-70. Параллельно с передаваемыми данными часть этой информации выводится на TV-мониторы для визуального контроля. На рис. 2 представлена общая схема многомашинного комплекса обслуживания НД.

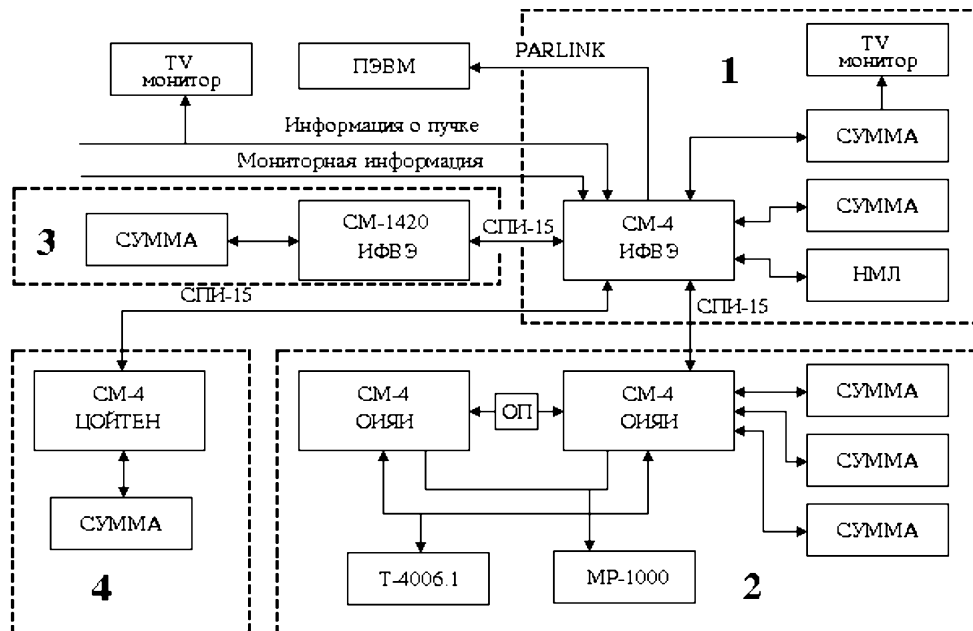


Рис. 2. Блок-схема аппаратных средств многомашинного комплекса системы сбора данных нейтринного детектора ИФВЭ-ОИЯИ. 1 — ЛССД с ЖСС; 2 — ЛССД с ДК ИФВЭ; 3 — ЛССД с ДК ОИЯИ; 4 — ЛССД с ДЭ.

Структурно программное обеспечение системы сбора данных состоит из 6 основных компонентов (рис. 3) — это четыре ЛССД, управляющий программный комплекс и ПО ПЭВМ. Все ЛССД, с точки зрения сбора данных, являются программно-независимыми и обеспечивают весь набор операций, связанных с предпусковой наладкой, а в режиме *on-line* — подготовку данных, которые необходимы для последующей обработки и анализа физической информации в режиме *off-line*.

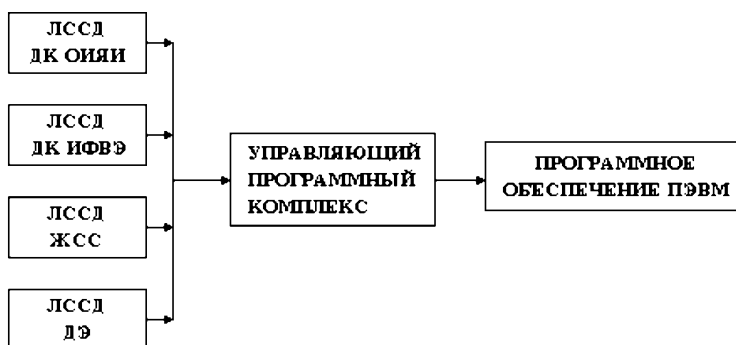


Рис. 3. Структурные компоненты программного обеспечения системы сбора данных.

Во второй главе описан управляющий программный комплекс, функционирующий в ЦЭВМ и обеспечивающий сбор всех необходимых данных с НД, а также пучковой и мониторной информации для записи на устройства долговременного хранения с целью дальнейшей обработки в режиме *off-line* [5]. Кроме этого, здесь же решаются задачи по ведению банка данных о накопленной статистике, параметрическому контролю элементов электроники регистрации данных, поддержке протокола с выделенной ПЭВМ.

Создание программной надстройки над всеми ЛССД вызвано необходимостью записи всех считываемых с регистрирующей электроники данных на один носитель и контроля работы установки как единого целого (в первую очередь, это визуальное отображение данных, которое подразумевает наличие информации со всех детектирующих элементов). Кроме того, для последующего анализа необходима информация, поступающая от систем мониторинга и управления протонным пучком. Это фактически самостоятельные подсистемы, и включать их в одну из ЛССД нецелесообразно. На рис. 4 представлена блок-схема базовых задач, входящих в управляющий программный комплекс, который функционирует в ЦЭВМ.

Синхронизация работы всего ПО ССД с НД для сбора данных в ЦЭВМ при наборе статистики осуществляется задачами DISP и RAB. Потребность в такой синхронизации вызвана наличием нескольких ЭВМ в аппаратной конфигурации общей ССД и асинхронным режимом работы каждой ЛССД. Хотя запуск электроники сбора данных в каждой из них синхронизован с началом сброса протонного пучка на мишень канала, дальнейшее функционирование ведется по своей схеме, и нужно обеспечить своевременное поступление данных в ЦЭВМ. Для этого необходима поддержка протокола обмена данными по межмашинным линиям связи. Чтобы исключить возможность смещения данных, относящихся к разным сбросам

вследствие задержки в какой-либо ЛССД, как в ЦЭВМ, так и со стороны ЭВМ, участвующих в передаче данных, используется программная установка "Time-Out". Кроме того, разрешение на прием информации или выполнение каких-либо других функций в некоторых случаях привязано ко времени начала сброса, т.е. необходимо контролировать временные интервалы между посылками команд или запуском задач.

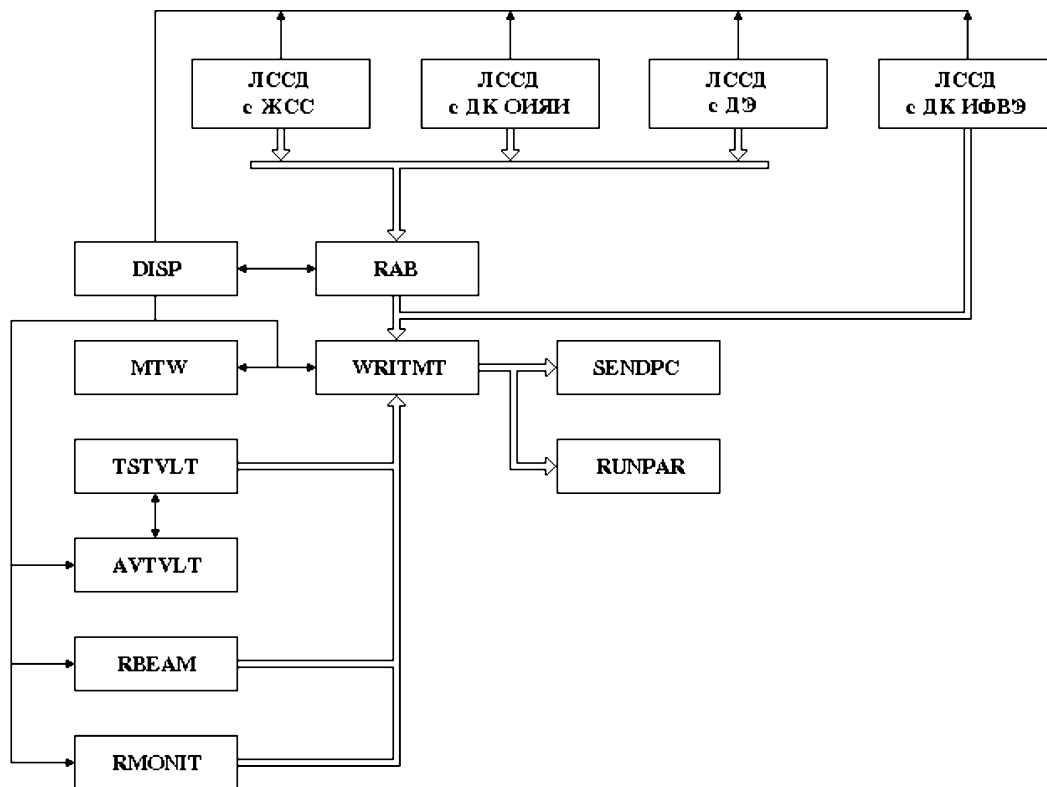


Рис. 4. Блок-схема основных задач, входящих в ПО управляющего программного комплекса.

Для хранения считываемых данных, в ССД с НД используются магнитные ленты (МЛ), информация на которые пишется записями стандартной длины по 2К слов через программный буфер по мере его заполнения. ПО сохранения всех необходимых данных на МЛ состоит из двух задач: резидентной WRITMT, обеспечивающей непосредственный прием потока данных с НД и работу с МЛ; выгружаемой MTW, являющейся интерфейсом между пользователем и задачей WRITMT, которая выполняет часть общих функций по работе с МЛ — в основном с корректировкой специальной структуры данных. Основное назначение последней — распределение потоков данных, посылаемых задаче WRITMT, по разным НМЛ, а также для предоставления возможности оперативно запретить или разрешить сохранение на МЛ тех или иных данных (в том числе вновь создаваемых по мере развития ПО).

Список возможных процедур, связанных с записью данных на МЛ, сведен в меню, которое предоставляется пользователю при загрузке задачи. Программная реализация этих процедур позволяет :

- подсоединять для записи данных несколько НМЛ (до четырех);
- отсоединять НМЛ (после окончания МЛ отсоединение производится автоматически);
- для каждого НМЛ задавать и корректировать список резервных НМЛ, на которые будет продолжена запись данных после окончания МЛ на основном НМЛ;
- управлять распределением потоков данных по разным НМЛ;
- приостанавливать и возобновлять запись определенных или всех данных на все или заданные НМЛ;
- начинать и заканчивать RUN, а также продолжать предыдущий RUN после выхода из строя центральной ЭВМ и перезагрузки ПО поддержки работы с МЛ;
- выводить и корректировать управляющую информацию.

Одной из задач ССД является контроль параметров электроники регистрации данных, причем чем глубже и разностороннее этот контроль и чем больше элементов электроники ею охвачено, тем быстрее возможна реакция на возникновение неисправностей и, следовательно, их устранение. В ССД НД для этих целей используется 64-канальный контроллер системы измерения напряжений КСИ-3, выполненный в стандарте СУММА в блоке тройной ширины. Контроллер расположен в одном из каркасов ЭРД, и работа с ним осуществляется как во время настройки аппаратуры, так и в промежутках между съемом данных.

Автоматический контроль основан на сравнении прочитанных из блока КСИ-3 значений V_i , где i — номер канала, с предварительно определенными эталонными величинами $V_i^c \pm \Delta_i$ (здесь V_i^c — среднее значение, а Δ_i — допустимое отклонение от среднего значения измеренной величины). Так как может быть задействована часть из 64 каналов, сравнение проводится только для специально помеченных (контролируемых) каналов. ПО включает задачи WRKVLT и AVTVLT.

Для обработки данных в режиме *off-line* необходимо иметь информацию об условиях проводки и параметрах протонного пучка от системы вывода У-70 до мишенной части, а также нейтринного потока в зоне НД. Эта информация передается с программно-аппаратных комплексов управления пучком и системы мониторинга через блоки ТР-24 и считывается задачами RBEAM и RMONIT. Она используется сменным персоналом для текущего контроля системы вывода пучка.

К параметрам, характеризующим работу подсистем НД, а также ПО ССД, относятся показатели их эффективности по отношению к наличию нейтринного пучка в канале, которые копируются во время набора статистики с последующим сохранением для каждого RUN. Организацию получения, хранения и просмотра параметров всей накопленной на НД статистики осуществляет задача RUNPAR.

Все операции по передаче данных в ПЭВМ выполняются задачей SDPC. Она также обеспечивает временную синхронизацию между ПО в ЦЭВМ и в ПЭВМ и поддержку протокола межмашинной связи.

В третьей главе описаны организация и программное обеспечение системы сбора данных для дрейфовых камер ИФВЭ [3,4].

Для определения координат треков заряженных частиц в мишенной части НД используется система из 358 дрейфовых камер ИФВЭ. Каждая камера имеет размеры $0,5 \times 4 \text{ м}^2$ с дрейфовым промежутком 250 мм и четырьмя сигнальными проволоками, попеременно смещенными относительно центра камеры на 0,75 мм. Смещение позволяет разрешать лево-правую неоднозначность прохождения частицы через камеру и определять для нее угол проекции трека. В НД камеры объединены в 20 модулей, каждый из которых состоит из двух взаимно-ортогональных плоскостей по 9 камер. Таким образом, имеется по 20 плоскостей для определения координат X - и Y -проекций треков, а также их углов.

Все сигналы с проволок дрейфовой камеры поступают на входы 4-канального усилителя-формирователя (УФ), а затем через систему коммутации — на один из 24 входов модуля время-цифрового преобразователя (ВЦП) Р-94, где происходят запоминание времени прихода сигнала в реальном масштабе времени и регистрация номера канала, по которому пришел сигнал. Все это заносится во внутреннюю память ВЦП на 64 сигнала. Всего в состав ЭРД входит 64 ВЦП, имеющих одиночную ширину стандарта СУММА и размещенных в 4 каркасах.

Наибольшая загрузка камер в НД происходит в области развития адронных каскадов. При этом с каждой проволоки этих камер может поступать до нескольких десятков сигналов, хотя средняя множественность регистрации сигналов с проволоки в одном ВЦП составляет всего 2,7. Система коммутации обеспечивает приход на каждый ВЦП сигналов с камер, расположенных в разных частях НД. Это позволяет избежать переполнения внутренних памяти ВЦП и, следовательно, потери информации. Кроме того, сигналы с разных проволок каждой ДК поступают на входы разных ВЦП. В этом случае при выходе из строя одного из них траектория частицы в этой камере все же будет восстановлена при последующей обработке.

Для восстановления отрезков прямых треков (стрингов) в ДК используется алгоритм [1], который основан на том, что для 3 временных отсчетов (или просто отсчетов), лежащих на одной прямой, должно выполняться (без учета ошибок измерений) соотношение

$$T_k = \frac{T_j \cdot (Y_{k-i}) + T_i \cdot (Y_j - Y_k)}{Y_j - Y_i}, \quad (1)$$

где T_i , T_j , T_k — отсчеты с проволок i , j , k ($i \neq j \neq k$), а Y_i, Y_j, Y_k — координаты соответствующих проволок. На первом этапе рассматриваются все возможные комбинации для отсчетов с 1 и 3 проволок, для каждой пары которых подбираются удовлетворяющие условию (1) отсчеты со 2 и/или 4 проволок (с учетом коридора ошибок). Затем пары меняются местами. Найденные комбинации из трех и четырех отсчетов считаются стрингами, причем комбинации из четырех отсчетов из дальнейшего рассмотрения исключаются. Алгоритм перебора построен так, что если N_i — число отсчетов с проволоки i , то полное число вариантов будет равно $N_1 \cdot N_3 \cdot (N_2 + N_4) + N_2 \cdot N_4 \cdot (N_1 + N_3)$.

Одной из задач при работе с данными, считываемых с ЭРД, является представление их в виде, удобном для дальнейшего использования непосредственно в ПО ССД и преобразование в наиболее компактный формат при записи на МЛ. Следствием этого является значительное уменьшение времени доступа к требуемым данным, сокращение объема ПО, более полное (с точки зрения информативности) использование пространства внешнего носителя. Для данных с ДК ИФВЭ, где каждому временному отсчету соответствует одно слово с идентификационным кодом, была разработана структура [2], в которой данные вместо $2 \cdot N_t$ занимают $N_t + (N_{plx} + N_{ply} + N_{wpl} \cdot 9 + N_{wch} \cdot 4 + 15)/15$ слов, где N_t — общее число временных отсчетов; T_{plx}, T_{ply} — число координатных плоскостей X и Y ; N_{wpl} — число плоскостей, в которых сработала хотя бы одна камера; N_{wch} — число камер, где есть, как минимум, одна сработавшая проволока.

На рис. 5 показана блок-схема основных задач ССД с ДК ИФВЭ, обеспечивающих настройку и проверку системы дрейфовых камер и регистрирующей электроники, а также считывание реальных физических данных.

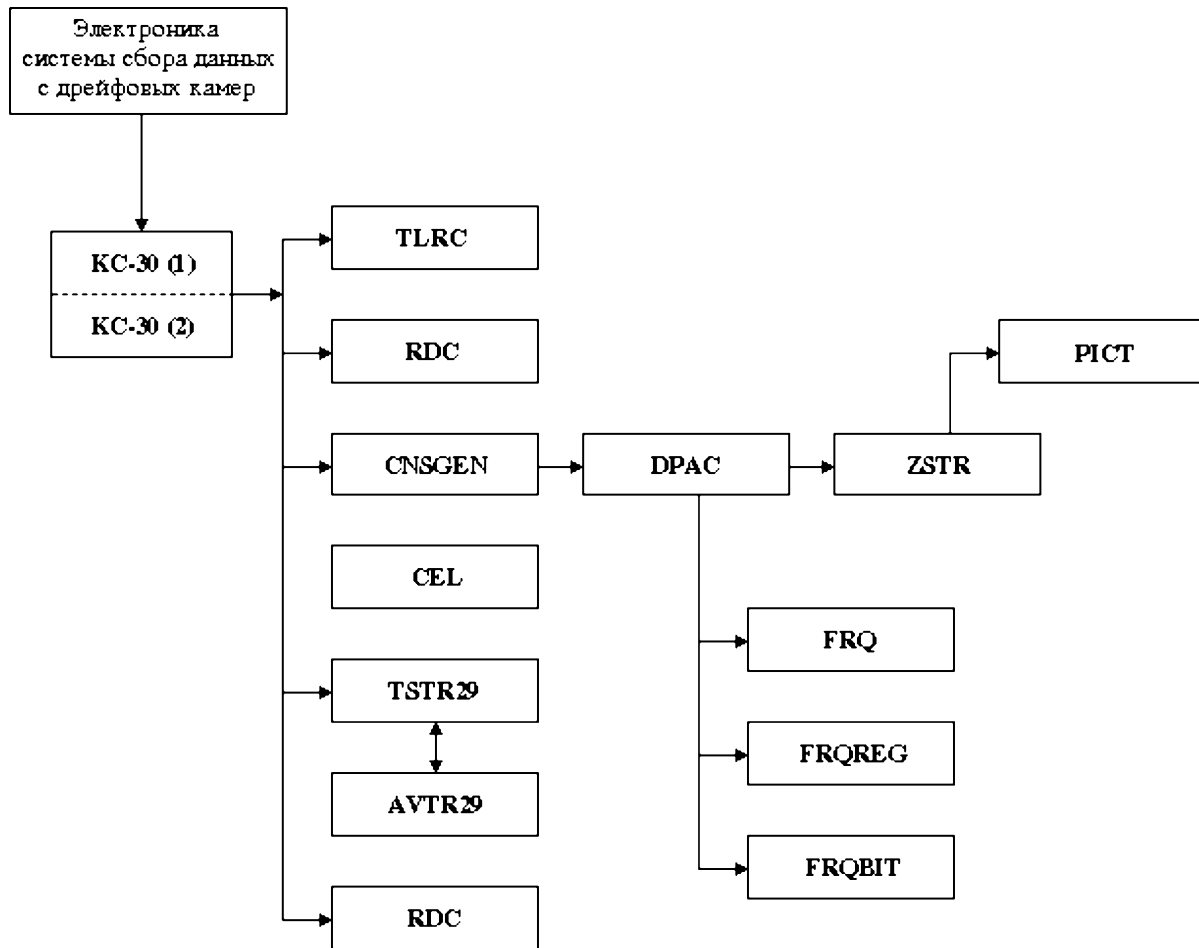


Рис. 5. Блок-схема задач, входящих в ПО ССД с ДК ИФВЭ.

Основной программой, позволяющей отображать на терминале без предварительной обработки данные, непосредственно считываемые с электроники, является задача TLRC. Работа с ней осуществляется в интерактивном режиме посредством набора команд, обеспечивающих возможность единичного или группового выбора части электроники (каркас, ВЦП, вход), либо системы ДК (плоскость, ДК, проволока) для вывода в указанной моде считанной только с них информации с выделением битовых полей и при необходимости анализа с целью выявления ошибок. Обычно данная задача используется при подаче на входы УФ набора тестовых сигналов от генератора, когда известен шаг между временными отсчетами.

Большинство тестовых задач сами не обращаются к электронике, а получают необходимые входные данные от других задач, а именно, RDC, DPAC и ZSTR. Как показано на рис. 6, только RDC имеет доступ к ЭРД, остальные же используют полученные ею данные с ДК. Вспомогательные задачи DPAC и ZSTR служат для формирования структур, содержащих временные отсчеты и строки в виде, обеспечивающем быстрый доступ к этим данным через набор библиотечных подпрограмм. Посредством этих подпрограмм также осуществляется отображение в область локальных адресов необходимых REGION, где хранятся требуемые данные.

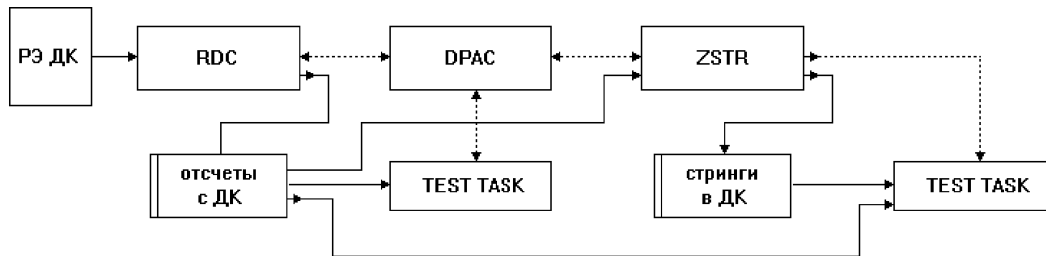


Рис. 6. Схема подключения тестовых задач к цепочке программ RDC, DPAC, ZSTR (пунктирными линиями показаны пути межзадачных синхронизаций).

Для быстрого определения работоспособности проволок системы ДК и связанных с ними каналов ВПЦ используется программа FRQ. Она может быть запущена как в тестовом режиме, так и во время сбора физических данных. Принцип ее работы основан на накоплении N_i — числа полученных отсчетов с каждой проволоки i , при общем числе триггеров N_{trig} и последующем выводе в графическом представлении отношений N_i/N_{trig} . При работе данной программы в процессе набора статистики ее результаты дают представление о распределении загрузки ДК по всему объему мишенной части. Если же на входы УФ подавать сигналы с тестового генератора, то при нормальном функционировании всей ССД для каждой проволоки отношение N_i/N_{trig} должно быть равно 1. Аналогичный метод и представление результатов используются для определения эффективности работы регистров (задача FRQREG) и отдельных бит буферной памяти регистров в словах, содержащих временные отсчеты (задача FRQBIT).

Для контроля линии связи ЭВМ с ЭРД ДК ИФВЭ используются блоки P-29, расположенные в каждом каркасе и в память которых может быть записан, а затем считан из нее любой 16-разрядный двоичный код. Программное обеспечение проверки линии связи включает задачи TSTR29 и AVTR29, которые позволяют

осуществлять в интерактивном или автоматическом режимах запуск любого из трех режимов формирования тестирующей последовательности кодов (с выводом результатов на терминал), а именно: “бегущий 0” или “бегущая 1”; всех возможных комбинаций из “0” и “1” в 16-разрядах; определенного значения.

Несмотря на то, что в системе коммутации предусматривалось, чтобы длина кабельной трассы от каждого УФ до входа в ВЦП была одинакова, время прохождения сигналов по СК для разных проволок различно. Это может оказать влияние на результаты обработки, особенно при восстановлении отрезков треков в отдельной камере, когда вносимое временное смещение отсчетов от реальных значений существенно отличается для разных проволок. Для определения ΔT_i^j , ($i = 2, 3, 4; j = 1, 357$) — смещений для 3 проволок относительно первой в j -ой камере, и ΔS^i — смещения для первых проволок всей системы ДК относительно какой-либо выбранной камеры, используется задача CNSGEN.

Одним из наиболее действенных методов контроля работы любой экспериментальной установки с достаточно простой топологией регистрируемых физических процессов и небольшой фоновой загрузкой является графическое отображение информации в детектирующих элементах. Особенно это относится к трековым детекторам (для НД таковыми и являются дрейфовые камеры), где, как правило, требуется хорошее координатное разрешение. Это позволяет визуально заметить систематические отклонения от ожидаемой картинки, что обычно является следствием нарушений в работе электроники или самих детекторов.

В четвертой главе представлено описание средств, предназначенных для организации интерактивной работы и ввода/вывода.

Одним из режимов интерактивной работы в ССД с НД является командный, когда пользователь осуществляет управление работой программ с помощью команд, вводимых с терминала. Чтобы упростить процесс создания программных продуктов, ориентированных на такой режим работы, было создано и реализовано специальное ПО, включающее в себя следующие компоненты (рис. 7):

- язык LADI для описания любых символьных структур (подмножеством которых являются команды);
- транслятор текста на языке LADI в исполнительные коды интерпретатора;
- программный интерпретатор кодов;
- подпрограммы, обеспечивающие взаимодействие ПО пользователя с интерпретатором.

В основе разработки данного языка было заложено предположение, что все входные конструкции (команды) предварительно определены и состоят из мнемонической части и, возможно, набора параметров (как числовых, так и текстовых). Причем число параметров может варьироваться. На интерпретатор возлагаются только функции анализа текста и выделение параметров, а все вычислительные процедуры и работа с данными производится самим пользователем. Это определило набор операторов, с помощью которых можно достаточно быстро и просто описать любые эталонные структуры, которые затем ищутся в вводимом тексте.



Рис. 7. Блок-схема компонентов ПО анализа символьной информации.

Язык LADI (Language Directives) является средством описания множества эталонных конструкций. Для выполнения пользователем процедур, определяемых вводимым текстом, в языке заложена возможность разбиения их на группы (правила), каждой из которых приписывается числовое значение (номер правила). С группой ассоциируются параметры, выделенные во входном тексте между двумя правилами, и пользователь сам определяет, когда выполнять эти процедуры — либо после обработки всего текста, либо в процессе его анализа интерпретатором. Основными компонентами LADI являются операторы, скобки и метки.

Операторы позволяют описывать элементы эталонных конструкций — группы символов, типы вводимых параметров.

Скобки служат для объединения операторов в группы и задания деревьев грамматического разбора входного текста. В языке возможны три типа скобок:

- $\langle \dots \rangle$ — альтернативные скобки;
- $[\dots]$ — скобки возможных, но необязательных конструкций;
- (\dots) — скобки повторов.

Конструкции вида “ $\langle \rangle \langle \rangle \dots \langle \rangle$ ” называются последовательностью альтернативных скобок и используются для описания всех допустимых вариантов как входного текста так и любых его частей.

Отдельные части описания могут быть выделены в специальные блоки и, будучи помеченными, образуют структуры, аналогичные подпрограммам, выход из которых осуществляется с помощью оператора, аналогичного RETURN. Чтобы можно было использовать описания из других модулей, а также создавать библиотеки описаний, в языке введены глобальные метки.

Обработка модулей осуществляется двухпроходным препроцессором, на выходе которого формируется преобразованный в исполнительные коды интерпретатора исходный текст описаний. Если в файле, помимо модулей на языке LADI, содержится любая другая текстовая информация (обычно это текст программы), она переносится в выходной файл без изменений. При первом проходе проводится синтаксический анализ текста описания: форматы операторов; структура скобок; составляется таблица ссылок на метки. Трансляция ведется до обнаружения ошибки. Во время второго прохода формируются исполнительные коды для интерпретатора с учетом локальных и глобальных меток.

Интерпретатор исполнительных кодов, которые получены после трансляции модулей описания, представляет собой набор подпрограмм, часть которых выполняет анализ входного текста в соответствии с тем или иным описанием, а остальные обеспечивают взаимодействие с задачей пользователя.

Работа интерпретатора начинается с выполнения операторов в указанном модуле и, по мере необходимости, происходит посимвольное считывание из входной строки (когда встречается соответствующий оператор).

Возврат управления в задачу пользователя происходит в следующих случаях:

- если в описании встретился оператор выхода из интерпретатора;
- при окончании обработки всех символов во входной строке и выходе на нулевой уровень альтернативных скобок;
- если в результате анализа входной строки, начиная с какого-то символа, нет соответствующей эталонной структуры в данном описании.

Язык макроассемблер, на котором написана большая часть ПО управляющего программного комплекса в ЦЭВМ и ЛССД с ДК ИФВЭ, обладает тем существенным недостатком, что в нем отсутствуют развитые встроенные средства организации ввода/вывода. В значительной мере устранить этот недостаток позволила разработка и реализация набора макрокоманд и пакета подпрограмм, дающих возможность достаточно просто осуществлять вывод на терминал или устройство печати в символьном представлении почти всех типов данных макроассемблера, а также производить обратную процедуру при вводе с терминала. Данный пакет во многом аналогичен структурам ввода/вывода для языка "С".

В пятой главе описана организация и программное обеспечение предварительной обработки в режиме *off-line*, записанных на МЛ во время набора статистики данных и подготовки входной информации для системы GRAND.

Основным этапом при работе с данными, непосредственно записанными на внешние носители в режиме *on-line*, является преобразование их в формат DST (Data Summary Tape), более удобный при анализе с целью получения физических результатов, ввиду высокого уровня отображения регистрируемых процессов в установке. Для НД для этих целей используется система GRAND. Однако технология обработки экспериментов показывает, что созданию DST предшествует многократная работа с одними и теми же данными, причиной чего может быть, например, совершенствование алгоритмов, обнаруженные ошибки, изменения в постановке задач и т.п. Если при этом каждый раз на входе в GRAND использовать записанные в режиме *on-line* на МЛ (исходные) данные, это вызывает, как минимум, необходимость выполнения таких процедур, как: распаковка данных; преобразование их в формат банков ZBOOK, которые являются основным видом представлением данных в GRAND; восстановление отрезков прямых треков в ДК и т.п. Кроме того, часть обработки связана с анализом только исходных данных и использовать для этого GRAND, оказывается, нерационально из-за больших накладных расходов. Избежать этого можно введением предварительной обработки и промежуточного представления данных, что выполняет задача INTER. Основу INTER составляет программная оболочка, состоящая из набора базовых модулей, обеспечивающих выполнение следующих функций:

- чтение через пакет FFREAD-управляющих карт, где задаются номера RUN, начального и конечного событий в этом RUN, данные с которых будут считываться задачей INTER и некоторые другие параметры;
- определение идентификаторов тех данных, которые необходимо считать с внешних носителей;
- непосредственно работу с внешними носителями по поиску требуемых RUN;
- реализацию обработки считанных данных в соответствии с алгоритмом, заложенным пользователем через задание списка и последовательности вызова подпрограмм в зависимости от типа считываемых данных.

Для организации обработки исходных данных с преобразованием их в стандарт GRAND в режиме потока создан вариант INTER (рис. 8), куда включены дополнительные модули, которые обеспечивают следующее:

1. Занесение без предварительной обработки, но с изменением формата, всех данных в созданные для них банки данных. Изменение формата связано с тем, что структура исходных данных заложена в самих данных, как правило, в виде битовых полей. Это следствие либо необходимости компактного представления данных для уменьшения объема при записи на МЛ, либо отображения их в том виде, в каком они поступают с регистрирующей электроники. Для банков же структура данных заложена в самой их организации, например в виде деревьев, что упрощает доступ к требуемым данным.
2. Замена значений временных отсчетов с ДК всех систем на расстояние до сигнальных проволок, с учетом предварительно определенных скоростей дрейфа, которые считываются через пакет EXDA.

3. Восстановление отрезков треков во всех дрейфовых камерах и формирование банков, содержащих параметры этих отрезков и их характеристики.
4. Пособытийную запись всех необходимых банков в формате EPIO и в последовательности, отвечающей представлению события в стандарте GRAND.

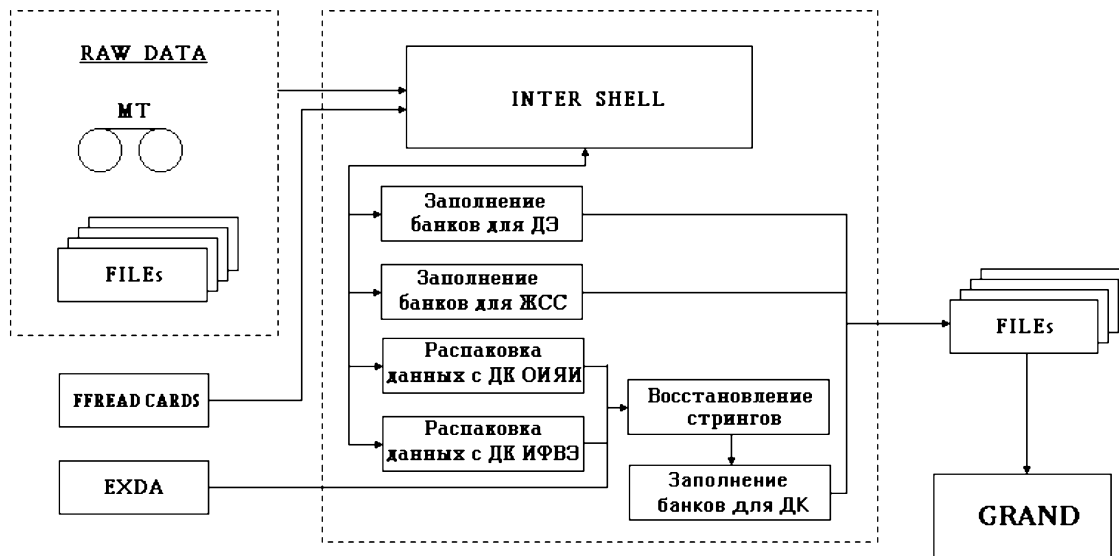


Рис. 8.

В заключении сформулированы основные выводы и результаты диссертации.

1. Разработано и создано программное обеспечение системы сбора данных с дрейфовых камер ИФВЭ, позволившее осуществить весь комплекс работ по введению в эксплуатационный режим как самих дрейфовых камер, так и электроники регистрации данных. С помощью специально разработанных программных средств были проведены методические исследования фоновых условий в зоне НД и найдены технические решения для снижения его до допустимого уровня. Набор тестовых программ, используемый во время предпусковой наладки, обеспечивал проверку аппаратуры и дрейфовых камер, а в течение сеанса — своевременную диагностику о нарушении режимов работы или выходе из строя элементов электроники.
2. Разработан и реализован алгоритм быстрого восстановления отрезков прямых треков (стрингов) в дрейфовой камере, используемый в режиме *on-line* при графическом отображении физических процессов и контроля эффективности дрейфовых камер и сигнальных проволок. В режиме *off-line* этот алгоритм используется для определения параметров стрингов во всех дрейфовых камерах мишенной части и мюонного спектрометра.
3. Созданный метод компактного представления данных позволил почти в два раза, по сравнению со считанными с электроники, уменьшить объем записываемой на внешние носители информации с дрейфовых камер.

4. В рамках многомашинного комплекса создан управляющий программный комплекс или ядро системы сбора данных с НД, обеспечивающий синхронизацию потоков данных на уровне центральной ЭВМ; поддержку протоколов по сбору данных с удаленных ЭВМ; организацию работы с магнитными лентами и сохранение на внешних носителях всех необходимых данных для последующей обработки в режиме *off-line*; накопление и вывод статистических характеристик работы системы сбора данных по набору статистики; параметрический контроль источников питания и температурного режима.
5. Разработано программное обеспечение поддержки интерактивного режима, включающее язык описания эталонных грамматических конструкций; транслятор программных модулей с языка в исполнительные коды; интерпретатор исполнительных кодов для анализа вводимых с терминала команд. Создан набор макрокоманд, существенно упрощающий процедуры ввода/вывода для макроассемблера.
6. Для предварительной обработки и анализа набранной статистики в режиме *off-line*, а также подготовки входных банков для системы GRAND написаны программная оболочка и рабочий вариант программы INTER.

Представленное в диссертации программное обеспечение использовалось на нейтринном детекторе ИФВЭ-ОИЯИ в течение более десятилетнего периода. С его помощью была проведена настройка отдельных систем при запуске, оптимизация защиты для создания приемлемого уровня фона, калибровка детектора в пучке обводного канала электронами, адронами и мюонами фиксированных энергий. Эксплуатация в течение длительного времени показала его надежность и эффективность, что позволило успешно осуществить на нейтринном детекторе большую физическую программу, в которую вошли:

- Beam-dump эксперимент по изучению сечения образования очарованных частиц в протон-нуклонных взаимодействиях при энергиях $U \sim 70$ и поиска образования некоторых экзотических частиц;
- эксперимент по поиску осцилляций электронных нейтрино;
- измерение полных сечений взаимодействия мюонных нейтрино и антинейтрино в диапазонах энергий 3-30 ГэВ;
- изучение структурных функций в глубоконеупругом ν -нуклон рассеянии.

Список литературы

- [1] Беликов С.В., Горячев В.Н., Липаев В.В. Метод восстановления отрезков треков частиц, проходящих в дрейфовой камере. — В кн.: Материалы V рабочего совещания по нейтринному детектору ИФВЭ-ОИЯИ, Дубна, 17-19 января 1984 (Д1,2,13-84-332), с. 162-164.
- [2] Беликов С.В., Липаев В.В. Прием и форматирование данных с электроники дрейфовых камер. — В кн.: Материалы V рабочего совещания по нейтринному детектору ИФВЭ-ОИЯИ, Дубна, 17-19 января 1984 (Д1,2,13-84-332), с. 165-167.
- [3] Горячев В.Н., Зудин Ю.А., Кожин А.С., Липаев В.В., Тумаков В.Л., Щукин Г.Л. Первая очередь *on-line* программного обеспечения дрейфовых камер ИФВЭ нейтринного детектора. — В кн.: Материалы VII рабочего совещания по нейтринному детектору ИФВЭ-ОИЯИ, Дубна, 7-9 января 1986 (Р1,2,13-86-508), с.180-184.
- [4] Борисов А.А., Горячев В.Н., Кожин А.С., Липаев В.В. Организация и программное обеспечение системы сбора данных для дрейфовых камер ИФВЭ нейтринного детектора ИФВЭ-ОИЯИ: Препринт ИФВЭ 96-71. Протвино, 1996.
- [5] Божко В.И., Борисов А.А., Горячев В.Н., Карев А.Г., Кожин А.С., Липаев В.В., Щукин Г.Л. Управляющий программный комплекс системы сбора данных нейтринного детектора ИФВЭ-ОИЯИ: Препринт ИФВЭ 96-72. Протвино, 1996.

Рукопись поступила 4 декабря 1996 г.

В.В.Липаев

Программное обеспечение многомашинного комплекса нейтринного детектора ИФВЭ-ОИЯИ и системы сбора данных с дрейфовых камер ИФВЭ.

Оригинал-макет подготовлен с помощью системы \LaTeX .

Редактор Н.В.Ежела.

Технический редактор Н.В.Орлова.

Подписано к печати 4.12.96. Формат $60 \times 84/8$. Офсетная печать.

Печ.л. 2.12. Уч.-изд.л. 1.63. Тираж 100. Заказ 835. Индекс 3649.

ЛР №020498 17.04.97.

ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий
142284, Протвино Московской обл.

