

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ им. Г.И.Будкера СО РАН

Г.Н. Абрамов, В.М. Аульченко, М.Н. Ачасов,  
К.И. Белобородов, А.В. Бердюгин, А.Г. Богданчиков,  
А.В. Боженок, Д.А. Букин, М.А. Букин,  
С.В. Бурдин, А.В. Васильев, Ю.С. Великжанин,  
В.Б. Голубев, А.Ф. Данилюк, Т.В. Димова  
А.А. Дроздецкий, В.П. Дружинин, П.М. Иванов,  
В.Н. Иванченко, А.А. Король, С.В. Кошуба,  
Е.А. Кравченко, Л.В. Максимов, А.Е. Образовский,  
А.В. Овчар, А.П. Онучин, Е.В. Пахтусова,  
М.А. Пешков, В.М. Попов, Е.Э. Пята,  
А.А. Сальников, С.И. Середняков, З.К. Силагадзе,  
А.А. Сироткин, А.Г. Скрипкин, Ю.В. Усов,  
В.В. Шарый, Ю.М. Шатунов

ПРОЕКТ МОДЕРНИЗАЦИИ ДЕТЕКТОРА СНД  
ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА ВЭПП-2000

ИЯФ 2001-29

Новосибирск  
2001

**Проект модернизации детектора СНД  
для экспериментов на ВЭПП-2000**

*Г.Н.Абрамов, В.М.Аулъченко, М.Н.Ачасов, К.И.Белобородов, А.В.Бердюгин,  
А.Г.Богданчиков, А.В.Боженок, Д.А.Бужин, М.А.Бужин, С.В.Бурдин,  
А.В.Васильев, Ю.С.Великжанин, В.Б.Голубев, А.Ф.Данилюк, Т.В.Димова,  
А.А.Дроздецкий, В.П.Дружинин, П.М.Иванов, В.Н.Иванченко, А.А.Король,  
С.В.Кошуба, Е.А.Кравченко, Л.В.Максимов, А.Е.Образовский, А.В.Овчар,  
А.П.Онучин, Е.В.Пахтусова, М.А.Пешков, В.М.Попов, Е.Э.Пята,  
А.А.Сальников, С.И.Середняков, З.К.Силагадзе, А.А.Сироткин,  
А.Г.Скрипкин, Ю.В.Усов, В.В.Шарый, Ю.М.Шатунов*

Институт ядерной физики им. Г.И.Будкера, 630090, Новосибирск, Россия

Aabstract

Описан проект модернизации детектора СНД для экспериментов на новом  $e^+e^-$  коллайдере ВЭПП-2000 в интервале энергии  $2E_0$  до 2 ГэВ. Модернизации подлежат калориметр, трековая система, электроника детектора, система сбора и обработки данных. Планируется создание системы идентификации частиц на основе аэрогелевых счетчиков, а также системы регистрации рассеянных электронов.

Эта работа поддержана грантами РФФИ 00-15-96802, ФЦП "Интеграция" N274, ФЦП "Интеграция" NA0100.

**Upgrade of the Spherical Neutral Detector for VEPP-2000**

*G.N.Abramov, V.M.Aulchenko, M.N.Achasov, K.I.Beloborodov, A.V.Berdyugin,  
A.G.Bogdanchikov, A.V.Bozhenok, D.A.Bukin, M.A.Bukin, S.V.Burdin,  
A.V.Vasiljev, Yu.S.Velikzhanin, V.B.Golubev, A.F.Danilyuk, T.V.Dimova,  
A.A.Drozdetzky, V.P.Druzhinin, P.M.Ivanov, V.N.Ivanchenko, A.A.Korol,  
S.V.Koshuba, E.A.Kravchenko, L.V.Maksimov, A.E.Obrazovsky, A.V.Ovchar,  
A.P.Onuchin, E.V.Pakhtusova, M.A.Peshkov, V.M.Popov, E.E.Pyata,  
A.A.Salnikov, S.I.Serednyakov, Z.K.Silagadze, A.A.Sirotkin, A.G.Skripkin,  
Yu.V.Usov, V.V.Shary, Yu.M.Shatunov*

Abstract

The program of upgrade of the Spherical Neutral Detector for future experiments at a new VEPP-2000  $e^+e^-$  collider is presented. Modernization includes upgrades of electromagnetic calorimeter, tracking system, detector electronics, data acquisition system, and offline software.

It is also planned to equip the detector with two new subsystems: particle identification system based on aerogel Čerenkov counters and external electron tagging system for  $\gamma\gamma$  physics.

© Институт ядерной физики им. Г.И.Будкера СО РАН

# Содержание

1	Введение	5
2	Физическая программа	7
3	Калориметр	7
4	Трековая система	8
5	Система аэрогелевых черенковских счетчиков	14
6	Система регистрации рассеянных электронов	17
7	Электроника детектора	19
8	Система сбора данных	23
9	Хранение данных	25
10	Обработка данных	27
11	Заключение	30
12	Список литературы	30



# 1 Введение

Эксперименты со Сферическим нейтральным детектором (СНД), рис. 1, 2, [1, 2] на электрон-позитронном коллайдере ВЭПП-2М проводились в интервале энергии в системе центра масс  $2E_0 = 0.36 \div 1.4 \text{ ГэВ}$  в течение 1995-2000 гг.

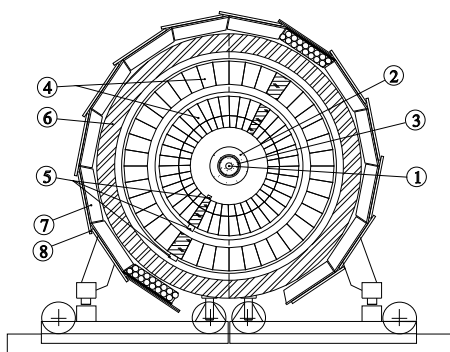


Рис. 1: Вид детектора СНД в плоскости  $R - \varphi$ .

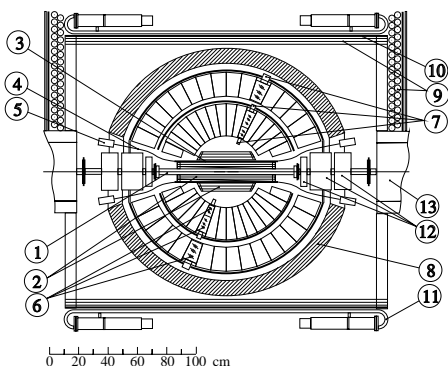


Рис. 2: Вид детектора СНД в плоскости  $R - z$ .

Полный интеграл светимости в этих экспериментах составил  $\sim 30 \text{ пб}^{-1}$ , рис. 3. Результаты экспериментов опубликованы более чем в 40 статьях в реферируемых журналах и препринтах, более 20 раз докладывались на международных и российских научных конференциях, многие из результатов уже вошли в таблицы свойств частиц [3].

Эксперименты на ВЭПП-2М проводились в течение 25 лет, начиная с 1974 г. В своем классе машин ВЭПП-2М имел рекордную светимость, достигавшую значения  $L = 5 \cdot 10^{30} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$  при энергии  $2E_0 = 1020 \text{ МэВ}$ . Интеграл светимости на ВЭПП-2М более чем на порядок превышает интеграл  $6 \text{ пб}^{-1}$ , набранный вместе в Орсе и Фраскати в области энергий от 1.4 до 2 ГэВ. Таким образом, между максимальной энергией ВЭПП-2М —

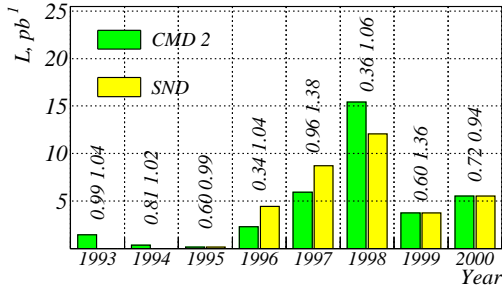


Рис. 3: Интеграл светимости, набранный детекторами КМД2 и СНД на ВЭПП-2М в течение 1992-2000 гг.

1.4 ГэВ и энергией 2 ГэВ, планируемой для ВЭПП-2000, находится экспериментально плохо изученная область энергии. В то же время улучшение точности адронных сечений в этом диапазоне энергии является решающим для понимания многих явлений физики высоких энергий.

Весной 1999 года в ИЯФ было принято решение о модернизации комплекса ВЭПП-2М для повышения светимости и увеличения суммарной энергии до 2 ГэВ, что позволит существенно расширить экспериментальную программу. Новый проект получил название ВЭПП-2000. Основные проектные параметры ВЭПП-2000 [4], важные для экспериментальной программы, приведены в табл. 1.

Таблица 1: Проектные параметры ВЭПП-2000

Параметр коллайдера	проектное значение
Энергия в системе центра масс $2E_0$	до 2 ГэВ
Светимость (при энергии $2E_0 = 1020$ МэВ)	до $10^{31} \text{см}^{-2} \text{с}^{-1}$
Светимость (при энергии $2E_0 = 2$ ГэВ)	до $10^{32} \text{см}^{-2} \text{с}^{-1}$
Время окончания модернизации	конец 2002 года

В связи с изменением условий эксперимента потребуются модернизация некоторых систем детектора СНД:

- замена фототриодов третьего слоя калориметра;
- замена трековой системы;
- создание системы идентификации частиц;
- модернизация оцифровывающей электроники детектора;
- модернизация системы сбора данных;
- модернизация системы обработки данных;
- создание системы рассеянных электронов.

Единственной системой, которая остается без изменений, является мюонная система.

В дальнейшем описании детектора принята следующая система координат. Начало координат находится в центре детектора СНД. Ось  $z$  направлена вдоль движения позитронов в накопителе, т.е. по направлению против часовой стрелки при виде сверху. Ось  $y$  направлена вертикально вверх, ось  $x$  — из центра накопителя вдоль его радиуса.

## 2 Физическая программа

Физическая программа экспериментов с детектором СНД на ВЭПП-2000 включает в себя следующие основные пункты:

1. измерение сечений отдельных процессов  $e^+e^-$ -аннигиляции  $e^+e^- \rightarrow 2\pi, \rho\pi, \omega\pi, KK, 4\pi, KK\pi$  и др.;
2. измерение полного сечения  $e^+e^-$ -аннигиляции в адроны. Это необходимо, в частности, для уточнения вклада адронной поляризации вакуума в аномальный магнитный момент мюона, а также для поправок к величине постоянной тонкой структуры  $\alpha_{em}(s)$ ;
3. изучение параметров векторных резонансов — радиальных и орбитальных возбуждений  $\rho, \omega, \phi$ -мезонов в области масс  $\sim 1.0 \div 2.0$  ГэВ;
4. нуклонные формфакторы на пороге в процессах  $e^+e^- \rightarrow p\bar{p}, n\bar{n}$ ;
5. двухфотонная физика, в частности, процессы  $e^+e^- \rightarrow e^+e^- + \pi^0, \eta, \eta', 2\pi^0$  и другие.

В настоящее время, кроме ВЭПП-2000, рассматривается похожий по своим физическим задачам проект PEP-N в SLACe. PEP-N — несимметричный коллайдер с энергией пучков  $\sim 1 \times 3$  ГэВ. В случае принятия этого проекта, планируется начать эксперимент уже в 2005 г. PEP-N является конкурентом ВЭПП-2000, так как области энергии обеих машин значительно перекрываются.

## 3 Калориметр

Электромагнитный калориметр [2], являющийся основной частью СНД, рис. 1, состоит из трех слоев сцинтилляционных счетчиков на основе кристаллов NaI(Tl). Толщина калориметра для частиц, летящих из центра детектора, составляет 13.4 радиационных длин. Полное число счетчиков в калориметре — 1632, число кристаллов в слое — от 520 до 560. В качестве фотоприемников используются компактные вакуумные фототриоды

[5] с диаметром фотокатода 17 мм на кристаллах первого и второго слоев калориметра и 42 мм на третьем слое. Средний квантовый выход фототриодов в спектре излучения NaI(Tl) составляет  $\sim 15\%$ , коэффициент усиления  $\sim 10$ . Достигнутое в эксперименте энергетическое и пространственное разрешение калориметра для фотонов в диапазоне энергии от 50 до 700 МэВ описывается зависимостями:  $\sigma_E/E(\%) = 4.2\%/\sqrt[4]{E(\text{ГэВ})}$  и  $\sigma_\varphi = 0.82^\circ/\sqrt{E(\text{ГэВ})} \oplus 0.63^\circ$ .

Калориметр проработал на ВЭПП-2М с декабря 1994 года по июнь 2000 года, показав достаточную надежность и стабильность. Наиболее существенной проблемой была обнаруженная в ходе эксперимента медленная деградация фототриодов наружного слоя калориметра. Явление имело место только при включенном высоком напряжении на фототриодах, причем независимо от режима работы ВЭПП-2М. Скорость уменьшения чувствительности фототриодов составила в среднем около 3% в месяц. Наиболее вероятной причиной этого явления являлась бомбардировка фотокатода ионами остаточного газа. Фототриоды диаметром 17 мм, установленные в первом и втором слоях калориметра, оказались более стабильными при длительной работе, падения их средней чувствительности за весь период проведения экспериментов не наблюдалось.

Для подготовки калориметра к работе на ВЭПП-2000 необходимо заменить все фототриоды третьего слоя и некоторое количество вышедших из строя фототриодов в первом и втором слоях. Всего подлежат замене около 600 приборов. Кроме того рассматривается возможность полной замены фотоприемников второго слоя калориметра на приборы с диаметром 30 мм (около 600 штук), которые могут быть изготовлены в ИЯФ. Такая замена позволила бы приблизительно в два раза увеличить коэффициент светосбора и, таким образом, заметно улучшить соотношение сигнал/шум в калориметре.

## 4 Трековая система

В связи с изменением конструкции места встречи на новом коллаидере будет осуществлена модернизация координатной системы СНД. В центральной части детектора две дрейфовых камеры и цилиндрический сцинтилляционный счетчик будут заменены трековой системой (ТС), состоящей из дрейфовой и пропорциональной камер, и системой идентификации частиц на основе пороговых аэрогелевых черенковских счетчиков (АЧС).



**Основные требования к трековой системе.** Опыт эксплуатации СНД и задачи предстоящих экспериментов на ВЭПП-2000 определяют ряд требований к новой ТС. Поскольку геометрия калориметра СНД не изменяется, ТС и система аэрогелевых черенковских счетчиков, описанная в главе 5, должны быть размещены внутри сферической полости диаметром около 36 см. Диаметр вакуумной камеры – 4 см. С учетом этих размеров ТС должна обладать максимально возможным телесным углом регистрации треков, обеспечивая высокую эффективность регистрации для треков с полярным углом  $\theta \gtrsim 20^\circ$ .

При проведении экспериментов по прецизионному измерению сечений процессов  $e^+e^-$  аннигиляции в адроны необходима высокая точность измерения светимости. В экспериментах СНД светимость определялась по процессу упругого  $e^+e^-$  рассеяния на угол  $\theta \gtrsim 45^\circ$ . Точность этого метода определялась погрешностью измерения полярных углов рассеянных электрона и позитрона. В новой трековой системе необходимо уменьшить влияние погрешности измерения полярного угла при  $\theta \gtrsim 45^\circ$  до уровня вкладов других факторов (радиационная поправка, многократное рассеяние и др.).

Из-за увеличения максимальной энергии в системе центра масс сталкивающихся частиц до 2 ГэВ возрастет средняя множественность в событиях. Среди изучаемых физических процессов значительный вклад составят события с 4-6 заряженными частицами в конечном состоянии. Трековая система должна обладать высокой эффективностью к таким событиям, различать близкие треки.

В силу повышения максимальной светимости и возможного увеличения на порядок инжекционной мощности ВЭПП загрузка ТС заряженными частицами может составить  $\sim 200 \div 300$  кГц. Конструкция и регистрирующая электроника трековой системы должны быть рассчитаны на работу при таких загрузках без значимого количества просчетов.

В дополнении к сказанному, ТС должна обладать высоким разрешением по полярному и азимутальному углам, обеспечивать в широком интервале импульсов разделение пионов и каонов по их ионизационным потерям. Информация с ТС должна использоваться в алгоритмах первичного триггера.

**Конструкция ТС: общее описание.** ТС (рис. 4) выполнена в виде единого газонаполненного объема цилиндрической формы, в котором расположены девятислойная дрейфовая камера с ячейкой струйного типа (JET) и пропорциональная камера (см. рис. 5). Обечайки имеют цилиндрическую форму. Каждая из них состоит из трех слоев фольгированного стеклотекстолита, стеклоленты и используемой для склеи-

вания этих элементов эпоксидной смолы. Внешняя обечайка толщиной  $\sim 3$  мм ( $\approx 2.5\% X_0$ ) является несущей, обеспечивая натяжение всех проволок с общим усилием  $\sim 150$  кг. Толщина внутренней обечайки  $\sim 1$  мм ( $\approx 1.5\% X_0$ ).

Обращенный внутрь газового объема медный слой служит катодом камеры. Он сегментирован на полоски, сигналы с которых используются для измерений координат треков вдоль оси пучков. Второй медный слой служит экраном, третий — для передачи сигналов к предусилителям

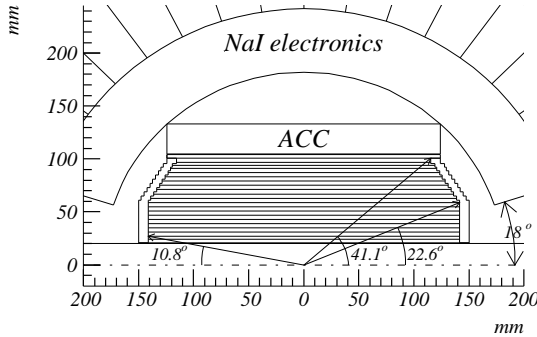


Рис. 4: Проекция центральной части детектора вдоль оси пучков. Показаны расположения трековой системы, аэрогелевого черенковского счетчика, и электроники первого слоя NaI калориметра.

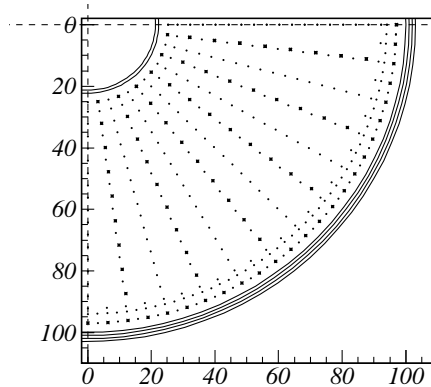


Рис. 5: Схема трековой системы в плоскости, перпендикулярной оси пучков. Крестиками обозначены анодные проволоки, точками – полевые и экранирующие.

на торцах ТС. Внутренний и внешний радиальные габаритные размеры ТС составляют соответственно 20 мм (внешний радиус вакуумной трубы ускорителя в районе детектора СНД) и 103 мм. Продольный (вдоль оси пучков) габаритный размер трековой системы в силу ограниченного пространства меняется с 300 мм на радиусе внутренней обечайки до 260 мм на радиусе внешней обечайки (без учета элементов электроники камер и конструкций для ее крепления). Полный внутренний объем камеры ТС составляет 8 дм<sup>3</sup>.

Фланцы ТС изготовлены из стеклотекстолита и имеют форму усеченного конуса. Средняя толщина фланца составляет 10 мм ( $\approx 5\% X_0$ ). Каждый из фланцев имеет  $1.3 \cdot 10^3$  отверстий диаметром 1.6 мм, в которых размещены медные пины, предназначенные для крепления натянутых между фланцами проволок. На внешних сторонах фланцев расположены высоковольтные делители и емкости, сигнальные разъемы и элементы крепления кабелей.

**Конструкция дрейфовой камеры ТС.** Дрейфовая камера используется для измерения точки вылета, угла трека в азимутальной ( $R - \varphi$ ) плоскости, полярного угла ( $\theta$ ) и ионизационных потерь заряженной частицы. Камера состоит из 24-х дрейфовых ячеек. Азимутальный угловой размер ячейки – 15° (рис. 5). В каждой ячейке вдоль радиального направления расположены 9 анодных сигнальных проволок.

Выбор ячейки струйного типа обусловлен оптимизацией дрейфовой камеры для регистрации преимущественно “центральных” (направленных из места встречи пучков) треков и минимизацией количества каналов электроники в условиях относительно небольших размеров трековой системы. Дополнительным аргументом в пользу выбора дрейфовой ячейки струйного типа является успешный опыт работы дрейфовой камеры с ячейкой данного типа в трековой системе СНД на ВЭПП-2М.

Особенностью дрейфовой камеры с ячейкой струйного типа, используемой без магнитного поля, является наличие так называемой “лево-правой” неоднозначности при восстановлении траектории заряженной частицы. Для разрешения такой неопределенности анодные проволоки в нечетных и четных слоях, как и в трековой системе СНД, смещены в азимутальном направлении на  $\pm 300$  мкм от оси ячейки.

Радиальный размер первого (ближайшего к оси пучков) слоя дрейфовой ячейки составляет 6 мм, остальных слоев – 8 мм. Радиальная координата анодных проволок ячеек первого слоя равна 24 мм, девятого слоя – 87 мм. Максимальная длина азимутального дрейфа ионизации меняется от 3 мм в первом слое до 11 мм в девятом слое. В качестве анодных проволок используется проволока из позолоченного вольфрама диаметром

15 мкм, натянутая с усилием 40 г. Полевые и экранирующие титановые проволоки диаметром 100 мкм натянуты с усилием 150 г.

**Конструкция пропорциональной камеры и обечаек.** Вдоль внешней обечайки камеры (рис. 5) располагается пропорциональная камера, используемая для измерения  $z$ -координаты треков заряженных частиц. Катодные проволоки натянуты вдоль оси цилиндра на радиусе 94 мм с шагом 3 мм. На радиусе 97 мм – полевые проволоки. В качестве второго, сигнального катода используется сегментированная на полосы внутренняя поверхность обечайки. Размер каждой из полосок – 6 мм (вдоль оси  $z$ )  $\times$  157 мм, что соответствует сегментации по азимутальному углу  $90^\circ$ , количество полосок на обечайке – 152. Сигналы с каждой из полосок при помощи специальной структуры проводников передаются по внешней поверхности обечайки к торцам камеры.

Между пропорциональной камерой и внешним слоем дрейфовой камеры на радиусе 91 мм натянут экранирующий слой проволоки. С учетом этого слоя полное количество полевых и экранирующих проволок в пропорциональной камере составляет 480, анодных – 96.

Центральная часть находящейся внутри камеры поверхности внутренней обечайки также выполнена в виде полосок размером 6 мм (вдоль оси  $z$ )  $\times$  33 мм (также с сегментацией по азимутальному углу  $90^\circ$ ). Полное количество полосок на внутренней обечайке – 128. Суммарное количество сигнальных полосок в ТС – 280.

**Основные характеристики ТС.** Для восстановления параметров трека в  $R - \varphi$ -проекции производятся измерения координат трека в направлении, перпендикулярном оси ячейки (вдоль направления дрейфа ионизации). Координата определяется по времени дрейфа ионизации в ячейке, которое измеряется относительно фазы обращения пучков в накопителе.

Координатное разрешение в дрейфовой ячейке определяется флуктуациями ионизационных потерь для треков, проходящих вблизи анодной проволоки, диффузией ионизации, существенной при больших длинах дрейфа. Другие факторы, влияющие на координатное разрешение, – краевые эффекты, временное разрешение электроники, точность и стабильность калибровочных коэффициентов, поглощение ионизации в газовой смеси. Малая, около 1 см, длина поглощения в дрейфовых камерах трековой системы СНД ограничивала разрешение в ячейке на уровне  $\sigma_x \gtrsim 200 \div 250$  мкм. В новой ТС предполагается подавить влияние этого фактора за счет повышения герметичности камеры и улучшения качества рабочей газовой смеси. С учетом перечисленного ожидаемое среднее разрешение по ячейке составляет  $\sigma_x \sim 150$  мкм. Моделирование показа-

ло, что точность измерения азимутального угла и вершины трека для частиц с полярным углом  $\theta \geq 40^\circ$  должна вдвое превосходить разрешенные ДДК СНД [1, 2].

Для измерения координаты вдоль проволоки используются метод деления заряда в сигнальных анодных проволоках. Амплитуды сигналов с двух сторон проволоки измеряются 10-ти разрядными АЦП с тактовой частотой 40 МГц. При тестовых измерениях с цилиндрическим пропорциональным счетчиком длиной  $l = 400$  мм и сопротивлением анодной проволоки  $\sim 400$  Ом была достигнута точность определения координаты  $\sigma_z/l \lesssim 0.5\%$ , что соответствует  $\sigma_z \sim 1 \div 1.5$  мм для дрейфовой камеры ТС.

Для дополнительных измерений координаты  $z$  используется метод центра тяжести заряда, наведенного на сигнальных полосках обечаек. Координатное разрешение метода оценивалось при помощи моделирования и в зависимости от полярного угла трека составило  $0.3 \div 0.6$  мм.

Кроме координат треков в ТС измеряются ионизационные потери частиц. Информация об ионизационных потерях позволяет производить разделение пионов и каонов при малых импульсах  $p/mc \lesssim 1$ . Согласно известной формуле Бете-Блоха ионизационные потери в этом диапазоне импульсов сильно зависят от скорости:  $-dE/dx \sim 1/\beta^2$ . Оценка зависимости степени  $\pi/K$ -разделения от импульса мезона, сделанная согласно работы [8], приведена на рис. 7. Надежное, на уровне 3 стандартных отклонений  $\pi/K$ -разделение по ионизационным потерям возможно в диапазоне импульсов  $p \lesssim 300$  МэВ/с. Пионы с большим импульсом с высокой эффективностью вызывают срабатывание системы АЧС.

**Газовая система ТС.** Как и в дрейфовых камерах СНД, в новой трековой системе в качестве рабочего газа будет использоваться смесь  $Ar/10\%CO_2$  при нормальных условиях в режиме непрерывной продувки со скоростью  $\lesssim 1$  см<sup>3</sup>с<sup>-1</sup>, или  $\sim 10$  объемов в сутки. При этом средний расход аргона составит около одного баллона в месяц.

Газовая смесь создается путем смешивания потоков аргона и углекислого газа. Для регулировки и контроля величин потоков каждого из газов используются электронные контроллеры потока фирмы Bronkhorst.

На основе опыта эксплуатации дрейфовых камер СНД предполагается создание системы оперативного контроля коэффициента газового усиления и длины поглощения ионизации. Для этого будут использоваться данные, полученные по событиям  $e^+e^-$ -рассеяния в ТС, и данные измерений усиления в двух тестовых дрейфовых камерах, включенных в газовый тракт перед и после основного объема. Стабилизация режима работы ТС будет осуществляться корректировкой высоковольтного

напряжения в камере и регулировкой потоков компонент газов при изготовлении рабочей смеси.

## 5 Система аэрогелевых черенковских счетчиков

Система аэрогелевых черенковских счетчиков (АЧС) детектора СНД предназначена для  $\pi/K$  разделения в области энергии до 2 ГэВ. Необходимость системы АЧС обусловлена тем, что область надежной идентификации методом  $dE/dx$  в дрейфовой камере ограничена импульсами до 300 МэВ/с, тогда как максимальный импульс  $K$ -мезонов при энергии 2 ГэВ в с.ц.м равен примерно 870 МэВ/с.

Основным параметром АЧС является показатель преломления аэрогеля. Его выбор определяется следующими требованиями: с одной стороны, система АЧС должна обеспечить надежное  $\pi/K$  разделение в области энергии до 2 ГэВ, с другой стороны, ее область идентификации должна перекрываться с областью идентификации по  $dE/dx$ . Исходя из этих требований, был выбран показатель преломления равный  $n = 1.13$ . На рис. 6 показаны зависимости порогового импульса  $\pi$ - и  $K$ -мезонов от показателя преломления аэрогеля. Там же приведен график для импульса  $\pi$ -мезона, при котором интенсивность черенковского излучения составляет половину от максимальной. Вертикальной линией показан максимальный импульс  $K$ -мезона при энергии 2 ГэВ в с.ц.м. Горизонтальной линией показано выбранное значение показателя преломления аэрогеля.

Пороговые импульсы  $e$ ,  $\mu$ ,  $\pi$ ,  $K$  для показателя преломления аэрогеля  $n = 1.13$  представлены в таблице 2.

Таблица 2: Пороговые импульсы  $e$ ,  $\mu$ ,  $\pi$ ,  $K$  для аэрогеля с  $n = 1.13$

частица	$P_{thr}$ , МэВ/с
$e$	0.971
$\mu$	186
$\pi$	246
$K$	938

На рис. 7 показаны области  $\pi/K$  разделения для ДК по  $dE/dx$  (до  $\sim 350$  МэВ/с) и системы АЧС (от  $\sim 300$  до  $\sim 950$  МэВ/с). Хорошо видно, что система черенковских счетчиков с показателем преломления аэрогеля  $n = 1.13$  удовлетворяет описанным выше требованиям. Хотя аэрогели

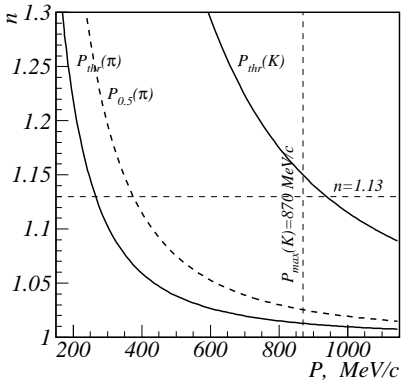


Рис. 6: Сплошные линии – пороговый импульс для  $\pi$ - и  $K$ -мезонов, пунктир – импульс  $\pi$ -мезона для случая, когда интенсивность черенковского излучения равняется половине от максимальной.

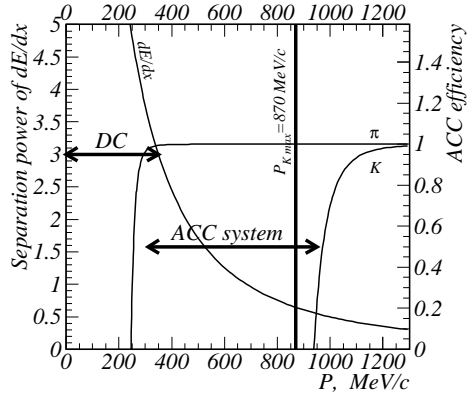


Рис. 7: Области  $\pi/K$  идентификации для ДК по  $dE/dx$  и системы АЧС

с показателем преломления превышающим  $n = 1.13$  также удовлетворяют этим требованиям, их изготовление сопряжено с большими трудностями.

Система АЧС располагается вокруг трековой системы (рис. 4) и состоит из 9 одинаковых счетчиков толщиной 28 мм, образующих цилиндр с телесным углом около 60% от  $4\pi$ .

На рис. 8 показан вид сверху одного счетчика и его поперечное сечение. Счетчик имеет форму сектора полого цилиндра с углом  $\Delta\varphi = 40^\circ$ , внутренним радиусом 105 мм, толщиной 28 мм и длиной 248 мм. Аэрогелевый радиатор счетчика обернут отражателем из трех слоев пленки ПТФЭ толщиной 0.22 мм и упакован в стеклотекстолитовый корпус с толщиной стенок 1 мм. Светосбор осуществляется с помощью спектросмещающей пластины из полиметилметакрилата с добавлением ВВQ, расположенной со сдвигом относительно центра счетчика на угол  $\sim 5^\circ$  (рис. 8). Размеры пластины —  $220 \times 3 \times 17.5 \text{ мм}^3$ . Свет из спектросместителя регистрируется ФЭУ с МКП [9] с диаметром фотокатода 18 мм.

Довольно низкая грануляция системы АЧС на самом деле вполне достаточна для малой множественности заряженных частиц в событиях

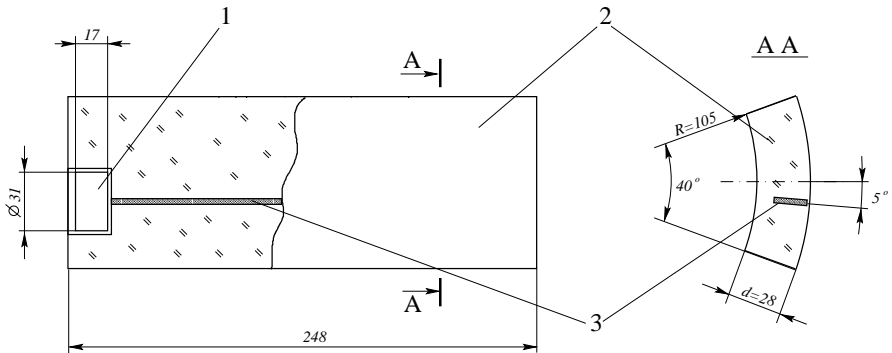


Рис. 8: Аэрогелевый счетчик детектора СНД. Вид сверху и сечение. 1 – ФЭУ с МКП, 2 – аэрогель, 3 – спектросместитель

при  $2E_0 < 2 \text{ ГэВ}$ . Выбор нечетного числа счетчиков и сдвиг спектросместителя относительно оси счетчика позволяет избежать одновременного попадания частиц в "мертвые" зоны счетчиков в коллинеарных событиях  $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$ ,  $\mu^+\mu^-$ ,  $\pi^+\pi^-$ ,  $K^+K^-$ . Предварительные оценки и опыт использования аналогичных счетчиков на детекторе КЕДР [10, 11] показывают, что при выбранной толщине счетчика  $\sim 28$  мм величина сигнала от мюонов с минимальной ионизацией составит  $\sim 10$  фотоэлектронов, что обеспечит надежное  $\pi/K$  разделение.

Появление дополнительного вещества перед калориметром может привести к ухудшению его энергетического разрешения. Для уменьшения этого нежелательного эффекта необходимо по возможности минимизировать толщину АЧС. Толщины материалов вдоль трека частицы для предлагаемой конструкции АЧС представлены в таблице 3 (угол  $90^\circ$ , без учета вклада от ФЭУ).

Таблица 3: Толщина материала в системе АЧС

материал	$X_0$ , см	$\%X_0$
аэрогель ( $n = 1.13$ )	44.0	5.5
ПТФЭ	16.4	1.0
стеклотекстолит	19.4	1.3
спектросместитель	34.4	0.2
Сумма		8.0



## 6 Система регистрации рассеянных электронов

В рамках модернизации детектора исследуется возможность дополнения детектора СНД системой регистрации рассеянных электронов (СРРЭ).

Среди задач, представляющих интерес для изучения в данном интервале энергий, можно выделить следующие:

- Измерение двухфотонных ширин С-четных резонансов. Для интегральной светимости ВЭПП-2000 на энергии  $E_0 = 990$  МэВ, равной  $0.3 \cdot 10^{39} \text{ см}^{-2}$  (один год работы комплекса, при средней светимости, равной 30 % от максимальной величины) количество рожденных резонансов следующее:  $\pi^0 - 1.5 \cdot 10^5$ ,  $\eta - 0.5 \cdot 10^5$ ,  $\eta' - 0.36 \cdot 10^5$ ,  $f_0 - 3.8 \cdot 10^3$ ,  $a_0 - 1.7 \cdot 10^3$ .
- Изучение сечений двухфотонных процессов с образованием в конечном состоянии  $\pi^+\pi^-$ ,  $\pi^0\pi^0$ ,  $\eta\pi^0$ ,  $\rho\rho$ , измерение сечения процесса  $\gamma\gamma \rightarrow$  адроны.

Использование СРРЭ позволит эффективно отделить двухфотонные события от событий однофотонной аннигиляции и пучкового фона, восстановить кинематику событий.

После введения СРРЭ, как одной из подсистем детектора СНД станет возможным изучать двухфотонное рождение большого количества конечных состояний. В качестве иллюстрации на рис. 10 приведена зависимость "двухфотонной светимости" от величины инвариантной массы  $\gamma\gamma$ -системы, а на рис. 11 — сечения процессов с рождением  $\pi^0\pi^0$  и  $\rho^0\rho^0$  в конечном состоянии.

Детекторы СРРЭ на основе микроструктурных газовых детекторов (МГД) с размерами рабочей области  $\approx 3.5 \cdot 15 \text{ см}^2$  предполагается разместить внутри поворотных (дипольных) магнитов накопителя (рис. 9). С каждой стороны будет расположено по 3 таких детектора. Расчетная эффективность регистрации, например, для событий с рождением псевдоскалярных резонансов  $\pi^0$ ,  $\eta$ ,  $\eta'$  составляет  $5 \div 15\%$  и  $20 \div 40\%$  для режима с регистрацией двух и одного рассеянного электрона, соответственно. Для координатного разрешения этих детекторов 0.5 мм можно получить точность восстановления энергии рассеянной частицы около 5 МэВ.

В первом варианте вакуумной системы ускорительного комплекса ВЭПП-2000 не предусмотрена возможность размещения детекторов СРРЭ, однако при незначительной модификации вакуумных камер внутри дипольного магнита станет возможным дополнить детектор СНД системой регистрации рассеянных электронов.

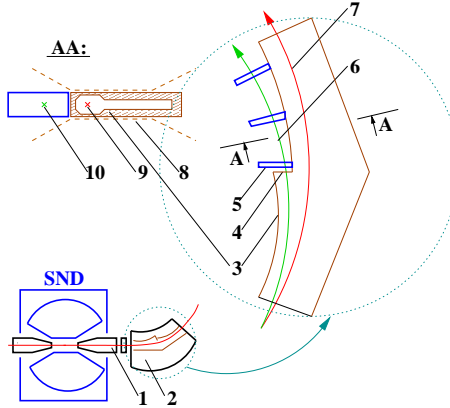


Рис. 9: Схема расположения и устройства СРРЭ для детектора СНД на ВЭПП-2000. Обозначения: 1 - линза, 2 - дипольный магнит, 3 - вакуумная камера, 4 - “окно” для рассеянных  $e^-$ , 5 - МГД на основе GEM, 6 - траектория рассеянного  $e^-$ , 7 - траектория  $e^-$  на равновесной орбите, 8 - полюс дипольного магнита, 9 - положение равновесной орбиты, 10 - положение орбиты рассеянного электрона.

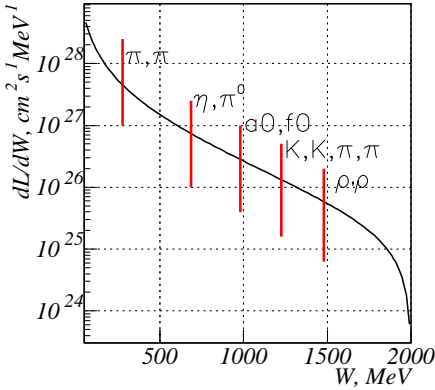


Рис. 10: Спектр инвариантных масс ( $dL/dW_{\gamma\gamma}$ ) двухфотонных процессов при энергии в с.ц.м.  $2E_0 = 2\text{ГэВ}$ . Показаны пороги рождения некоторых конечных состояний.

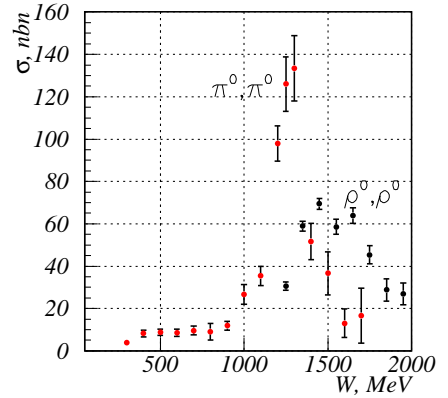


Рис. 11: Пример зависимости сечений некоторых процессов от инвариантной массы  $\gamma\gamma$  системы в области доступных на ВЭПП-2000 энергий.

Измерения с использованием СРРЭ будут возможны только в том случае, если фоновая загрузка не будет превышать загрузочной способности МГД ( $\sim 10$  МГц). Наши оценки показывают, что полная загрузка всех МГД от рассеянных электронов от процессов: однократного тормозного излучения, двухкратного тормозного излучения, упругого и неупругого рассеяния на атомах остаточного газа не будет превышать 1 МГц. При этом мы изучаем возможность существенного подавления фоновой загрузки, введением т.н. "мертвых зон" в чувствительной области детекторов СРРЭ.

## 7 Электроника детектора

Электроника детектора СНД базируется на стандарте КЛЮКВА, разработанном в ИЯФ [18]. Планируемая модернизация проводится в рамках этого стандарта и представляет собой дальнейшее его развитие на новой элементной базе. Она преследует три основные цели: улучшение загрузочной способности информационных плат, повышение их надежности, увеличение скорости считывания информации из электроники в компьютер.

Самые значительные изменения планируются в электронике дрейфовой камеры. Эта система детектора находится в наихудших фоновых условиях. Во время экспериментов на ВЭПП-2М средняя загрузка внутренней дрейфовой камеры составляла около 100 кГц, а в пике достигала 200 кГц. При максимальной загрузке в среднем фоновом событии срабатывало 20 из 100 чувствительных проволочек, так что загрузка на одну проволочку достигала 50 кГц. Существующие информационные платы Т2А [19] не были рассчитаны на такую загрузку. Во временном канале выход был найден в использовании дополнительного измерителя времени, что позволило уменьшить мертвое время до 300 нс.

В амплитудных каналах, используемых для измерения  $z$ -координаты по зарядовому делению, проблему решить не удалось, и при максимальной загрузке информация о  $z$ -координате портилась в 15% событий.

В новом варианте платы Т2А измерение амплитуды предполагается проводить с помощью 10 разрядного FADC с тактовой частотой 40 МГц, результаты измерений за 1 мкс (40 тактов) будут запоминаться и считываться по сигналу первичного триггера. Измеритель времени дрейфа на два хита и цифровую часть платы предполагается реализовать на ПЛИС ( программируемых логических интегральных схемах ) фирмы ALTERA. Как и ранее одна плата будет обслуживать четыре проволоч-

ки. Измерение  $z$ -координаты с помощью FADC проверялось на стенде, состоящем из цилиндрического пропорционального счетчика с длиной проволоки 400 мм, освещаемой  $\gamma$ -источником  $\text{Fe}^{55}$  и КАМАК прототипа платы Т2А. Полученное разрешение по  $z$ -координате составило 0.4% от длины проволоки, что является удовлетворительным. В настоящее время разрабатывается прототип платы в стандарте КЛЮКВА.

В дрейфовой камере СНД используется также второй, более точный метод измерения  $z$ -координаты по распределению заряда, наведенного на катоде камеры. В старой системе сигналы с катодных полосок поступали на зарядочувствительные усилители, затем на формирователи. Сформированный сигнал длительностью около 1 мкс оцифровывался с помощью плат А24 [20]. В новом варианте камеры предполагается использовать относительно короткое время формирования сигнала  $200 \div 300$  нс. Амплитуды с полосок будут измеряться с помощью 10-разрядных FADC с тактовой частотой 40 МГц. Подобная электроника успешно используется в однокоординатных ренгеновских детекторах, производимых в ИЯФ [21]. Информационная плата для полосок (FADC16) будет обслуживать 16 каналов. Как и в проволочных каналах предполагается считывать результаты измерений, накопленные в течение 1 мкс до прихода сигнала первичного триггера. Кроме изготовления информационных плат потребуется переделка блоков формирователей сигналов. Тестирование новой электроники катодных полосок будет проведено на изготавливаемом в настоящее время прототипе камеры.

В новой электронике дрейфовой камеры существенно увеличивается количество информации, содержащейся в платах. Стандартная система считывания из КЛЮКВЫ [22] через КАМАК не может обеспечить работу с новыми платами как из-за отсутствия соответствующего набора команд, так и из-за невозможности получения требуемой скорости считывания событий, 1 кГц со средней длиной события около 3 кБайт. В настоящее время разрабатывается новый процессор ввода-вывода (ПВВ), позволяющий существенно расширить возможности стандарта КЛЮКВА. В новом подходе значительная часть интеллекта переносится из ПВВ в информационные платы. В них предполагается проводить сжатие информации за счет подавления несработавших каналов. Для задания режима упаковки данных и занесения пьедесталов в информационные платы в ПВВ кроме функций чтения, добавляются функции записи в информационные платы. Обмен данными ПВВ с компьютером будет осуществляться через локальную сеть Ethernet. Основные режимы обмена данными ПВВ с компьютером — прием данных, выдача данных по запросу, непрерывная (асинхронная) выдача данных.

В старой системе сбора данных [1] предельная скорость считывания событий составляла около 100 Гц и определялась производительностью используемых компьютеров. При использовании Ethernet основным фактором, влияющим на время считывания, является мертвое время КЛЮКВЫ, равное сумме времен оцифровки сигналов и считывания информации из плат. В старой системе самыми “медленными” являлись платы А24 (оцифровка  $\sim 80$  мкс и считывание  $\sim 70$  мкс). При планируемой скорости запусков 1 кГц использование этих плат приводило бы к просчетам 15 %. В настоящее время разработан новый вариант этой платы с временем оцифровки 24 мкс. С использованием новых ПВВ можно существенно сократить и время считывания, так как вычитание пьедесталов и, следовательно, сжатие информации можно проводить в платах А24.

Таблица 4: Количество каналов электроники по подсистемам детектора СНД, ожидаемое число сработавших каналов, количество информации, считываемое из подсистем, суммарные времена оцифровки и считывания информационных плат.

подсистема	всего каналов	сработавших каналов	длина, байт	время оцифровки и считывания, мкс
проволочки	216	30	1440	18
полоски	280	30	780	30
калориметр	1640	40	160	30
другие	170	10	200	20
всего			$\sim 2600$	30

Расчетные мертвые времена для различных подсистем детектора приведены в таблице 4. Там же приводятся данные об ожидаемой длине события. При расчете длины события считалось, что считываются только сработавшие каналы. Для канала платы Т2А информационная запись состоит из адреса, количества слов данных и собственно данных, содержащих 15 измерений амплитуды с каждой стороны проволочки и 2 измерения времени, грубое и точное. Для определения сработавших каналов ПВВ использует информацию о количестве данных. Информационная запись от сработавшего канала FADC16 состоит из адреса, длины, 15 измерений амплитуды и времени. Десятиразрядные слова из амплитудных каналов упаковываются по 3 слова в 4 байта. Новый вариант платы А24 будет содержать два субадреса, обслуживающих по 12 каналов. По каждому субадресу читается битовая маска для каналов, в которых амплитуда превысила пьедестал, а далее собственно амплитудные коды

этих каналов. При пустой битовой маске информация не читается. При расчете длины информационной записи от калориметра предполагалось, что 40 сработавших каналов находятся по 20 субадресам. Расчет времени считывания проводился в предположении, что платы Т2А рассредоточены в 6 крейтах КЛЮКВА, платы FADC16 - в трех, платы А24 - в пяти. Электроника аэрогелевых и сцинтилляционных счетчиков, стримерных трубок, обслуживаемая платами ТП, а также платы ДА-НЕТ будут находиться еще в двух крейтах. При чтении плат Т2А, FADC16 и А24 на опрос пустого субадреса предполагается затрачивать 200 нс, т.е два цикла магистрали КЛЮКВА, для сработавших каналов данные будут считываться со скоростью 2 байта за 100 нс. Мертвое время всей системы сбора данных определяется самой медленной подсистемой и составляет около 30 мкс.

В таблице 5 приведено количество различных плат в конструктиве КЛЮКВА, которые планируется произвести в процессе модернизации электроники.

Таблица 5: Наименование и количество плат, которые предполагается произвести в процессе модернизации электроники СНД.

ПВВ	Т2А	FADC16	А24	ТП	ИПТ ДС, проволочки	ИПТ калориметра	ИПТ ДС, полоски
18	60	20	80	12	8	12	4

Поскольку существующие платы ТП обладают низкой надежностью и физически изношены, их также предполагается заменить. Переход на новую элементную базу позволит по крайней мере в 3 раза понизить мощность, потребляемую электроникой, что существенно упростит систему питания и охлаждения крейтов КЛЮКВА и повысит общую надежность электроники. Повышению надежности послужит и переход на более низкую тактовую частоту 40 МГц вместо 250 МГц, используемых ранее в информационных платах.

Изменения в конструкции дрейфовой камеры повлекут за собой изменения в электронике первичного триггера (ПТ)[23]. Предстоит разработать новые платы интерфейсов ПТ, новую логику выработки аргументов ПТ от камеры. Здесь мы предполагаем использовать концепции и алгоритмы, опробованные в системе первичного триггера в экспериментах на ВЭПП-2М[24]. Замена интерфейсов первичного триггера калориметра связана в основном с их физической изношенностью. Применение быстрой формировки для катодных полосок позволяет дополнить аргумен-

ты ПТ информацией с этой системы. Предполагается создать два дополнительных аргумента, ИЛИ полосок с внешнего и внутреннего катодов, которые можно будет использовать для ограничения телесного угла для заряженных частиц. Количество полосок, включаемых в ИЛИ, можно будет варьировать. Это потребует разработки плат ИПТ для крейтов с платами FADC16 и специального модуля для выработки этих аргументов.

Следует отметить, что планируемая модернизация коснется, в основном, электроники, расположенной в спецкрейтах КЛЮКВА. Предусилители, большая часть кабелей и формирующей электроники останется без изменений. Не возрастет также общее количество крейтов КЛЮКВА и КАМАК, используемых в системе сбора данных. В данную главу не включено описание электроники системы регистрации рассеянных электронов, поскольку ввод этой системы в эксплуатацию не планируется к началу экспериментов на ВЭПП-2000, и вопрос о ее интеграции в систему сбора данных детектора еще детально не рассматривался.

## 8 Система сбора данных

В новом эксперименте ожидается увеличение светимости в  $10 \div 100$  раз. Старая система сбора данных обеспечивала скорость считывание событий до 100 Гц при 5% потерях. Одной из целей новой системы является увеличение скорости считывания до 1 кГц при сравнимых потерях. Это позволит упростить отбор в первичном триггере и, тем самым, повысить его эффективность. Записывать все считанные данные на устройства длительного хранения не имеет смысла, так как полезные события составят, учитывая сечения физических процессов, максимум 30 Гц. Поэтому предполагается, что перед записью события будут пропускаться через программный третичный триггер, а затем упаковываться в формат, приемлемый для дальнейшей обработки. Исходя из опыта работы предыдущего эксперимента выходную частоту записи событий можно ограничить на уровне 100 Гц.

В связи с изменением электроники средний размер события увеличивается с 1 кБайт до 3 кБайт. После упаковки и извлечения информации размер события составит 1 кБайт. Таким образом, от системы сбора данных требуется обработка входного потока в 3 МБайт/с, извлечение и упаковка результатов измерений поддетекторов и сохранение 100 кБайт/с. Как уже упоминалось в разделе 7, события из КЛЮКВЫ будут вычитываться через локальную сеть Ethernet.

Окончательная запись данных (т.е. упаковка+третичный триггер+частичная реконструкция) может занимать достаточно много времени, масштаб которого не вполне ясен. Естественным представляется решение разделить чтение и упаковку/отбор событий на отдельные процессы и, возможно, на отдельные компьютеры, что позволит, при правильной разработке программного обеспечения, линейно масштабировать скорость упаковки/отбора простым добавлением компьютеров. Это также повысит устойчивость системы к сбоям, так как разделит её на две относительно независимые части. События предполагается передавать через достаточно большие буфера на разделяемых дисках. Общая схема системы представлена на рис. 12.

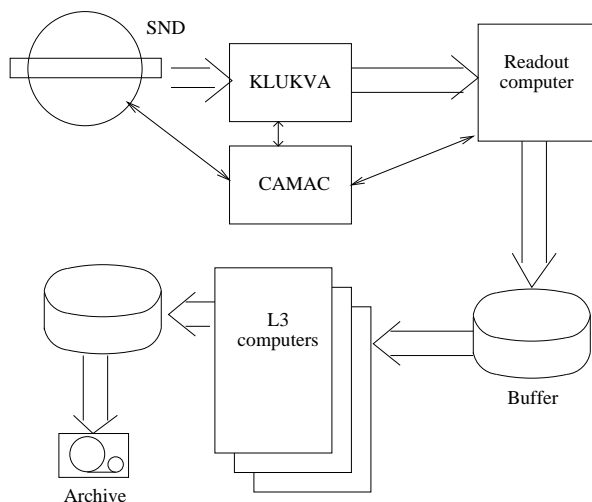


Рис. 12: Система ONLINE.

На компьютере, помеченном на схеме как Readout, сосредоточены все процессы, работающие с электроникой, а именно — чтение сырых событий из КЛЮКВЫ и запись в буфер, чтение состояния системы (загрузок, информации с ВЭПП-2000, напряжение на источниках и т. д.), управление аппаратурой (загрузка триггера, управление напряжением и т. д.), электронные калибровки.

На компьютерах, помеченных как L3, работают задачи, которые не требуют непосредственного доступа к аппаратуре, но могут потреблять значительное процессорное время. Это, прежде всего, третичный триггер, который считывает события из буфера, проводит частичную рекон-



струкцию, отбирает и делит события и упаковывает в удобный для обработки формат.

Далее события записываются в два потока — физический и калибровочный. Физический поток сохраняется в архиве для дальнейшей обработки. Калибровочный передается процессам калибровки и медленного контроля детектора, а после использования удаляется.

Для синхронизации работы процессов системы (сервер ресурсов, информационный менеджер), доступа к данным (калибровки детектора, параметры захода) и обмена данными (раздатчик сырых событий) предполагается использовать распределённые сервисы. Большая часть этих сервисов уже реализована.

Предполагается использовать компьютеры архитектуры i586 (PC) со свободно распространяемой операционной системой Linux. Для разделения диска с буфером могут быть использованы сетевые протоколы либо параллельный SCSI. При достаточно грубой оценке сверху 4 мс/событие (которая может быть получена из времени реконструкции для прошедшего эксперимента на 500 МГц процессоре) потребуется 5 компьютеров такого типа.

На текущий момент уже проверен вариант буферизации на разделяемом SCSI-диске, и получен приемлимый результат скорости/записи для двух компьютеров (6 МБайт/с - запись, 10 МБайт/с - суммарная скорость чтения для пяти процессов).

## 9 Хранение данных

Оценки, приведенные далее, исходят из продолжительности эксперимента в 5 лет, частоты записи событий 100 Гц, объема события 1 кБайт, сложности первичного триггера и управляющей электроники сопоставимой с той, которая использовалась в эксперименте 1995-2000 гг.

Данные, необходимые для проведения и обработки эксперимента можно условно разделить на следующие типы:

1. Описания условий запуска заходов – параметризация заходов, описания первичного триггера, другая информация, необходимая для *запуска* захода. Общий объем несколько МБайт, доступ по типу и имени.
2. Сырые события – пишутся процессом Readout во временный буфер. Скорость до 2.5 МБайт/с, теряются сразу после чтения третичным триггером. Общий объем буфера  $40 \div 80$  ГБайт.
3. Упакованные калибровочные события — пишутся третичным триггером, используются для калибровок и медленного контроля. Со-

держат, в основном, события  $e^+e^-$  и  $\gamma\gamma$ , частично реконструированные. Примерно 300 кБайт/с, сразу после использования удаляются. Максимальный объем на диске  $5 \div 10$  ГБайт.

4. Упакованные физические события – пишутся третичным триггером. Содержат события, отобранные для последующей полной реконструкции и обработки, возможно, частично реконструированные. Скорость записи около 100 кБайт/с. Общий объем за время эксперимента (включая резервное копирование)  $3 \div 4$  ТБайт. Максимальный объем на диске во время записи и во время реконструкции  $5 \div 10$  ГБайт.
5. Полностью реконструированные физические события – пишутся при реконструкции. Содержат полностью реконструированные события, дополнительно отобранные. Общий объем за время эксперимента  $1 \div 2$  ТБайт.
6. Общая информация о заходе – для каждого захода информация об условиях запуска, средних загрузках, светимости и другая информация необходимая для обработки. Быстрый доступ по номеру захода. Объем порядка  $300 \div 500$  МБайт.
7. Текущее состояние системы
  - (а) Мгновенное состояние – информация с ВЭПП-2000, текущие счетчики загрузок и другое. Быстрый доступ по имени и типу. Объем до 1 МБайт. Хранить необязательно (но см. след. пункты).
  - (б) История состояния захода – каждые 15 секунд пишется подмножество (а), необходимое для обработки (загрузки аргументов триггера, информация с ВЭПП-2000 и т. д.). Общий объем за время эксперимента  $10 \div 20$  ГБайт.
  - (с) История состояний электроники – каждый 1 час пишется подмножество (а), необходимое для последующего разбирательства с возможными проблемами (напряжения, температуры и т. д.). Общий объем за время эксперимента  $100 \div 200$  МБайт.
8. Журнал оператора – все сообщения, полученные/записанные оператором. Общий объем за время эксперимента  $100 \div 200$  МБайт.
9. Калибровки – массивы, полученные при калибровке электроники и калибровке по событиям. Периодичность примерно 2 массива в день на подсистему. Индексируются интервалом номеров заходов, для которых применима данная калибровка. Быстрый доступ по номеру захода. Общий объем за время эксперимента  $100 \div 200$  МБайт.
10. Моделированные события. Общий объем несколько десятков ГБайт.

Таким образом, за время эксперимента ожидается до 6 ТБайт данных с последовательным доступом (4,5,7b,7c,8,10) и первичным методом хранения на лентах (или другом носителе с низким отношением цена/объем) и до 1 ГБайт данных с быстрым индексированным доступом (база данных) и периодическим сохранением на ленты (1,6,9).

Для временного хранения событий во время набора и реконструкции необходимо дисковое пространство в несколько десятков ГБайт. Последующая обработка будет существенно ускорена, если все реконструированные и моделированные события будут постоянно доступны (несколько сотен ГБайт).

Для хранения данных на лентах предполагается использовать специальный сервис (архив), который предоставляет доступ к файлам по именам независимо от положения на ленте, быстрый доступ к информации о файлах, автоматическое распределение лент, автоматическое резервное копирование.

Делать выводы об аппаратной базе для хранения долговременных данных представляется сейчас преждевременным из-за большой динамики в ее развитии. Сейчас оптимальными по таким параметрам, как цена носителя, надежность, скорость записи представляются устройства хранения на магнитных лентах с линейной записью (DLT, LTO) – объем до 100 ГБайт/ленту, скорость записи до 10 МБайт/с.

## 10 Обработка данных

Программное обеспечение эксперимента СНД разрабатывалось, начиная с 1987 года. Оно включает в себя базовые пакеты программ GIST [12], СОСНА [13], UNIMOD2 [14], ART [15], FIT [16], разработанные для СНД, пакеты программ ЦЕРН и другое матобеспечение. Базовым языком программирования был FORTRAN. При разработке использовались элементы объектно ориентированного подхода. Программное обеспечение позволило провести цикл экспериментов СНД на ВЭПП-2М с интегральной светимостью  $30 \text{ пб}^{-1}$ . В ходе эксплуатации математического обеспечения выявился и ряд его недостатков и неудобств, которые, впрочем, не препятствовали получению физических результатов, но могут быть устранены при разработке программного обеспечения для экспериментов СНД на ВЭПП-2000. Для этого запланировано осуществить разработку нового программного обеспечения, основанного на языке программирования C++. Предполагается использование современных методов и технологий программирования, с обязательным учетом всего опыта, накопленного в предыдущем эксперименте. Аргументы в пользу такого решения сле-

дующие:

- Обработка данных в физическом эксперименте обычно разбивается на несколько последовательных этапов, таких как третичный триггер, частичная или полная реконструкция, моделирование и анализ. Для программ обработки характерно участие большого числа сложных физических алгоритмов. В условиях совместной разработки и использования программных средств такого рода существенным становится вопрос об организации совместной работы алгоритмов, написанных разными разработчиками, возможностях поддержки и развития существующих алгоритмов, взаимозаменяемости компонентов программ. Традиционные методы построения программных систем, основанные на процедурном проектировании и языке Фортран, не соответствуют уровню сложности современных задач, что проявляется, в частности, в массовом переходе к объектно-ориентированному программированию и языку C++ при разработке программного обеспечения для приложений в физике высоких энергий.
- Переход на C++ позволяет использовать самое современное математическое обеспечение, разработанное в ведущих мировых научных центрах.
- Физическая программа ВЭПП-2000 требует существенно более высокого качества моделирования эксперимента, что может быть обеспечено использованием пакета программ Geant4 [17].
- Программное обеспечение для системы сбора данных и система калибровок детектора разрабатывается на C++. Для совместимости математического обеспечения удобно использовать аналогичную технологию.

В основном последовательность обработки данных будет повторять существующую систему, в которой обработка событий проводилась в следующей последовательности:

1. частичная реконструкция программой третичного триггера с отбраковкой событий и выделением событий, используемых в программах калибровки и вычисления светимости,
2. полная реконструкция событий, прошедших третичный триггер, с восстановлением частиц и разделением событий по классам,
3. анализ реконструированных событий, конечный отбор событий, с привлечением интерактивных средств,
4. оценка параметров изучаемых процессов на основе отобранного количества событий, эффективности отбора и физических моделей.

Для оценки эффективности отбора используется также полное и геометрическое моделирование. Полное моделирование обеспечивает получение отклика систем детектора для заданных начальных частиц. События моделирования также проходят полную реконструкцию и анализ с условиями идентичными физическим событиям.

Основной частью системы обработки данных будет являться “Схема управления модулями обработки” (СУМО), задачей которой является организация последовательности алгоритмов, порядка вычислений и взаимодействия между алгоритмами. Единицей управления в системе является модуль, содержащий один или несколько физических алгоритмов. Модули в системе являются слабо связанными, зависимость между модулями определяется только данными, которыми модули обмениваются. Поскольку модули практически не связаны друг с другом, система обладает большой гибкостью, позволяющей менять конфигурацию системы или набор используемых алгоритмов. Порядок выполнения алгоритмов в системе определяется данными, которые потребляются и производятся каждым из алгоритмов. Динамическое поведение системы позволяет контролировать правильность конфигурации, избегая возможных ошибок.

Основные алгоритмы третичного триггера и реконструкции событий в калориметре СНД предполагается оставить практически без изменений, изменив только их организацию с использованием модулей. Планируется заново разработать алгоритм восстановления треков в координатной системе детектора. Процедура физического анализа, по-видимому, останется также без кардинальных изменений. Будет осуществлено разделение анализа на программу отбора и интерактивного анализа с использованием программы RAW или аналогичных ей.

Существенные изменения предполагаются для программы моделирования. В качестве основного средства предложено использовать пакет Geant4. Привлекательность этого пакета заключается в более точном, по сравнению с существующими программами, описании ядерных взаимодействий  $\pi$  и  $K$  мезонов. Как первичное моделирование, так и моделирование отклика детектора, будет организовано в виде отдельных модулей в рамках той же системы.

Для проверки основных принципов функционирования системы предполагается построение действующего прототипа с основными возможностями. После успешного завершения испытаний прототипа будет произведена адаптация или перепись существующих алгоритмов в рамках новой системы.

# 11 Заключение

Проект модернизации Снд включает в себя три различные по своей важности и почти независимые части:

1. ремонт детектора, включая замену вышедших из строя и исчерпавших свой ресурс элементов. Решение этой задачи необходимо для обеспечения самой возможности проведения экспериментов с Снд;
2. замена компьютерных систем обработки информации и сбора данных и модернизация электроники детектора для обеспечения эффективной работы детектора при планируемой высокой светимости ВЭПП-2000 и, возможно, большей фоновой нагрузке;
3. замена трековой системы Снд, а также оснащение детектора новыми системами регистрации, в первую очередь аэрогелевым черенковским счетчиком для улучшения идентификации частиц, и, впоследствии, системой регистрации рассеянных электронов. Это позволит существенно расширить возможности Снд по измерению физических процессов в области энергии накопителя ВЭПП-2000.

Предложенный план модернизации Снд может быть реализован в течение ближайших 2–3 лет. Оценка суммарных трудозатрат и стоимости приобретаемого оборудования и материалов составляет 20 тыс. нормочасов и \$120 тыс, соответственно. Новые возможности, которые приобретет детектор в результате модернизации, должны существенно улучшить качество записанных данных, ускорить обработку и, в результате, повысить точность измерения физических процессов.

## Список литературы

- [1] В.М.Аульченко, М.Н.Ачасов, С.Е.Бару и др., Сферический нейтральный детектор для ВЭПП-2М. Препринт ИЯФ 99-16, Новосибирск, 1999.
- [2] M.N.Achasov, V.M.Aulchenko, S.E.Baru et al., Spherical neutral detector for VEPP-2M collider. Nucl. Instr. and Meth. A449 (2000) 125.
- [3] Eur. Phys. J. C 15, Review of Particle Physics, Particle Data Group, 2000.
- [4] VEPP2000, <http://vega.inp.nsk.su/vepp2000/>
- [5] P.M.Beschastnov et al., Nucl. Instr. and Meth. A342 (1994) 477.
- [6] M.N.Achasov, A.D.Bukin, D.A.Bukin et al., Nucl. Instr. and Meth. A401 (1997) 179.

- [7] M.N.Achasov, D.A.Bukin, T.V.Dimova et al. Nucl. Instr. and Meth. A411 (1998) 337.
- [8] Michael Hauschild, Nucl. Instr. and Meth. A379 (1996), 436.
- [9] V.V.Anashin, P.M.Beshchastnov, V.B.Golubev et al, Photomultipliers with microchannel plates, Nucl. Instr. and Meth. A357 (1995) 103-109.
- [10] A.Onuchin, A.Shamov, Yu.Skovpen et al, The aerogel Cherenkov counters with wavelength shifters and phototubes, Nucl.Instr. and Meth.
- [11] M.Yu.Barnyakov, A.R.Buzykaev, A.F.Danilyuk et al, Development of aerogel Cherenkov counters with wavelength shifters and phototubes. NIM A419(1998)584-589.
- [12] А.Д.Букин, В.Н.Иванченко, Гистограммная программа GIST, Препринт ИЯФ 93-81, Новосибирск, 1993.
- [13] В.Н.Иванченко, Препринт ИЯФ 94-25, Новосибирск, 1994.
- [14] А.Д.Букин, Н.А.Грозина, М.С.Дубровин и др., UNIMOD2 — универсальная программа моделирования экспериментов на встречных  $e^+e^-$  пучках, Препринт ИЯФ 94-20, Новосибирск, 1994.
- [15] А.А.Король, Архив экспериментальных данных, Препринт ИЯФ 94-62, Новосибирск, 1994.
- [16] А.В.Боженко, Д.А.Букин, В.Н.Иванченко и др., Пакет программ аппроксимации сечений в эксперименте СНД, Препринт ИЯФ 99-103, Новосибирск, 1999.
- [17] Geant4 User's documents, <http://wwwinfo.cern.ch/asd/geant4/G4UsersDocuments/Overview/html/index.html>
- [18] V.M.Aulchenko et al, Nucl. Instr. and Meth. A409 (1998) 639.
- [19] В.М.Аульченко, Б.О.Байбусинов, В.М.Титов, Препринт ИЯФ 88-22, Новосибирск, 1988.
- [20] В.М.Аульченко, Л.А.Леонтьев, Ю.В.Усов, Препринт ИЯФ 88-30, Новосибирск, 1988.
- [21] V.M.Aulchenko et al, Nucl. Instr. and Meth. A405 (1998) 269.
- [22] С.Е.Бару и др, Препринт ИЯФ 88-26, Новосибирск, 1988.
- [23] Д.А.Букин и др, Препринт ИЯФ 98-29, Новосибирск, 1998.
- [24] Д.А.Букин и др, Препринт ИЯФ 98-15. Новосибирск, 1998.

*Г.Н.Абрамов, В.М.Аульченко, М.Н.Ачасов, К.И.Белобородов, А.В.Бердюгин,  
А.Г.Богданчиков, А.В.Боженок, Д.А.Букин, М.А.Букин, С.В.Бурдин,  
А.В.Васильев, Ю.С.Великжанин, В.Б.Голубев, А.Ф.Данилюк, Т.В.Димова,  
А.А.Дроздецкий, В.П.Дружинин, П.М.Иванов, В.Н.Иванченко, А.А.Король,  
С.В.Кошуба, Е.А.Кравченко, Л.В.Максимов, А.Е.Образовский, А.В.Овчар,  
А.П.Онучин, Е.В.Пахтусова, М.А.Пешков, В.М.Попов, Е.Э.Пята,  
А.А.Сальников, С.И.Середняков, З.К.Силагадзе, А.А.Сироткин,  
А.Г.Скрипкин, Ю.В.Усов, В.В.Шарый, Ю.М.Шатунов*

**Проект модернизации детектора СНД  
для экспериментов на ВЭПП-2000**

*G.N.Abramov, V.M.Aulchenko, M.N.Achasov, K.I.Beloborodov, A.V.Berdyugin,  
A.G.Bogdanchikov, A.V.Bozhenok, D.A.Bukin, M.A.Bukin, S.V.Burdin,  
A.V.Vasiljev, Yu.S.Velikzhanin, V.B.Golubev, A.F.Danilyuk, T.V.Dimova,  
A.A.Drozdetzsky, V.P.Druzhinin, P.M.Ivanov, V.N.Ivanchenko, A.A.Korol,  
S.V.Koshuba, E.A.Kravchenko, L.V.Maksimov, A.E.Obrazovsky, A.V.Ovchar,  
A.P.Onuchin, E.V.Pakhtusova, M.A.Peshkov, V.M.Popov, E.E.Pyata,  
A.A.Salnikov, S.I.Serednyakov, Z.K.Silagadze, A.A.Sirotkin, A.G.Skripkin,  
Yu.V.Usov, V.V.Shary, Yu.M.Shatunov*

**Upgrade of the spherical neutral detector  
for VEPP-2000**

ИЯФ 2001-29

Ответственный за выпуск А.М. Кудрявцев  
Работа поступила 19.04.2001 г.

---

Сдано в набор 20.04.2001 г.

Подписано в печать 23.04.2001 г.

Формат бумаги 60×90 1/16 Объем 1.8 печ.л., 1.5 уч.-изд.л.

Тираж 125 экз. Бесплатно. Заказ № 29

---

Обработано на IBM PC и отпечатано на  
роталпринте ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН  
Новосибирск, 630090, пр. академика Лаврентьева, 11.