



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ИФВЭ 2000-23  
ОЭФ

М.Ю. Боголюбский, Л.Л. Курчанинов, М.С. Левицкий,  
А.А. Минаенко, А.М. Моисеев, Е.Н. Парамошкина, А.В. Плескач

**МЕХАНИЧЕСКАЯ КОНСТРУКЦИЯ  
ПРЕЦИЗИОННОГО ВЕРШИННОГО ДЕТЕКТОРА  
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ НА УСКОРИТЕЛЕ У-70**

Протвино 2000

### Аннотация

Боголюбский М.Ю. и др. Механическая конструкция прецизионного вершинного детектора для исследований на ускорителе У-70 : Препринт ИФВЭ 2000-23. – Протвино, 2000. – 12 с., 8 рис., библиогр.: 10.

Описана механическая конструкция прецизионного вершинного детектора (ПВД), сконструированная и изготовленная в ИФВЭ для использования в эксперименте Е-184. Она включает в себя три основных элемента: две одинаковые механические подставки (блока), содержащие по два микростриповых детектора пучкового годоскопа, имеющих ортогональную ( $X, Y$ ) ориентацию микрострипов, и комбинированный блок. Этот блок содержит два последних по пучку микростриповых детектора пучкового годоскопа, активную мишень (АМ) из кремниевых счетчиков и 10 микрострипов вершинного телескопа, “смотрящего” в АМ. Все эти блоки выставлены по пучку на оптической скамье. Описана процедура сборки комбинированного блока. Показано, что особенности описанной механоконструкции ПВД позволяют на ее основе создавать различные варианты подобных приборов, ориентированные на использование в других экспериментах.

### Abstract

Bogolyubsky M.Yu. et al. The Mechanical Support Structure of the Precision Vertex Detector for Investigations at the U-70 Accelerator : IHEP Preprint 2000-23. – Protvino, 2000. – p. 12, figs. 8, refs.: 10.

The mechanical support structure of the precision vertex detector (PVD), designed and produced at IHEP for the experiment E-184, is described. It consists of three basic elements: two similar support frames (blocks), each containing two silicon microstrip detectors (SMD) of the beam hodoscope with the orthogonal ( $X, Y$ ) orientation of microstrips, and the combined support block. This block contains the two last (along the beam direction) SMD of the beam hodoscope, the active target (AT), stacked from silicon counters, and 10 SMD's of the vertex telescope, “observing” AT. All these blocks are aligned on the optical bench. The procedure of the combined block assembly is described. It is shown that the specific features of the described mechanical support structure of PVD allow one to construct on its basis the various versions of similar devices appropriate for the use in other experiments.

## Введение

Для проведения эксперимента E-184 на установке СВД потребовалось разработать и изготовить новый прецизионный вершинный детектор (ПВД) на основе микростриповых кремниевых детекторов. Техника подобных ПВД уже более 15 лет используется в экспериментах по изучению образования “очарованных” ( $c$ ) и “прелестных” ( $b$ ) адронов в экспериментах на выведенных пучках в ведущих зарубежных лабораториях [1,2,3], однако на отечественных ускорителях она еще не применялась.

ПВД обычно используются в составе универсальных калориметрических установок, позволяющих измерять трехимпульсы вторичных заряженных частиц, а также углы вылета и энергии нейтральных частиц, испущенных в достаточно широком пространственном угле.

### 1. Требования к механической конструкции ПВД

Задача ПВД в экспериментах по изучению короткоживущих адронов состоит в точной оцифровке траектории вторичных заряженных частиц непосредственно за мишенью, обеспечивающей обнаружение с помощью ряда критериев вершин от распадов  $c$ - и  $b$ -адронов. Одним из таких критериев является величина промаха  $\delta$  траекторий вторичных треков, интерполированных к точке взаимодействия пучковой частицы в мишени, относительно этой точки [4,5]. Для точного (с  $\sigma_\delta \leq 20$  мкм) определения величины  $\delta$  пучковый и вторичные треки зарегистрированного события должны оцифровываться в единой фиксированной системе координат, т.е. микростриповые кремниевые детекторы (МКД) должны быть точно выставлены относительно друг друга и жестко закреплены на очень стабильной платформе. Обычно в конструкциях ПВД, используемых в ЦЕРНе и ФНАЛе, их пучковая часть, расположенная до мишени (т.н. пучковый годоскоп) состоит из 8–10 плоскостей МКД, занимающих по пучку расстояние 70÷100 см. Вершинная часть таких ПВД, расположенная за мишенью (т.н. “вершинный телескоп”, смотрящий в мишень), включает до 30 плоскостей МКД, расположенных по пучку на расстоянии до 50 см от мишени. Такие линейные размеры привели к необходимости делать отдельные подставки со сложными системами регулировки положения для групп из 2–3 МКД, которые точно выставлялись относительно друг друга с помощью лазерных геодезических приборов и жестко закреплялись на массивных гранитных платформах. Предварительное рассмотрение подобного подхода показало его практическую нереализуемость в современ-

ных условиях ИФВЭ. Поэтому при проектировании ПВД для СВД пришлось искать другие пути обеспечения точности взаимного выставления МКД.

## 2. Основные конструктивные решения

Для упрощения решения этой проблемы и по финансовым соображениям количество МКД в ПВД было взято минимальным [6]. Схема расположения МКД в этом ПВД приведена на рис.1. Далее, существенно более низкая энергия эксперимента E-184 ( $p_{lab.}=70$  ГэВ/с) предполагает меньший размер вершинного телескопа вдоль пучка, чем у таких приборов, использовавшихся в ЦЕРНе и ФНАЛе. Поэтому было решено сделать его механическую часть в виде одной жесткой конструкции, где точность относительного расположения МКД гарантируется жесткими допусками при изготовлении ее элементов. В частности, при проектировании этого механического блока была обеспечена возможность выставления МКД в вертикальной плоскости относительно единой системы осей  $X$  (гориз.) и  $Y$  (верт.) с точностью до 0,5 мрад.

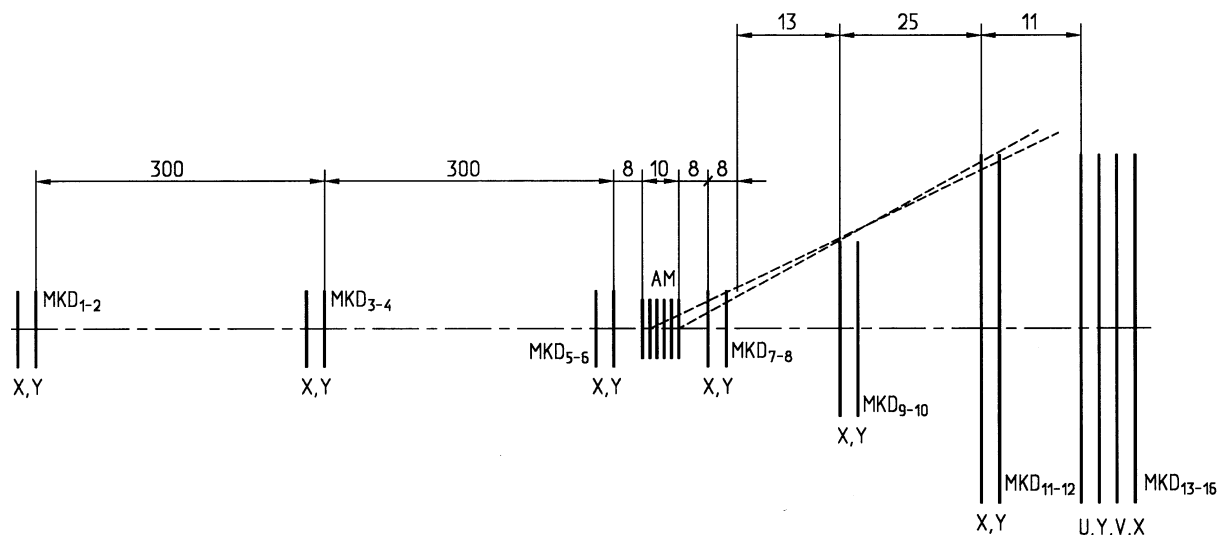


Рис. 1. Схематическое изображение ПВД; МКД<sub>1-6</sub> относятся к пучковому годоскопу, МКД<sub>7-14</sub> – к триггерной части вершинного телескопа, МКД<sub>12-16</sub> – к трековой части этого телескопа.

Для взаимного точного выставления МКД пучкового годоскопа и вершинного телескопа было решено использовать половину стандартной оптической скамьи. При этом для улучшения привязки систем координат этих двух частей ПВД ближайшая к мишени пара МКД пучкового годоскопа была помещена также как и активная мишень (АМ) [6] в один механический комбинированный блок (КБ) вместе с МКД вершинного телескопа, что обеспечивает высокую временную стабильность их относительного расположения. Две другие пары МКД пучкового годоскопа размещены в двух одинаковых одинарных блоках (ОБ), которые могут быть отнесены от КБ и друг друга на расстояния, обеспечивающие необходимую точность измерения углов пучковой частицы. Расчеты показывают, что небольшие относительные смещения ОБ и КБ не очень критичны для точностных характеристик ПВД.

### 3. Особенности конструкции комбинированного блока

Конструкция КБ ПВД была разработана в Конструкторском отделе ИФВЭ на основании детальной предварительной проработки (включающей М-К-моделирование), результаты которой представлены в [6,7], и изготовлена в ОЭП ИФВЭ.

На рис.2 показан вид КБ сбоку, а на рис.3 – со стороны пучка. КБ крепится к оптической скамье с помощью каретки, которая скопирована с кареток оптических столиков, размещающихся на оптических скамьях, и может перемещаться вдоль направления пучка. Для увеличения устойчивости во времени относительного положения МКД, установленных в КБ и ОБ, им, кроме возможности перемещения вдоль пучка, обеспечена еще только возможность смещения в перпендикулярном направлении. Никаких регулировок углов не заложено, поскольку это резко усложняет конструкцию подставки и уменьшает ее жесткость.

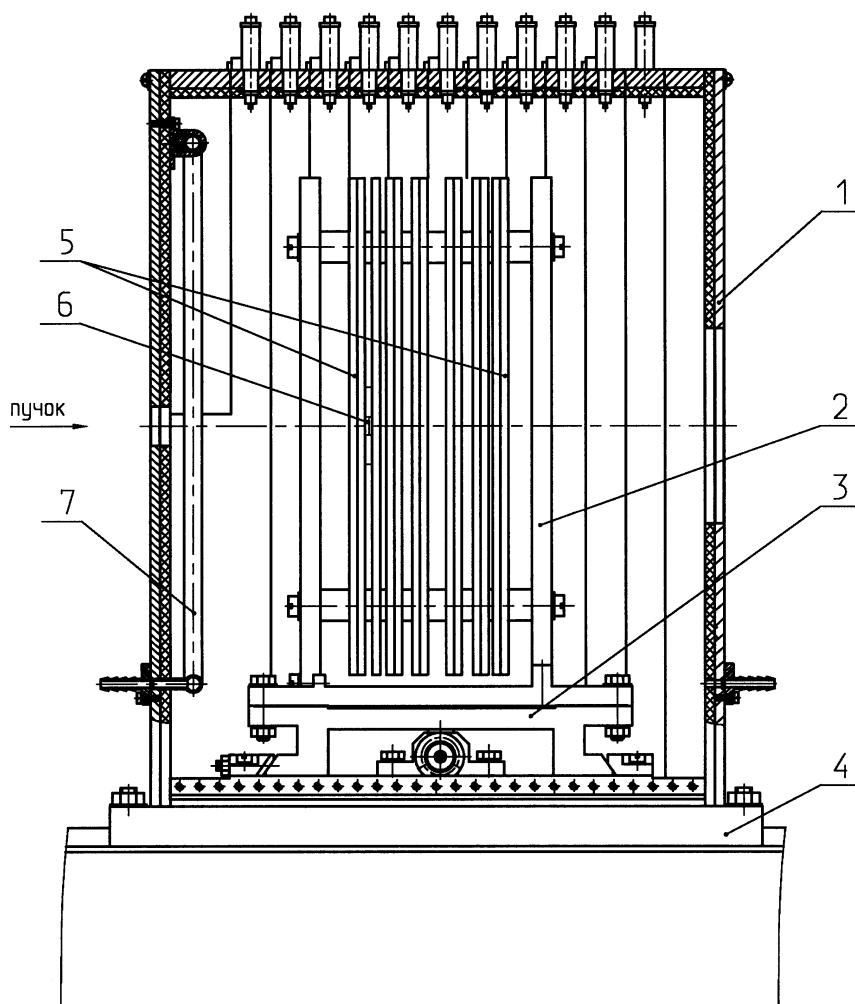


Рис. 2. Комбинированный блок ПВД (чертеж в продольном разрезе): 1 – задняя стенка алюминиевого кожуха; 2 – задняя несущая стойка; 3 – каретка поперечного перемещения; 4 – каретка продольного перемещения; 5 – диски с МКД; 6 – АМ, закрепленная на D3; 7 – трубка для поддува холодного азота.

Способ крепления всех МКД в составе КБ унифицирован. Каждый МКД закреплен на керамической подложке с центральным окном в размер его рабочей области. Керамическая подложка, в свою очередь, закреплена на круглой стеклотекстолитовой плате толщиной 1,5 мм и  $\phi$  220 мм, которая вклеена в латунное кольцо толщиной 4 мм, как это показано на рис.3,4. АМ, представляющая из себя сборку кремниевых счетчиков, установлена в центре такой же круглой стеклотекстолитовой платы, вклеиваемой в латунное кольцо стандартным образом.

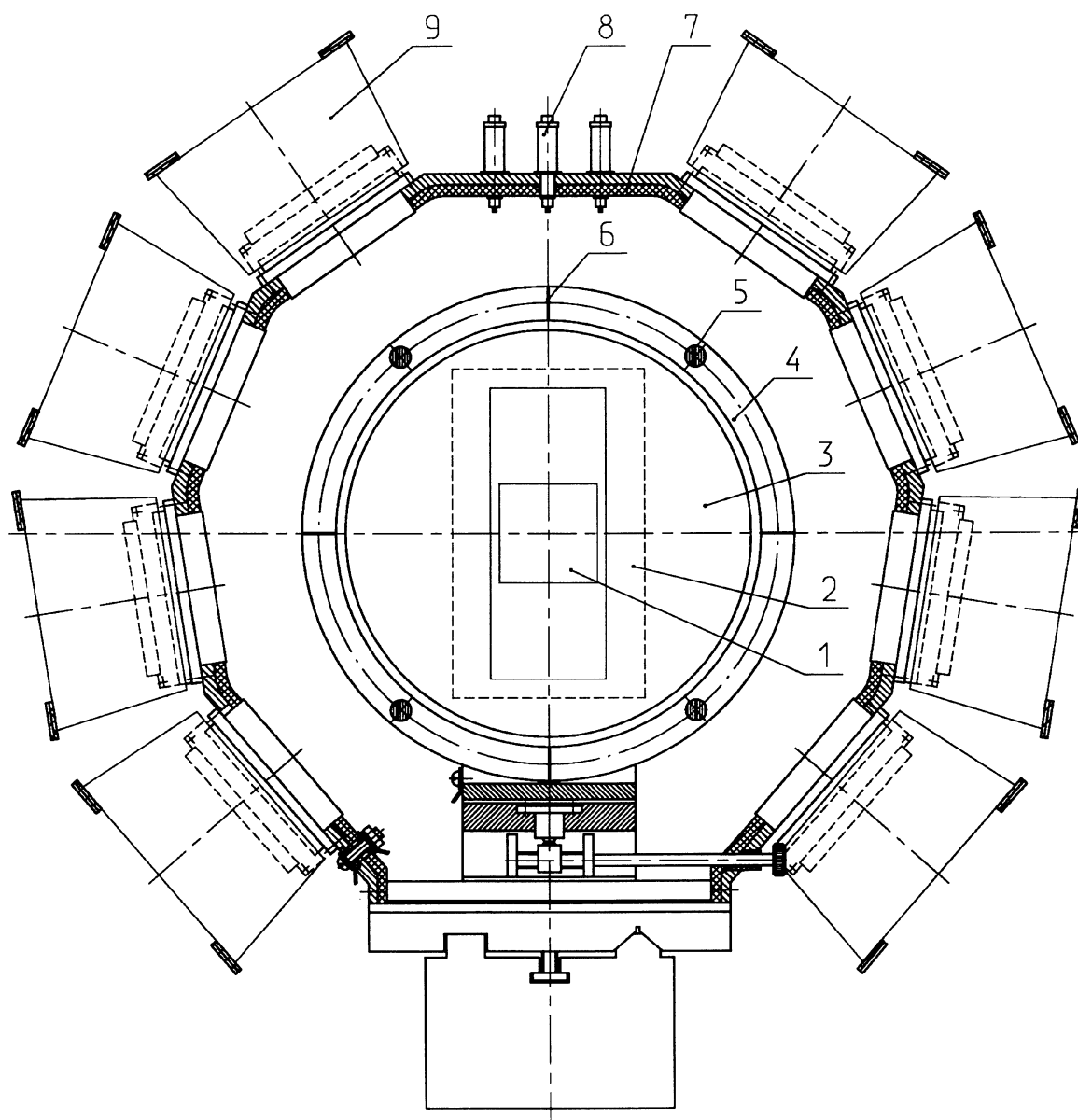


Рис. 3. Комбинированный блок ПВД (чертеж в поперечном разрезе): 1 – МКД размерами 52×52 мм; 2 – керамическая подложка; 3 – круглая стеклотекстолитовая плата; 4 – латунное кольцо; 5 – одна из четырех несущих шпилек (поперечное сечение); 6 – вертикальный реперный штрих; 7 – слой теплоизоляции; 8 – разъем для подачи напряжения смещения; 9 – печатная плата с микросхемами GASSIPLEX.

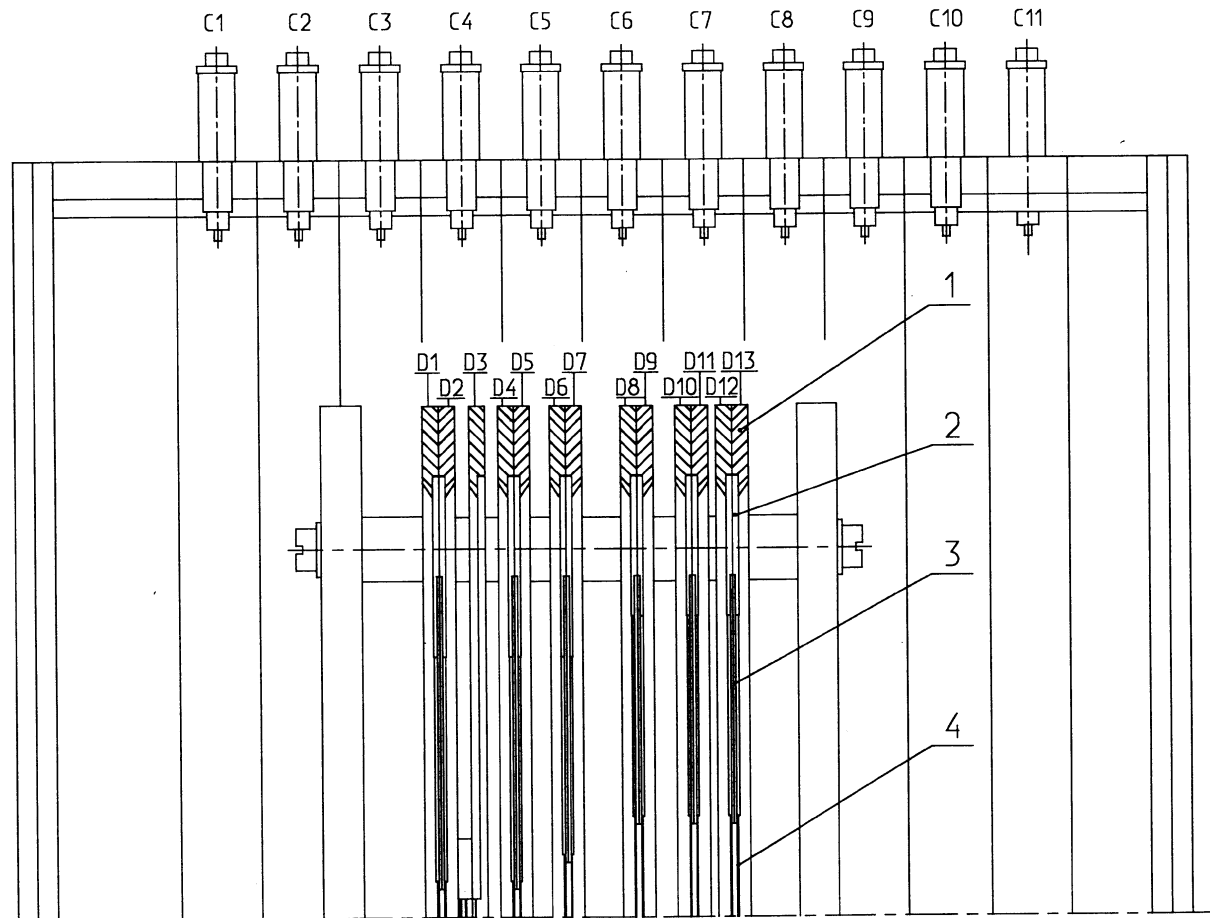


Рис. 4. Схематическое изображение размещения дисков; D1, D2 содержат МКД пучкового события; D3 несет АМ; D4–D9 содержат МКД триггерной части вершинного телескопа; D10–D13 содержат МКД трековой части вершинного телескопа; С1–С12 – слой алюминиевого кожуха. 1 – латунное кольцо; 2 – стеклотекстолитовая плата; 3 – керамическая подложка; 4 – пластина МКД.

Каждое латунное кольцо имеет четыре калиброванных отверстия, посредством которых оно надевается на четыре горизонтальные несущие шпильки, закрепленные на задней вертикальной кольцеобразной стойке. Две из этих шпилек, являющиеся направляющими, выполнены из бронзы и их диаметры имеют очень малые минусовые допуски по сравнению с диаметрами соответствующих отверстий в кольце.

Две сборки с МКД, имеющие микроstriпы с ориентацией по  $X$  и  $Y$ , называемые далее дисками  $X, Y$ , надеваются на шпильки так, чтобы диски соприкасались обратными сторонами, как это показано на рис.4, а именно: МКД с ориентацией микроstriпов по оси  $X$  обращен плоскостью с микроstriпами на пучок, а МКД с ориентацией микроstriпов по оси  $Y$  обращен к пучку обратной стороной. Такое расположение дисков облегчает вывод сигнала и позволяет обеспечить минимальное расстояние по пучку между двумя МКД, образующими пару  $X, Y$ . Последнее обстоятельство, как показано, например, в [8], облегчает пространственную реконструкцию треков в ПВД.

Как описано в [6] и показано на рис.4, описываемая конфигурация КБ содержит 13 дисков: два диска с МКД пучкового годоскопа, один диск с АМ [6], 6 дисков с МКД триггерной части вершинного телескопа и 4 диска трековой части вершинного телескопа.

Микрострипы МКД, входящих в систему триггирования и поэтому оснащенных в качестве усилителей микросхемами GASSIPLEX [9], привариваются к сигнальным линиям, нанесенным на поликоровой (для МКД с шагом 50 мкм) или сапфировой (для МКД с шагом 25 мкм) пластинах, установленных сверху и снизу от МКД на керамической подложке, и затем продолженным на стеклотекстолитовой плате. Сигнальные линии на этой плате кончаются площадками, к которым припаиваются сигнальные проволочки скрученных пар, выведенных через промежутки между дисками и припаянных другими концами к розеточной части разъемов ОНП-КС-6-96. Величины этих промежутков задаются калиброванными шайбами (проставками), надеваемыми на шпильки.

Микрострипы МКД, входящих в трековую систему, привариваются непосредственно к микросхемам VA1 на 128 входных каналов каждая [10], которые устанавливаются прямо на керамической подложке около МКД. Керамическая подложка устанавливается на стандартной круглой стеклотекстолитовой плате, на которой нанесена разводка для подачи на VA1 управляющих сигналов и вывода рабочих сигналов.

После сборки всех дисков, включая диск с АМ, шпильки закрепляются со стороны пучка с помощью второй вертикальной кольцевидной стойки. Жесткие допуски, выдержанные при производстве механической части КБ в ОЭП, обеспечили параллельность несущих шпилек плоскости балки оптической скамьи и отсутствие их поворота в плоскости  $X, Y$ .

В процессе монтажа дисков сборки с микрострипами до их вклейки в латунное кольцо устанавливаются вместе с кольцом на микроскопе с большим ходом предметного столика и ориентируются так, чтобы направление микрострипов было параллельно линии, проходящей через реперные штрихи, нанесенные на поверхности латунного кольца (по  $X$ - или  $Y$ -осям). При изготовлении колец позиция этих реперных штрихов шириной около 0,15 мм относительно калиброванных отверстий в кольце выдерживалась с высокой точностью, что обеспечило после сборки КБ параллельность между собой микрострипов, направленных вдоль  $X(Y)$ -осей, и перпендикулярность этих осей с точностью, лучшей 0,5 мрад.

В трековой части вершинного телескопа кроме двух МКД с микрострипами, ориентированными по осям  $X$  и  $Y$ , имеются два МКД, микрострипы которых ориентированы по осям  $U$  и  $V$ , сдвинутым относительно  $X$  и  $Y$  на  $+10,5^\circ$  соответственно. Для придания этим МКД нужного направления на поверхности стандартных колец нанесены дополнительные реперные штрихи, сдвинутые относительно штрихов, лежащих по осям  $X$  и  $Y$ , на угол  $10,5^\circ$ , и микрострипы двух МКД выставляются вдоль этих дополнительных штрихов  $U$  и  $V$  описанным выше способом.

Дополнительно в КБ зарезервировано место для установки еще одного – двух дисков, если потребуется увеличить число МКД трековой части.

Центральная часть КБ с дисками окружена тонкой оболочкой (кожухом) из алюминия, в котором закрепляются розеточные части сигнальных разъемов ОНП-КС-6-96, разъемов для АМ, разъемов DB15F для МКД трековой части вершинного телескопа и разъемов РС-1 для подачи напряжения смещения на МКД. Помимо этой функции, кожух служит для экранировки МКД и сигнальных линий от высокочастотных электромагнитных



наводок, их светоизоляции и термостатирования. Вдоль пучка кожух секционирован на 12 отдельных слоев, каждый из которых представляет из себя неправильный десятигранник с вырезанной нижней частью для крепления к каретке КБ. Эти слои с толщиной стенки 8 мм выфрезерованы из алюминиевого листа АМк4. Первые (по пучку) 11 слоев служат для крепления разъемов, последний слой является резервным. Всего в кожухе КБ имеется 76 посадочных мест под сигнальные разъемы ОНП-КС-6-96, через каждый из которых выводятся сигналы с 64 микроstriпов. На каждом из 9 центральных слоев сделано по 8 посадочных мест под эти разъемы. Подробнее о размещении различных разъемов по слоям сказано в [7].

С внешней стороны кожуха в розеточные части сигнальных разъемов ОНП-КС-6-96, установленных на кожухе, вставляются печатные платы с четырьмя микросхемами GASSIPLEX на 16 входных каналов каждая для усиления сигналов с микроstriпов МКД. С обратной стороны плат к ним подходят кабели питания микросхем и 5 кабелей РК50-1,5. После установки в кожухе продольные группы плат жестко закрепляются на нем, как показано на рис.5. Поскольку нижние концы слоев крепятся непосредственно к основанию каретки КБ, подвижная (поперек пучка) центральная часть КБ оказывается развязанной от возможных механических нагрузок со стороны кабелей.

Передняя (по пучку) и задняя торцевые стороны кожуха КБ выполнены в виде съемных алюминиевых крышек с отверстиями посередине для входа пучка и выхода вторичных частиц. Эти отверстия закрыты алюминизированной майларовой пленкой.

Для уменьшения температурных колебаний в области расположения МКД при работе ПВД в плохо отапливаемых помещениях и уменьшения шумов электроники предполагается, что в рабочих условиях внутри кожуха ПВД будет поддерживаться температура  $+10^{\circ}\text{C}$ . Для этого алюминиевые стенки кожуха оклеены изнутри изолирующим материалом, а на внутренней поверхности передней торцевой крышки размещена кольцеобразная трубка, в стенках которой просверлено большое количество малых отверстий. Эта трубка соединена с выведенным вне кожуха штуцером, посредством которого через кольцеобразную трубку внутрь кожуха может подаваться охлажденный сухой азот.

Описанная конструкция обеспечивает достаточную технологичность сборки КБ. Для этого этот блок со снятым кожухом (за исключением слоя С12) ставится на заднюю крышку на специальную подставку так, чтобы несущие шпильки были вертикальны. Передняя (по пучку) кольцеобразная стойка убирается, на шпильки надеваются задние проставки и на них кладется диск D13, надетый на шпильки. За этим устанавливается слой С11 кожуха и на нем закрепляются разъемы, относящиеся к D13. Затем на шпильки надевается диск D12, устанавливаются разделительные проставки и на них опускается пара D11 и D10. Разъемы всех этих дисков размещаются на слое С11, так как МКД<sub>13--16</sub>, установленные на этих дисках, в качестве усилителей используют микросхемы VA1 с мультиплексированием 128→1, установленные непосредственно у МКД, и из кожуха последовательно выводятся сигналы с выхода каждого мультиплексора.

Однако у дисков, устанавливаемых вслед за ними, МКД оборудованы микросхемами GASSIPLEX с мультиплексированием 16→1. Эти микросхемы по своим геометрическим размерам не предназначены для установки непосредственно около МКД, и платы с такими микросхемами на 64 входных канала устанавливаются на внешней поверхности кожуха в сигнальные разъемы ОНП-КС-6-96.

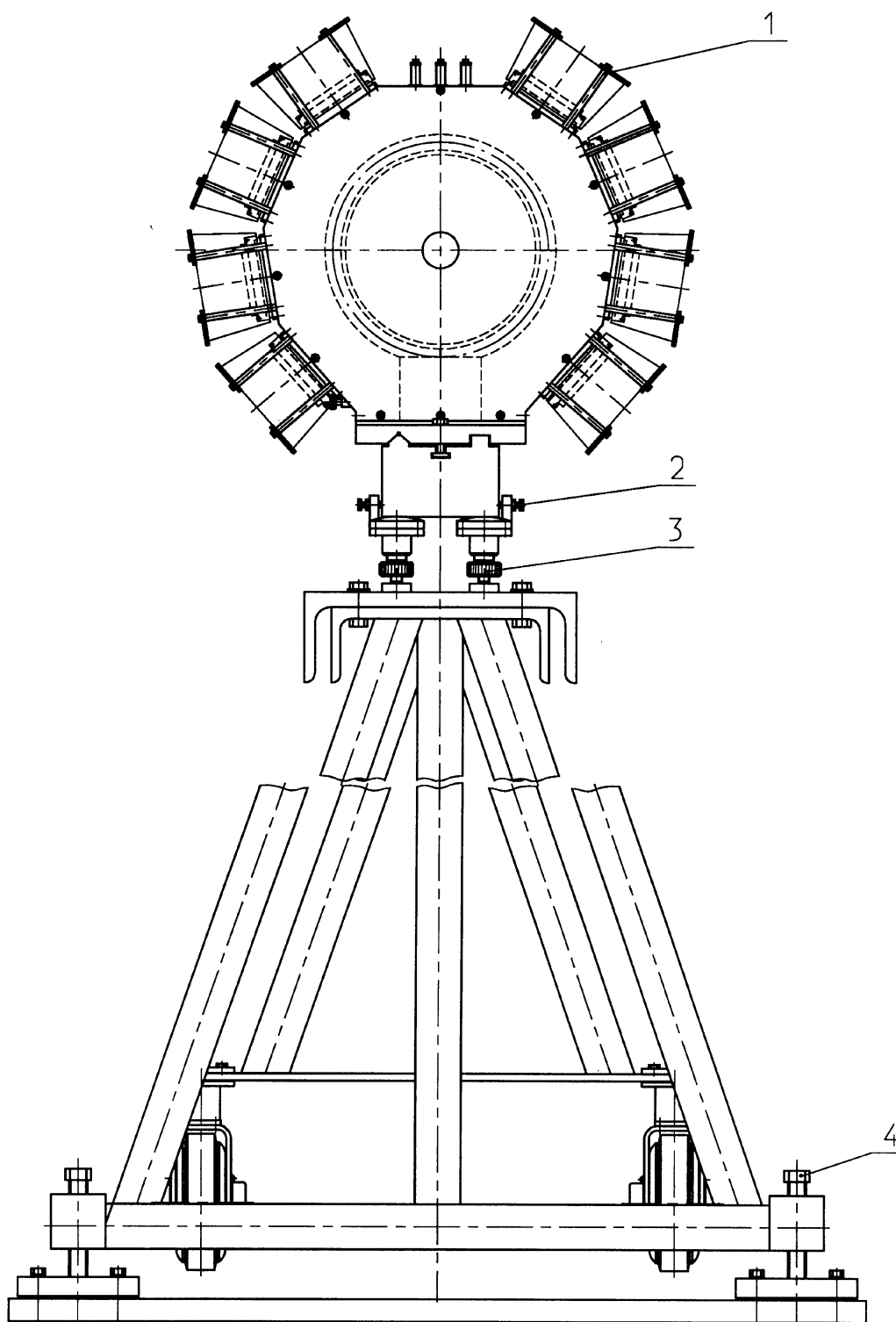


Рис. 5. Вид по пучку комбинированного блока на оптической скамье, установленной на подставке: 1 – пластина и стойка для крепления продольного ряда плат с микросхемами GASSIPLEX; 2 – винт горизонтального перемещения оптической скамьи; 3 – винт тонкого вертикального перемещения оптической скамьи; 4 – винт грубого перемещения подставки по вертикали.

Диск D9 несет 16 сигнальных разъемов ОНП-КС-6-96, подсоединенных к нему посредством скрученных пар, для крепления которых предназначены два слоя (С10 и С9) кожуха. В этом случае сначала устанавливается слой С10, в его передних прорезях закрепляются 8 сигнальных разъемов, а затем устанавливается С9, на котором закрепляются остальные разъемы. При этом для удобства манипуляций с этим диском, а также с диском D8, который несет такое же количество сигнальных разъемов, используются специальные металлические поддержки кольцеобразной формы, прикрепленные к дискам на 4 шпильках, ввернутых во внешние торцевые поверхности латунных колец. Все сигнальные разъемы каждого диска временно закрепляются на такой поддержке в два слоя примерно на тех же геометрических позициях, на которых они будут установлены на слоях кожуха. Такими же поддержками могут быть оборудованы все остальные диски с МКД, входящими в триггерную часть.

Подробнее процедура монтажа КБ описана в [7].

К весеннему (2000 г.) сеансу на У-70 была проведена успешная сборка макетного варианта КБ, содержащего АМ и половину МКД триггерной части (с Y-ориентацией микрострипов).

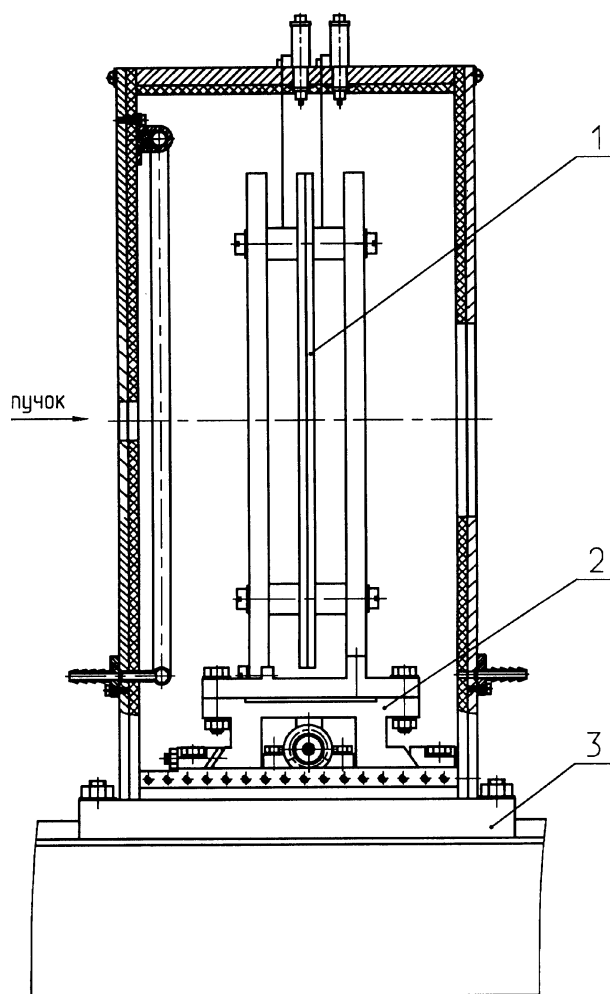


Рис. 6. Одинарный блок ПВД (чертеж в продольном разрезе): 1 – диски с МКД; 2 – каретка поперечного перемещения; 3 – каретка продольного перемещения.

#### 4. Возможности одинарного блока

ОБ спроектирован на основании тех же принципов, что и КБ, и в поперечной плоскости они имеют одинаковые размеры. Система крепления МКД в ОБ тоже аналогична описанной в предыдущем разделе. Однако, как показано на рис.6, в продольном направлении этот блок существенно короче, чем КБ. В изготовленном варианте для ПВД СВД в каждом ОБ должно быть установлено по два МКД, у которых электроникой будет оборудовано только 128 центральных каналов, что представляется достаточным для измерения координат пучковых частиц, т.к. пучок в эксперименте Е-184 должен иметь минимальные поперечные размеры. Однако в кожухе каждого ОБ предусмотрено еще по 4 посадочных места для сигнальных разъемов ОНП-КС-6-96 на случай, если нужно будет расширить область МКД, оборудованную электроникой. В принципе, число посадочных мест для разъемов можно увеличить до 16 и разместить в ОБ еще один – два диска с

МКД. Поэтому по существу ОБ является универсальной механической конструкцией для крепления двух – трех МКД с общим числом каналов 1024. С небольшими переделками число посадочных мест под сигнальные разъемы можно удвоить.

## 5. Возможности механической конструкции ПВД в сборке

В полной сборке механическая конструкция ПВД показана на рис.7 в виде, в котором она была подготовлена к весеннему (2000 г.) сеансу на пучке канала 22. Она состоит из двух ОБ и КБ, установленных на оптической скамье, которая жестко закреплена к полу экспериментального зала на металлической подставке, детали которой показаны на рис.5. Вид со стороны пучка КБ со снятой передней крышкой показан на рис.8. Оптическая скамья с помощью системы ее перемещения, установленной на подставке, может быть выставлена как в горизонтальной, так и вертикальной плоскости по направлению пучка с точностью до 0,1 мм при использовании геодезических приборов. В течение сеанса возможна индивидуальная подстройка положения каждого блока в горизонтальной плоскости в направлении, перпендикулярном пучку. После сеанса в случае необходимости подставка ПВД может быть отсоединена от пола и откатана в сторону на выдвигающихся колесиках.

Расстояние по вертикали центров МКД от направляющих оптической скамьи составляет 20 мм, поэтому вместо внутренней АМ, установленной в КБ, перед КБ на скамье может устанавливаться любая внешняя мишень, включая криогенную. При этом структура вершинного телескопа может быть изменена согласно требованиям эксперимента. Внешняя мишень может быть приближена к МКД вершинного телескопа при замене плоской передней крышки кожуха на воронкообразную.

В целом можно утверждать, что конструктивные особенности изготовленной механической конструкции ПВД позволяют использовать ее не только в эксперименте Е-184, но и в составе других экспериментальных установок на ускорителе У-70.

## Список литературы

- [1] Alberganti R. et al. // NIM, A248 (1986), p. 337.
- [2] Adamovich M.I. et al. // IEEE Trans. Nucl. Sci., 37 (1990), p. 236.
- [3] Alves G.A. et al. // Phys. Rev. Lett., 70 (1993), p. 722.
- [4] Crennel D., Fisher C.M., Sekulin R.L. // NIM, v.158 (1978), p. 111.
- [5] Моисеев А.М. // ФЭЧАЯ, т.15 (1984), с. 656.
- [6] Ardashev A.N. et al. ИИЭР Preprint 96-98, Protvino, 1996.
- [7] Моисеев А.М. Проект прецизионного вершинного детектора установки СВД. Внутр. отчет СВД ВД № 98-03 (1998).
- [8] Моисеев А.М. Простой метод пространственного восстановления прямых треков заряженных частиц в ПВД СВД. Внутр. отчет СВД ВД № 99-01 (1999).
- [9] Santiard J.C. et al. Preprint CERN-ECP/94-17 (1994).
- [10] “VA1, VA2, VA3”, Communication in the Internet site of the Company IDE AS (Norway).

*Рукопись поступила 21 июня 2000 г.*

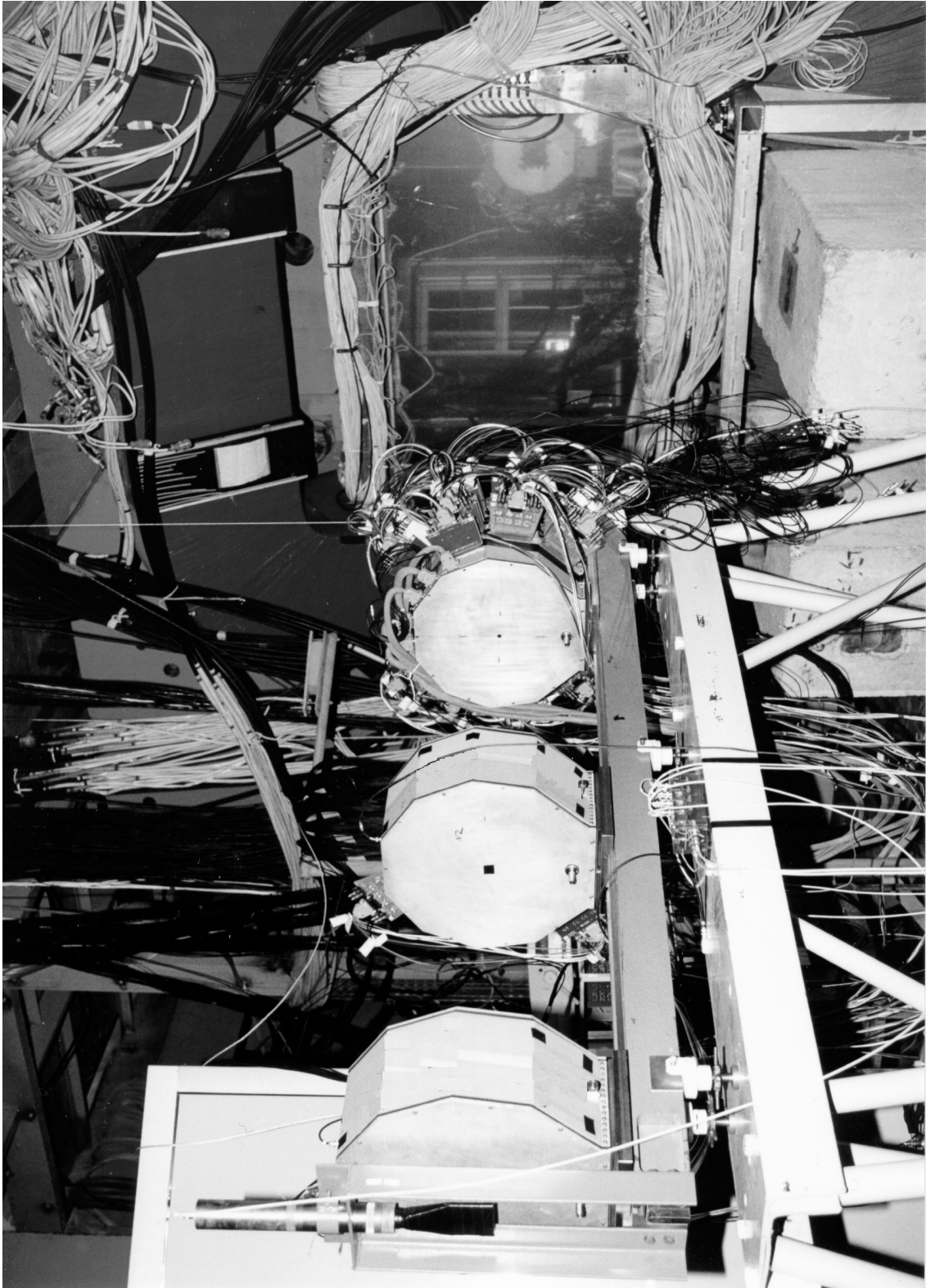


Рис. 7. Снимок макета ПВД, подготовленного к апрельскому (2000 г.) сеансу на У-70. На первом плане два одинарных блока, за ними – комбинированный блок.

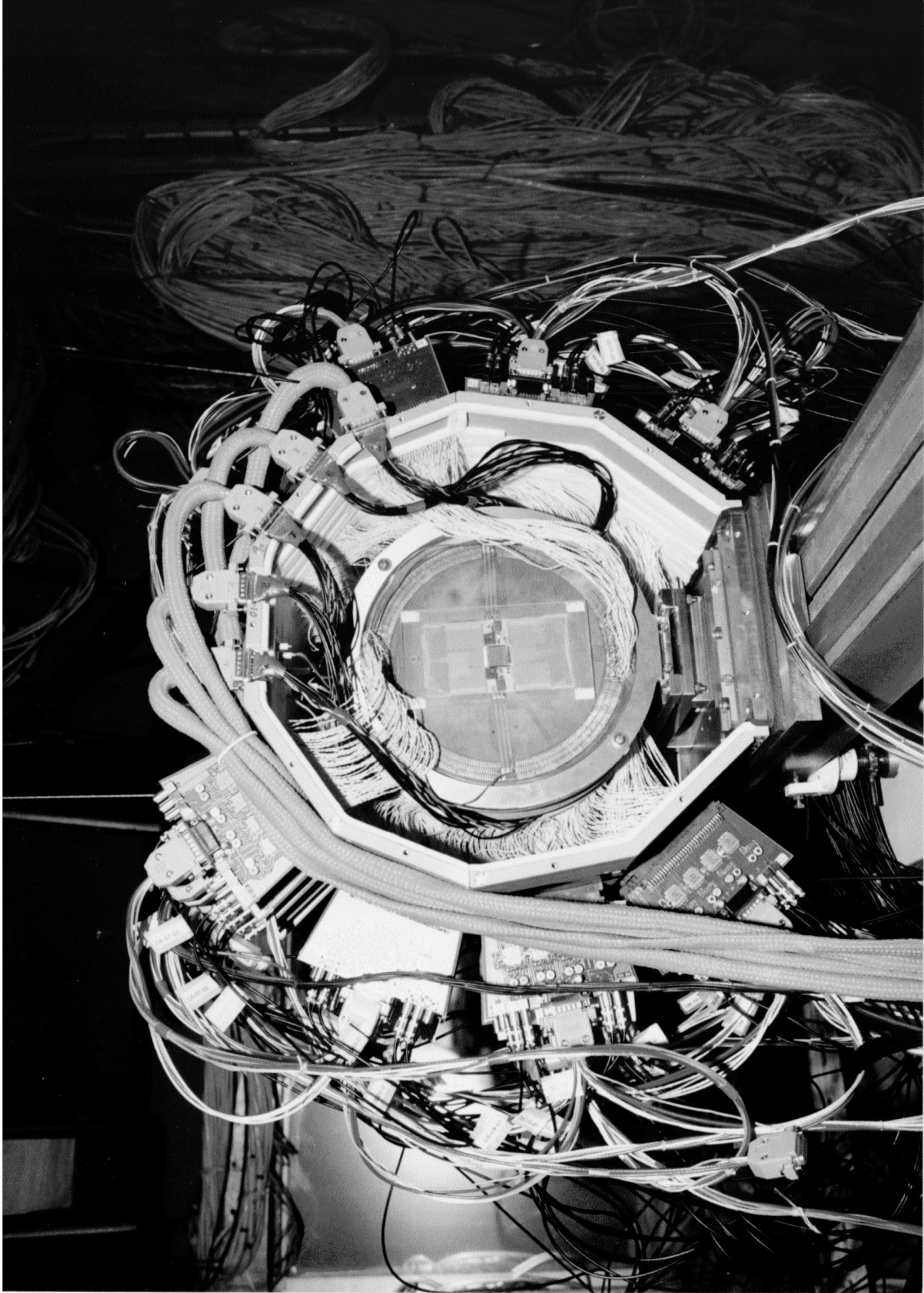


Рис. 8. Снимок комбинированного блока со снятой передней крышкой. Виден D2 с МКД<sub>6</sub> пучкового годоскопа (в прототипе были установлены только МКД с Y-ориентацией микроstriпов).

М.Ю.Боголюбский и др.

Механическая конструкция прецизионного вершинного детектора для исследований на ускорителе У-70.

Оригинал-макет подготовлен с помощью системы  $\text{\LaTeX}$ .

Редактор Л.Ф.Васильева.

Технический редактор Н.В.Орлова.

---

Подписано к печати 23.06.2000 г. Формат  $60 \times 84/8$ .      Офсетная печать.

Печ.л. 1,5.    Уч.-изд.л. 1,2.    Тираж 130.    Заказ 195.    Индекс 3649.

ЛР №020498 17.04.97.

---

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

