

На правах рукописи

БОГДАНЧИКОВ Александр Георгиевич

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ
СБОРА ДАННЫХ ДЕТЕКТОРА СНД

01.04.01 – приборы и методы
экспериментальной физики

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

НОВОСИБИРСК - 2012

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте ядерной физики им. Г. И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ:

Дружинин Владимир Прокопьевич – доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерной физики имени Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск.

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ:

Головцов Виктор Леонтьевич – кандидат физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Российской академии наук, г. Гатчина, заведующий лабораторией.

Хильченко Александр Дмитриевич – доктор технических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск, заведующий сектором.

ВЕДУЩАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ: – Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна.

Защита диссертации состоится « _____ » _____ 2012 г. в « _____ » часов на заседании диссертационного совета Д 003.016.01 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук.

Адрес: 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 11.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерной физики имени Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук.

Автореферат разослан « _____ » _____ 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор физ.-мат. наук

А.В. Бурдаков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

Сферический нейтральный детектор (СНД) является современным универсальным детектором частиц в физике высоких энергий. Он представляет собой сложную электрофизическую установку, состоящую из нескольких подсистем (электромагнитный калориметр, трековая система, черенковский счетчик, мюонная система), каждая из которых обслуживается специальной электроникой. Разработка системы сбора данных (ССД) детектора (СНД) является комплексной и уникальной задачей.

Первые эксперименты с детектором СНД проводились с 1995 по 2000 год на электрон-позитронном коллайдере ВЭПП-2М, находящемся в ИЯФ им. Г.И.Будкера СО РАН. Коллайдер работал в диапазоне энергии в системе центра масс от 0,36 до 1,40 ГэВ. В 1999 году было принято решение о строительстве нового коллайдера с большей светимостью и увеличенной до 2.0 ГэВ максимальной энергией. Для проведения экспериментов на новом коллайдере, получившем название ВЭПП-2000, потребовалась модернизация детектора СНД, включающая в себя и модернизацию ССД.

Для повышения надежности, увеличения загрузочной способности, повышения точности измерений и уменьшения энергопотребления была практически полностью заменена оцифровывающая электроника СНД. В частности, новые платы оцифровки сигналов трековой системы вместо аппаратного интегрирования сигнала теперь запоминают его форму и затем передают ее компьютерной подсистеме. Это привело к увеличению размера события в 4 раза. Поскольку ожидаемое повышение светимости коллайдера приводило к увеличению потока событий, то перед ССД СНД для ВЭПП-2000 была поставлена новая задача: вычитывать из электроники и обрабатывать события с частотой до 1 кГц при размере события 4 КБ, то есть, ожидаемый поток событий составлял до 4 МБ/с.

В новой ССД СНД должен быть организован эффективный программный отбор событий (третичный триггер). Для этого необходимо было обеспечить возможность проведения вычислительно-емких операций, таких, например, как полная предварительная реконструкция событий.

Старая ССД СНД, разработанная для экспериментов на ВЭПП-2М, не удовлетворяла новым требованиям по следующим причинам:

- чтение событий велось через электронные модули в стандарте КАМАК, что ограничивало максимальную скорость чтения событий 200 Гц;
- имеющихся вычислительных мощностей было недостаточно для выполнения полной реконструкции событий, а их увеличения не было предусмотрено;
- старая ССД была разработана для кластера компьютеров VAX station с

операционной системой VMS и тактовой частотой процессора менее 100 МГц, которые за время работы на ВЭПП-2М практически полностью исчерпали свой ресурс.

ССД СНД для экспериментов на ВЭПП-2М разрабатывалась в 90-х годах, и программное обеспечение (ПО) ССД основывалось на имевшихся в то время технологиях. Для разработки программ использовались языки программирования Fortran77, C, Assembler, для графических приложений – библиотека «motif». Все данные хранились в файлах в разнообразных форматах, а для их передачи использовались протоколы собственной разработки. За время, которое прошло с начала разработки ССД СНД на ВЭПП-2М, появились новые технологии программирования и хранения данных, позволяющие не только сделать ПО ССД более «современным», но повысить его надежность, сократить время разработки и упростить поддержку.

Таким образом, назрела необходимость разработки совершенно нового программного обеспечения ССД СНД, с использованием новых технологий, и с учетом опыта, накопленного в экспериментах СНД на ВЭПП-2М.

Цель работы

Целью данной работы является разработка ПО ССД СНД для экспериментов на ВЭПП-2000. В ходе достижения основной цели были поставлены и решены следующие подзадачи:

- определение требований к ПО ССД СНД, оценка возможных способов реализации, выбор архитектуры, проверка выбранных средств реализации;
- разработка и реализация прототипа ПО ССД, выполняющего основные функции, проверка работоспособности выбранной архитектуры ПО ССД;
- разработка прототипа ССД, эксплуатация прототипа на старой электронике СНД для проверки прототипа дрейфовой камеры СНД;
- расширение возможностей прототипа ПО ССД до полнофункциональной версии, интеграция с новой электроникой детектора СНД;
- проверка расчетных характеристик ССД на запусках от генератора и на случайно распределенных по времени запусках;
- стресс-тест ССД на запусках с частотой, заведомо превышающей возможности ССД СНД, выявление оптимальных настроек ССД для устойчивой работы в условиях перегрузки;
- комплексная проверка ССД с калориметром и новой дрейфовой камерой, сбор космических событий, калибровка подсистем, проверка ССД на пучке;
- обеспечение поддержки и дальнейшего развития ССД в период эксплуатации СНД на ВЭПП-2000 в течение нескольких сезонов.

Личный вклад автора

Автор принимал активное участие в подготовке к проведению экспериментов с детектором СНД на ВЭПП-2000. На этапе подготовки к экспериментам СНД на ВЭПП-2000 автор занимался разработкой архитектуры и выбором средств реализации системы сбора данных. Непосредственно автором была проведена экспериментальная проверка выбранной архитектуры, были разработаны: подсистема чтения данных с электроники и построения событий, подсистема передачи данных, интерфейс управления, визуализация состояния пересчетных схем детектора, системы автоматического запуска и система регистрации процессов системы, структура третичного триггера и процесса калибровки по событиям. Под руководством автора велись работы по созданию пользовательского интерфейса к истории контролируемых параметров электроники СНД.

Научная новизна

1. Организовано чтение данных с уникальной электроники, разработанной специально для экспериментов с детекторами на ВЭПП-2000.
2. В системе сбора данных используется глубокая буферизация сырых событий, что позволяет разделить во времени чтение электроники и программную обработку событий.
3. В ССД предусмотрено увеличение производительности программного отбора событий путем простого добавления новых компьютеров, что позволяет обеспечить вычислительную мощность, достаточную для проведения полной предварительной реконструкции событий.
4. Для хранения информации, сопутствующей сбору данных (текущая информация о состоянии электроники и потоке данных, описания конфигураций электроники, калибровочные коэффициенты, история контролируемых параметров, log-журнал и пр.) используется реляционная база данных с поддержкой языка запросов SQL и технология объектно-реляционного отображения. Такой подход повышает надежность, упрощает разработку и поддержку подсистемы хранения данных.
5. Интерфейс управления и контроля сбором событий был разработан на основе web-технологий (AJAX).
6. В процессах третичного триггера, контроля по событиям и калибровки используется программная среда управления модулями обработки (СУМО СНД), разработанная для анализа событий СНД. Единообразие в разработке повышает надежность ССД и обеспечивает переносимость модулей из приложений по обработке событий.
7. В разработке кода ССД использован компонентно-ориентированный подход, который позволяет отслеживать изменения программного кода, облегчает совместную разработку, поддержку и развитие системы.

Научная и практическая ценность

Спроектировано и разработано ПО ССД для проведения экспериментов с детектором СНД на ВЭПП-2000. Первые версии ПО ССД работали со старой электроникой СНД, и использовалась для разработки дрейфовой камеры и калибровки калориметра СНД. Перед вводом в эксплуатацию ССД была проверена на космических и генераторных событиях. ССД СНД находится в эксплуатации более трех лет, в течение которых показала свою высокую надежность. В экспериментах 2010 - 2012 годов была накоплена интегральная светимость около 40 пб^{-1} . В результате анализа этих данных были получены и опубликованы первые физические результаты СНД с коллайдера ВЭПП-2000.

Основные положения, выносимые на защиту

- разработана архитектура ССД СНД,
- создано ПО для чтения данных из уникальной электроники СНД,
- разработано ПО для передачи по запросу текущих событий процессам визуализации и контроля,
- разработано ПО для распределения контейнеров с событиями для параллельной обработки процессами третичного триггера (программного отбора событий),
- разработана структура третичного триггера, реализовано динамическое включение и параметризация модулей отбора, реализован механизм отбора и деления событий с использованием битовых масок,
- создан интерфейс управления ССД,
- реализована система автоматического запуска и контроля процессов ССД,
- разработана система регистрации процессов, которая выполняет динамическое распределение ресурсов и автоматическое восстановление контекста после сбоя процесса,
- реализовано чтение и визуализация состояния пересчетных схем детектора,
- разработана структура процесса калибровки по событиям,
- разработано ПО для доступа к сообщениям процессов ССД,
- организована эксплуатация прототипа ССД для изучения свойств прототипа дрейфовой камеры,
- проведена комплексная проверка и наладка ПО ССД,
- организована эксплуатация и поддержка ССД во время экспериментов на ВЭПП-2000.

Апробация работы и публикации

Основные результаты диссертационной работы докладывались на семинарах в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук, на конференции СНЕР-2001 (Пекин, Китай), на конференции АСАТ-2005 (Цойтен, Германия) и были опубликованы в российских и международных журналах: «Приборы и техника эксперимента», «Nuclear Instruments and Methods in Physics Research», «Письма в ЖЭТФ».

Структура работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и четырех приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении кратко описана история экспериментов на детекторе СНД, аргументирована актуальность разработки новой ССД СНД для экспериментов на ВЭПП-2000.

В первой главе обсуждаются ССД детекторов в физике высоких энергий, их составляющие и характеристики. Перечислены этапы модернизации ССД СНД, разработанной для экспериментов на ВЭПП-2М, сформулированы новые требования к ССД для экспериментов на ВЭПП-2000, приведены причины отказа от модернизации старой ССД и перехода к созданию ССД с новой архитектурой. В конце главы представлен компонентно-ориентированный подход, который использовался при разработке ПО ССД.

Во второй главе детектор СНД рассмотрен как объект для автоматизации. Описаны подсистемы детектора СНД и оцифровывающая электроника детектора. Подробно изложена последовательность чтения события с электроники СНД, приведены расчетные характеристики: мертвое время электроники и средний размер события.

Общий вид детектора СНД для экспериментов на ВЭПП-2000 приведен на рис. 1.

Вакуумная камера коллайдера окружена трековой системой, состоящей из дрейфовой и пропорциональной камер в едином газовом объеме и предназначенной для измерения точки вылета и направления заряженных частиц. В дрейфовой камере имеется 9 слоев сигнальных проволочек, по 24 проволочки в слое. Для каждой проволочки измеряется время дрейфа и амплитуды с ее концов (всего 432 канала с АЦП и 216 с ВЦП). Вблизи внешней обечайки расположена пропорциональная камера, используемая для более точного измерения z-координаты треков заряженных частиц. Z-координата трека частицы измеряется по распределению зарядов, наведенных на катодных полосках (384 АЦП).

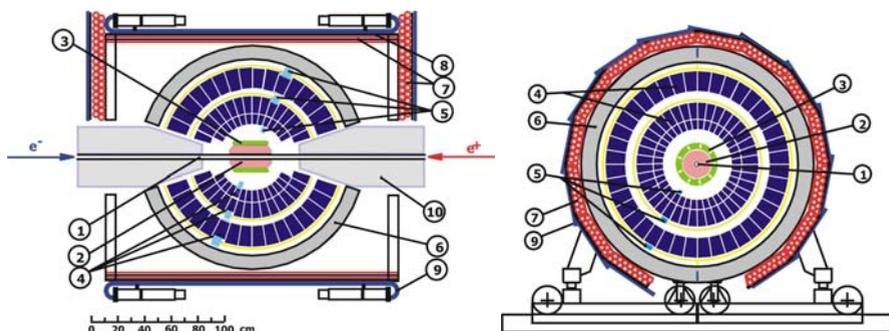


Рис. 1. Детектор СНД. 1 – вакуумная камера, 2 – трековая система, 3 – черенковские счетчики, 4 – кристаллы NaI(Tl), 5 – вакуумные фототриоды, 6 – железный поглотитель, 7 – внешние пропорциональные камеры, 8 – железные пластины, 9 – сцинтилляционные счетчики, 10 – магнитные линзы.

Черенковские счетчики используются для разделения π - и K -мезонов (9 АЦП и 9 ВЦП).

Трековая система и черенковский счетчики окружены сферическим трехслойным электромагнитным калориметром на основе кристаллов NaI(Tl). Калориметр позволяет измерять энергии и углы вылета фотонов и обеспечивает высокую чувствительность детектора к событиям с нейтральными частицами в конечном состоянии. Электромагнитный калориметр состоит из трех слоев кристаллов NaI(Tl), в каждом слое от 520 до 560 кристаллов (1632 АЦП).

Внешняя система предназначена для подавления фона космических частиц и для разделения π - и μ - мезонов при энергии частиц выше 400 МэВ. Система состоит из 18 сцинтилляционных счетчиков (18 дискретных каналов, амплитудные и временные сигналы суммируются в 4 АЦП и 4 ВЦП) и 16 блоков пропорциональных трубок (288 дискретных каналов). Продольная координата измеряется по соотношению амплитуд на концах сцинтилляционного счетчика, а поперечная – по номерам сработавших трубок.

В сумме, информация с детектора СНД поступает более чем по 3000 каналам: 2461 АЦП, 229 ВЦП и 546 дискретным.

Непосредственно на детекторе СНД размещены электронные предусилители, сигналы с которых, в зависимости от подсистемы, либо сразу, либо после обработки в платах-формирователях сигнала, попадают на оцифровывающую электронику.

Оцифровывающая электроника СНД базируется на стандарте КЛЮКВА с циклом магистрали 100 нс. Она занимает 16 крейтов, каждый из которых вмещает в себя 18 плат: интерфейс первичного триггера (ИПТ), плату процессора ввода-вывода (ПВВ) и 16 информационных плат (ИП).

Платы-формирователи калориметра Ф12 также размещены в конструктиве КЛЮКВА. Они формируют (с регулируемым коэффициентом усиления) сигналы с предусилителей калориметра для ИП. Суммарный аналоговый сигнал с 12 каналов калориметра передается в ИПТ калориметра.

Аналоговые и логические сигналы, вырабатываемые ИПТ различных подсистем, поступают в специализированный крейт с электроникой первичного триггера (ПТ), где вырабатываются сигналы запуска детектора.

В крейтах стандарта КАМАК размещены:

- блок решений первичного триггера (БРПТ), который формирует сигналы начала оцифровки и чтения ИП;
- модуль центральной системы управления (ЦСУ), который размножает сигналы и координирует чтение событий;
- платы пересчетных схем для набора статистики срабатываний подсистем электроники (пересчетки);
- таймер для измерения живого времени ССД.

Временная диаграмма чтения событий приведена на рис. 2.

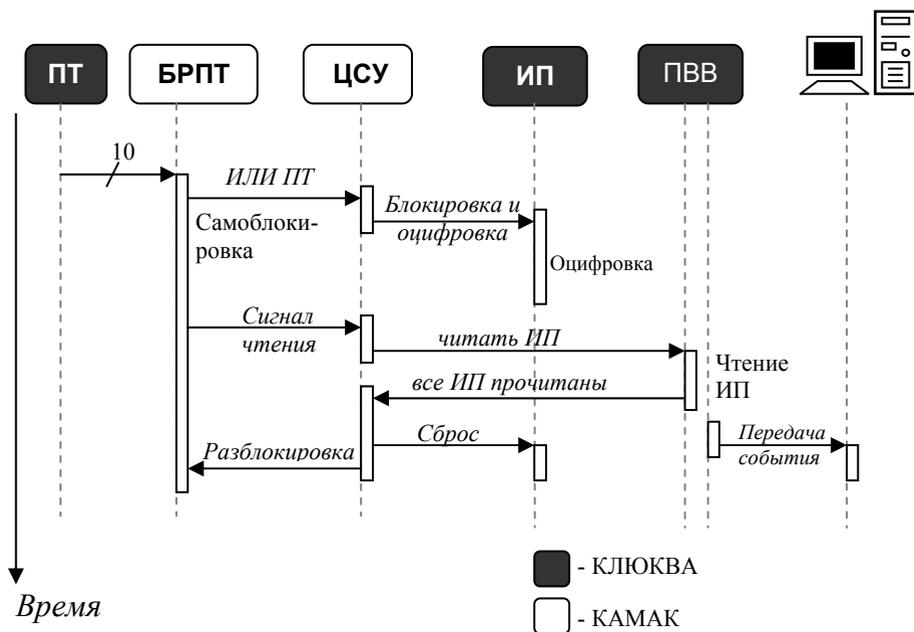


Рис. 2. Временная диаграмма чтения события в электронике ССД.

Сигналы от ИП и плат формирователей по магистрали КЛЮКВА передаются в ИПТ и затем в электронику ПТ, где формируется десять сигналов запуска. Сигналы запуска поступают на блок решения первичного

триггера (БРПТ), где собираются по «ИЛИ». После срабатывания «ИЛИ ПТ» БРПТ блокирует свои входы и выставляет сигнал, который блокирует пересчетные схемы и таймер. Сигнал «ИЛИ ПТ» передается на вход ЦСУ, который раздает его по крейтам КЛЮКВА: для плат оцифровки сигналов трековой, наружной систем и черенковского счетчика (Т2АМ, ПА24, ТП) – это сигнал фиксации результатов оцифровки, для плат оцифровки сигналов калориметра (А24М) – сигнал начала оцифровки. После фиксированной задержки, достаточной для завершения аналого-цифрового преобразования в А24М, БРПТ через ЦСУ передает сигнал чтения в ПВВ.

После получения сигнала чтения, ПВВ считывает значения сработавших каналов по магистрали КЛЮКВА. После передачи сигнала чтения, ЦСУ ожидает прихода сигналов от всех ПВВ о готовности к чтению ИП. Когда все сигналы выставлены («все ИП прочитаны»), ЦСУ посылает сигнал сброса на ИП и сигнал разблокировки на БРПТ.

В ПВВ выполняются два независимых потока команд, которые обеспечивают передачу оцифрованных данных компьютерную подсистему. Один поток вычитывает данные из ИП по магистрали КЛЮКВА и сохраняет их в кольцевом буфере, второй – читает данные из буфера и передает их в компьютер через сеть Ethernet. Для организации синхронной работы, потоки используют три указателя (чтения, записи, ограничения записи). С помощью команд управления указателями в кольцевом буфере ПВВ, компьютер может освободить место для записи новых данных или вызвать повторную передачу данных.

Далее приводится оценка мертвого времени электроники. Оно состоит из времени оцифровки в ИП, времени чтения ИП по магистрали КЛЮКВА, и времен блокировок от комплекса ВЭПП-2000 и на чтение пересчетных схем. Мертвое время составляет 11% при частоте событий 1кГц.

В конце главы приводится оценка среднего размера событий по среднему числу сработавших каналов для различных подсистем в экспериментах СНД на ВЭПП-2М. Ожидаемый средний размер события составляет 4200 байт.

Третья глава посвящена деталям эксплуатации ССД СНД.

В первом параграфе описывается разбиение процесса набора данных с детектора СНД на заходы – этапы, в течение которых конфигурация ССД СНД строго фиксирована, а изменениями характеристик электроники можно пренебречь.

Второй параграф содержит описание типичных сценариев взаимодействия человека с ССД СНД, где человек может выступать в одной и двух ролей: оператора или эксперта.

В третьем параграфе приведены типы данных, которые сохраняются ССД СНД, и дана оценка суммарного объема данных.

В четвертом параграфе описан основной поток данных и этапы их обработки в ССД, рассмотрены ключевые требования к обработке данных, предложены два механизма передачи данных, обоснован выбор механизма передачи через разделяемый буфер (см. рис. 3), и представлена окончательная архитектура ССД СНД (см. рис. 4).

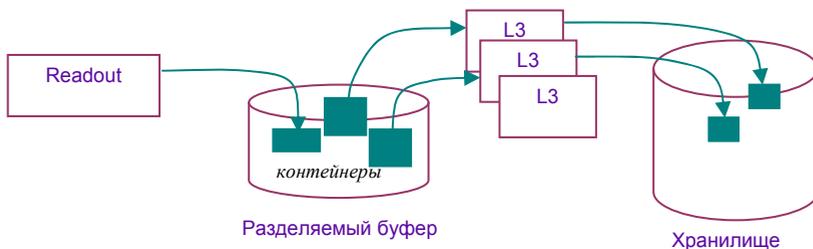


Рис. 3. Механизм передачи событий через разделяемый буфер.

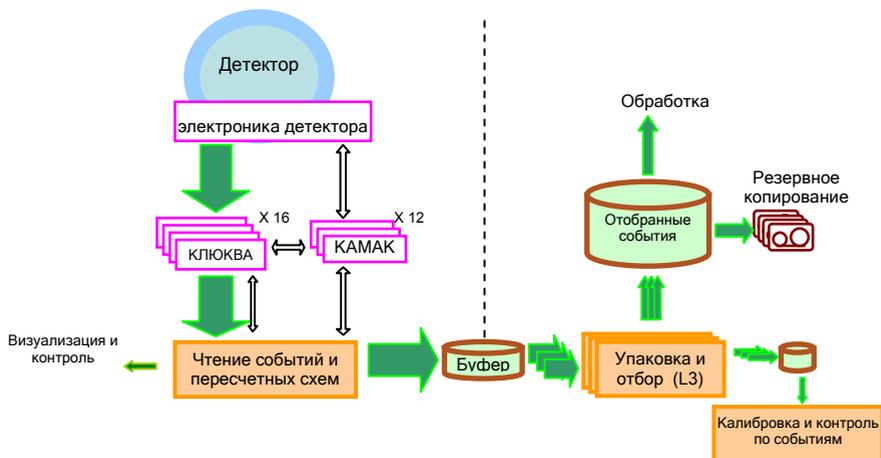


Рис. 4. Архитектура ССД СНД.

В пятом параграфе рассматриваются два механизма синхронизации распределенных процессов: путем регулярного опроса и через сервер синхронизации. Обосновывается выбор механизма регулярного опроса.

В шестом параграфе рассмотрены средства реализации ССД. Перечислены технологии, недоступные ранее, которые были использованы в ССД СНД впервые. Рассмотрены готовые пакеты, которые могут быть применены для разработки ССД: EPICS и Midas. Ввиду отсутствия в этих системах важнейших компонент чтения уникальной аппаратуры СНД и средств глубокой буферизации событий, от их применения было решено

отказаться, а для экспериментов СНД на ВЭПП-2000 разработать собственное ПО ССД.

В четвертой главе раскрываются детали реализации ПО ССД СНД. В начале главы перечислены основные процессы системы, а затем детально описывается каждый из них.

Первый параграф посвящен процессу Readout. Процесс Readout читает данные через ПВВ и сохраняет их в разделяемом буфере. Управление ПВВ реализуется посредством загрузки команд в «ОЗУ команд» и манипуляциями с указателями в «ОЗУ данных» ПВВ. Для процессов быстрого контроля и визуализации событий предусмотрена оперативная раздача событий по запросу. Для выборки событий определенного типа, реализован быстрый отбор событий по срабатываниям дискретных сигналов. В конце параграфа рассмотрены подробности реализации Readout: с помощью концепции «конечного автомата», описаны возможные состояния и переходы процесса, приведены некоторые уровни программного используемых библиотек.

Во втором параграфе рассмотрен алгоритм работы процесса чтения пересчетных схем Scalers, который работает синхронно с процессом Readout. Описан алгоритм работы Scalers с помощью состояний «конечного автомата».

В третьем параграфе описана организация третичного триггера СНД. Процесс третичного триггера «L3 framework» выполнен в программной среде СУМО СНД, а все оперативные функции вынесены в отдельный процесс «L3 shell». Для отладки третичного триггера предусмотрен запуск процесса из командной строки с альтернативной пользовательской конфигурацией. Передача и захват контейнера (файла) с событиями осуществляется путем переименования файла.

Подробно рассмотрена работа модулей третичного триггера, который выполняет обработку файла с сырыми событиями в следующей последовательности:

- чтение сырых событий;
- перевод формата событий к внутреннему представлению;
- создание масок для хранения результатов модулей отбора событий,
- реконструкция событий;
- отбор событий;
- контроль подсистем детектора по событиям;
- анализ масок, деление событий, принятие решения о записи или отбраковке события;
- сохранение отобранных событий.

Активные модули и параметры модулей задаются в конфигурации третичного триггера, которая храниться в базе данных.

В четвертом параграфе рассмотрен процесс медленного контроля. Контроль периодически считывает измерения напряжений и токов источников питания, давлений и температур и сохраняет их в базе данных истории параметров, а в случае значительных отклонений от нормы, оповещает оператора.

В пятом параграфе рассмотрен контроль по событиям, который выполнен в виде модулей СУМО СНД. Они могут включаться в процессы: оперативного контроля, третичного триггера, контроля и калибровки по отобранному событиям.

В шестом параграфе представлен процесс калибровки по событиям. Приложение выполнено в программной среде СУМО СНД. Состав модулей и их параметры определяются в конфигурации, хранящейся в базе данных. В процессе организована последовательная доставка калибровочных событий, предусмотрен механизм информирования модулей начале и конце захода, реализован механизм оповещения об обязательном завершении набора статистики.

В седьмом параграфе представлен пользовательский интерфейс ССД. Интерфейс реализован в виде динамически-генерируемых и обновляемых без перезагрузки web-страниц. Контроль над ССД осуществляется посредством web-браузера. Взаимодействие оператора с процессами производится через базу данных посредством программных интерфейсов на языках программирования С++ и PHP. В интерфейсе реализованы следующие функции: контроль и управление заходом, управления процессами, доступ к базам данных эксперимента, коммуникация пользователей, работа с log-журналом и управление персональными настройками.

В восьмом параграфе описана служба регистрации процессов ССД, которая выполняет две функции: распределение области в оперативной базе данных, где процессы хранят информацию о своем текущем состоянии и запуск процессов восстановления в случае непредвиденной остановки процесса. Предусмотрена схема устойчивой работы ССД в случае временного сбоя в самой службе регистрации.

В девятом параграфе представлена система запуска процессов ССД СНД. На каждом из компьютерных узлов ССД СНД выполняется специальный процесс, отвечающий за запуск остальных процессов ССД. Периодически процесс получает с сервера базы данных список процессов, которые должны работать на данном компьютере, и сверяет его с тем, что реально запущено. Если число запущенных процессов меньше заданного производится запуск недостающих процессов, если меньше, то завершаются лишние процессы.

В десятом параграфе рассмотрен механизм оповещения в ССД СНД. Для того, чтобы немедленно обратить внимание оператора на важнейшие

сообщения и оповестить ответственных за подсистемы лиц, в системе постоянно работает процесс-информатор, который анализирует сообщения, приходящие в log-журнал, и в случае необходимости проигрывает аудио-файл и/или отправляет копию сообщения по электронной почте.

В одиннадцатом параграфе кратко описаны интерфейсы доступа к данным ССД СНД. События хранятся в файлах в формате «посылка СНД», все остальное – в реляционной СУБД (MySQL). Поскольку в программах данные представлены в виде структур и объектов, то для их хранения в реляционной базе данных или файле выполняются преобразования, которые скрываются за программными интерфейсами. В соответствии с различными типами данных в интерфейсах используются различные оптимизации доступа.

В пятой главе приводится опыт наладки и эксплуатации.

В первом параграфе описаны этапы развития ССД СНД от формирования требований до поддержки в эксперименте на пучках.

Второй параграф посвящен проверке расчета мертвого времени электроники ССД.

Третий параграф содержит краткое описание проблем с электроникой, которые решались в процессе наладки ССД.

В четвертом параграфе описаны типичные характеристики экспериментального захода.

В пятом параграфе перечислены компьютерные узлы ССД и приведены характерные загрузки ЦПУ и оперативной памяти.

В шестом параграфе приводится распределение данных экспериментальных событий по крейтам, оценка мертвого времени, и рассматриваются два способа модернизации электроники с целью уменьшения мертвого времени.

В заключении приводятся основные результаты работы.

Приложение А содержит список команд ПВВ.

Приложение Б содержит статистику набранных событий,

Приложение В содержит статистику светимости за сезоны 2010, 2011.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. В.М. Аульченко, А.Г. Богданчиков, А.А.Ботов и др. Система сбора данных детектора СНД для экспериментов на ВЭПП-2000. // Приборы и техника эксперимента, (2007), номер 6, стр. 65-82
2. M. Achasov, A. Bogdanchikov, A. Kim and A. Korol. / DAQ software for SND detector. // Nucl. Inst. and Meth. A 559 (2006) pp. 71-75.
3. М.Н. Ачасов, А.Г. Богданчиков, В.П. Дружинин и др. Программное обеспечение системы сбора данных детектора СНД. // Препринт ИЯФ 2003-59, Новосибирск, ИЯФ, 2003.

4. M.N. Achasov, A.G. Bogdanchikov, D.A. Bukin et al. Data Acquisition System for the SND2000 Experiment. // In proc. of CHEP2001, Sept. 3-7, 2001, Beijing, (2001) 556-559.
5. П.М. Астигеевич, В.М. Аульченко, М.Н. Ачасов, ..., А.Г. Богданчиков и др. Начало экспериментов с детектором СНД на коллайдере ВЭПП-2000. // Препринт ИЯФ 2011-21, Новосибирск, ИЯФ, 2011.
6. Г.Н. Абрамов, Е.Г. Авдеева, П.М. Астигеевич, ..., А.Г. Богданчиков и др. Детектор СНД: состояние дел и первый опыт работы с пучками ВЭПП-2000. // Препринт ИЯФ 2009-19, Новосибирск, ИЯФ, 2009.
7. Г.Н. Абрамов, П.М. Астигеевич, В.М. Аульченко, ..., А.Г. Богданчиков и др. Детектор СНД: модернизация систем для экспериментов на ВЭПП-2000 и некоторые предварительные результаты экспериментов на ВЭПП-2М. // Препринт ИЯФ 2007-20, Новосибирск, ИЯФ, 2007.
8. Г.Н. Абрамов, В.М. Аульченко, М.Н. Ачасов, ..., А.Г. Богданчиков и др. СНД - статус модернизации и анализа данных. // Препринт ИЯФ 2005-35, Новосибирск, 2005.
9. Г.Н. Абрамов, В.М. Аульченко, М.Н. Ачасов, ..., А.Г. Богданчиков и др. Модернизация детектора СНД для экспериментов на ВЭПП-2000. // Препринт ИЯФ 2003-45, Новосибирск, 2003.
10. Г.Н. Абрамов, В.М. Аульченко, М.Н. Ачасов, ..., А.Г. Богданчиков и др. Проект модернизации детектора СНД для эксперимента на ВЭПП-2000. // Препринт ИЯФ 2001-29, Новосибирск, 2001.
11. M.N. Achasov, A.Yu. Varnyakov, K.I. Beloborodov, ..., A.G. Bogdanchikov et al. First results of spherical neutral detector (SND) experiments at VEPP-2000. // Progress in Particle and Nuclear Physics (2012) 67 (2012), pp. 594-598.
12. М.Н. Ачасов, А.Ю. Барняков, К.И. Белобородов, ..., А.Г. Богданчиков и др. Измерение сечения процесса $e^+e^- \rightarrow \omega\pi_0 \rightarrow \pi_0\pi_0\gamma$ в области энергии 1.1-1.9 ГэВ. // Письма в ЖЭТФ, 94:10 (2011), 796-799.

БОГДАНЧИКОВ Александр Георгиевич

**Программное обеспечение системы
сбора данных детектора СНД**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Сдано в набор 19.11.2012 г.
Подписано в печать 20.11.2012 г.
Формат 60x90 1/16. Объем 1.0 печ.л., 0.8 уч.-изд.л.
Тираж 100 экз. Бесплатно. Заказ № 29

Обработано на РС и отпечатано
на ротапринте «ИЯФ им. Г.И. Будкера» СО РАН,
Новосибирск, 630090, пр. Академика Лаврентьева, 11