

P13-2010-69

С. Н. Базылев, И. Грегор¹, К. И. Давков, И. А. Жуков,
П. Зингер², С. В. Муравьев³, В. В. Мялковский,
Л. Науманн⁴, В. Д. Пешехонов, К. Рамбсер⁴, Н. А. Русакович,
И. А. Руфанов, И. В. Слепнев, С. Ю. Смирнов⁵,
В. О. Тихомиров³, А. В. Шутов, Д. Хаас⁶

**ПРОТОТИП КООРДИНАТНЫХ ДЕТЕКТОРОВ
НА ОСНОВЕ ГРАНУЛИРОВАННЫХ ТОНКОСТЕННЫХ
ДРЕЙФОВЫХ ТРУБОК**

Направлено в журнал «NIM»

¹Deutsches Elektronen-Synchrotron (DESY), Гамбург, Германия

²GSI, Дармштадт, Германия

³Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН, Москва

⁴ЦЕРН, Женева, Швейцария

⁵Московский инженерно-физический институт

⁶Dept. de Phys. Nucl. et Corpuscul. (DPNC), Университет Женевы,
Швейцария

Базылев С. Н. и др.

P13-2010-69

Прототип координатных детекторов
на основе гранулированных тонкостенных дрейфовых трубок

Прототип координатного детектора на основе тонкостенных дрейфовых трубок с сегментными анодами был создан и исследован на стенде в ОИЯИ и пучке SPS в ЦЕРН. Прототип содержит 360 каналов регистрации, диаметр дрейфовых трубок (ТДТ) — 4 мм.

Выполненные исследования показали, что временные и пространственные характеристики прототипа не отличаются от параметров обычных детекторов на основе ТДТ. Величина пространственного разрешения — около 170 мкм, гранулярность прототипа составляет 4 см² и нечувствительная площадь менее 5 % от полной чувствительной площади детектора.

Работа выполнена в Лаборатории физики высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2010

Bazylev S. N. et al.

P13-2010-69

A Prototype Coordinate Detector Based
on Granulated Thin-Walled Drift Tubes

A prototype detector based on thin-walled segmented tubes was developed and its parameters were studied in JINR and on SPS (CERN). The detector contains 360 registration channels with a diameter of 4 mm. The prototype's granularity is 4 cm² and the insensitive length in the region of straw internal elements is less than 5% of its full sensitive area. The time and spatial parameters of the detector do not differ from those of ordinary track detectors based on drift tubes.

The investigation has been performed at the Veksler and Baldin Laboratory of High Energy Physics, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2010

ВВЕДЕНИЕ

Высокоэффективная реконструкция треков в экспериментах на пучках частиц с высокой светимостью или при изучении процессов с высокой множественностью требует использования гранулированных трековых детекторов, обеспечивающих низкую величину загрузки их индивидуальных детектирующих элементов. Использование силиконовых пэдовых или стриповых детекторов, так же как и газонаполненных MPGS-детекторов — таких как GEM, Microegas и их разновидностей, в некоторых случаях может быть ограничено технологическими или стоимостными проблемами.

Координатные детекторы на основе тонкостенных дрейфовых трубок (ТДТ) обладают рядом преимуществ, таких как минимальное количество их собственного вещества, хорошие пространственно-временные параметры и способность работы в высоких радиационных полях, а также гибкость конструктивных решений при создании детекторов и сравнительно низкая их стоимость, что дает основания к их применению в больших экспериментальных установках [1–4]. С целью устранения основного их недостатка — плохой гранулярности детектирующих элементов, определяемой диаметром трубок и длиной их проволочного анода, был разработан метод создания ТДТ с сегментными анодами, при этом их гранулярность может быть около 1 см^2 [5, 6]. Разработанные передаточные линии сигналов (гибкий плоский кабель) с малым количеством собственного вещества позволяют независимо подавать на каждый из анодных сегментов высоковольтное напряжение и по тем же шинам передавать сигналы с них на удаленную до 2 м электронику считывания [7]. Трубки длиной до 4 м содержат аноды с различной длиной их сегментов, а электроника считывания может быть расположена вблизи обоих их концов.

С целью изучения особенностей технологии сборки таких детекторов, пригодной для их массового производства, был собран и исследован на стенде и пучке SPS в ЦЕРН прототип с 360 регистрационными каналами.

1. КОНСТРУКЦИЯ ПРОТОТИПА

Двухслойный прототип содержит в каждом слое 48 склеенных между собой каптоновых ТДТ с внутренним диаметром $4_{+0,00;-0,02} \text{ мм}$ и длиной 420 мм [8]. Толщина стенок ТДТ составляет 70 мкм. Слои сдвинуты между

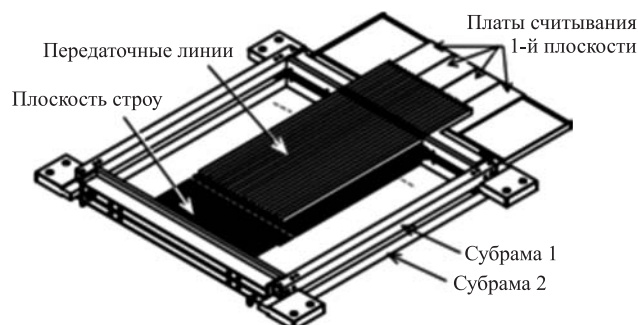


Рис. 1. Схематическое изображение прототипа

собой на величину радиуса трубок. Аноды из золоченой вольфрамовой проволоки диаметром 30 мкм состоят из четырех электрически независимых сегментов длиной по ~ 100 мкм каждый. Высоковольтное анодное напряжение подается по одной из восьми шин гибкой передаточной линии (ПЛ) на каждый сегмент двух соседних ТДТ, по ним же токовые сигналы с сегментов передаются на расположенные вблизи концов трубок платы считывания и далее на электронику считывания. Схематическое изображение прототипа показано на рис. 1. Рама прототипа состоит из двух субрам, на каждой из которых установлена плоскость ТДТ с линиями передачи сигналов и плат считывания. Общие для двух плоскостей распределительные газовые объемы на рисунке не показаны. Двумя пунктирными линиями на рисунке показаны места установки в ТДТ спейсерных узлов (СП), обеспечивающих создание электрических контактов снаружи с анодными сегментами дрейфовых трубок. Для целей мониторинга используется несколько периферийных ТДТ с установленными в них несегментированными анодами.

Разработка нестандартных для камер на основе ТДТ сборочных процедур являлось одной из основных задач при создании прототипа. Поэтому при небольших его габаритных размерах были увеличены объемы новых сборочных операций и, следовательно, риски его сборки. В прототипе установлены дрейфовые трубки с минимальным диаметром, высоковольтное напряжение подается на анодные сегменты, считывание и подача анодного напряжения осуществляется только через разработанные и изготовленные передаточные линии, электроника считывания располагается вблизи концов трубок с одной их стороны.

Многосегментные аноды. Каждый многосегментный анод состоит из набора проволок, последовательно объединенных между собой в единый элемент. Объединение осуществляется в двух различных вариантах поочередно. Первый заключается в объединении двух анодных проволок в стеклянной капиллярной трубке с внутренней изоляционной перемычкой. Задачей второго

является объединение таким же способом двух пар проволок, из которых одна служит анодным сегментом, а вторая используется для создания с ним гальванического контакта снаружи. При одной последовательности объединения считывание через стенки строу необходимо для $n-2$ сегментов, а для двух крайних сегментов считывание осуществляется через фиксирующие анод концевые втулки (рис. 2, справа сверху). Выбранная для прототипа последовательность объединения сегментов требует организации считывания только через так называемые спейсерные узлы (СУ), т. е. только через стенки трубок (рис. 2, справа снизу). Капиллярные трубки из боросиликатного стекла длиной 4 или 5 мм с наружным и внутренним диаметрами 0,25 и 0,1 мм, соответственно, используются для гальванически раздельного объединения сегментов в единый анод [9]. Вес соединительных капиллярных трубок пренебрежимо мал и составляет 0,094 мг/мм длины. Задачей СУ является вывод контактных проволок анодных сегментов наружу из трубок. Каждый узел содержит капиллярную трубку с двумя парами проволок (анодными и контактными), установленную в центральном отверстии внутренней тонкостенной перемычки спейсера. Вывод контактных проволок наружу осуществляется через отверстия в спейсере и в стенке строу. Наружный диаметр поликарбонатного спейсера равен $3,98_{+0;-0,02}$ мм, длина — 8 мм, вес — 80 мг [6].

На специальном оборудовании собираются двухсегментные элементы анодов. Часть из них устанавливается в СУ и возвращается затем на этот участок для окончательного объединения в многосегментные аноды [8]. Оборудование обеспечивает соосность всех элементов анода и исключает возможность их углового смещения. Длины сегментов собранных анодов согласованы с расстояниями между центрами отверстий в стенках строу для обеспечения правильного позиционирования СУ при установке анодов в строу.

Передаточные линии. Специализированные передаточные линии (ПЛ) были разработаны для передачи токовых сигналов с анодных сегментов на

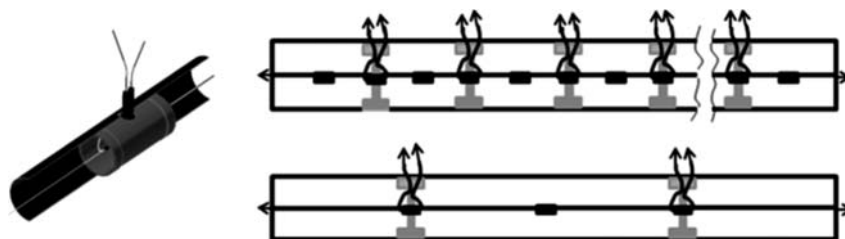


Рис. 2. Слева — установка спейсерного узла внутри ТДТ. Справа сверху: схема объединения n сегментов, позволяющая считывать информацию с двух крайних сегментов через концевые втулки и с $n-2$ сегментов через спейсерные узлы. Справа снизу: схема объединения сегментов, примененная для прототипа. Считывание со всех сегментов осуществляется только через спейсерные узлы

регистрирующую электронику и для подачи анодного напряжения на сегменты по тем же шинам линий [7]. При этом сигналы величиной > 1 мкА и с временем нарастания 3–5 нс передаются с пренебрежимо малыми искажениями и потерями на расстояние до 2 м, а токи стекания $\leq 0,1$ нА/шина при напряжении величиной до 3,0 кВ (при нулевом потенциале на соседних двух шинах). Малое количество собственного вещества ПЛ обеспечивает незначительное увеличение радиационной толщины детектора. Для прототипа было изготовлено 50 восьмишинных линий и 44 из них были установлены на прототипе. Поперечное сечение линий составляет $11 \times 0,85$ мм и длина $\sim 40,5$ см. В качестве шин использовались медные проволоки диаметром 20 мкм. Соединение каждой шины линий с соответствующей контактной проволокой осуществлялось распайкой их на площадки, расположенные на поверхности ПЛ. Внешние концы шин распайвались на шины плат считывания. Линии фиксировались на поддерживающих структурах из стеклотекстолита толщиной 0,2 мм. Радиационная толщина линий была около $0,15\% X_0$. Полная толщина в области установки СУ размером 8×4 мм составляла величину около $1,0\% X_0$. После сборки прототипа были разработаны более тонкие линии с радиационной толщиной $\sim 0,06\% X_0$ и проверена другая процедура соединений контактных проволок сегментов с шинами ПЛ, при этом полная толщина в области установки СУ уменьшается до $0,3-0,4\% X_0$.

Электроника считывания. Многослойные материнские платы каждого слоя служат для распределения на все анодные сегменты двухслойного прототипа высоковольтного анодного напряжения требуемой величины ($< 2,0$ кВ) и для трассировки анодных токовых сигналов с сегментов через высоковольтные конденсаторы на соответствующие входы усилителей. Шины плат считывания осуществляют также гальваническую связь катодов строу и экранов ПЛ с соответствующими шинами заземления считывающей электроники [10]. Расстояние между анодами соседних в слое строу равно 4,15 мм, т.е. плотность каналов считывания составляет 1 мм^{-1} . Многослойные печатные платы считывания размером 48×90 мм содержат четыре ряда конденсаторов 1206 NPO 270 пФ \times 2000 В и чип-резисторов для 48 сегментов 12 тонкостенных дрейфовых трубок. Все высоковольтные элементы залиты силиконовым компаундом Пентэласт 712А.

Быстрые малозумящие усилители на основе 4-канальных микросхем MSD-2 с усилением ~ 35 мВ/мкА, собственным фронтом усилителя 3 нс, входным сопротивлением 120 Ом и «кросстоком» 4% установлены на прототипе [11]. Парафазные сигналы с них передаются витыми парами длиной 1 м на формирователи-дискриминаторы на основе компараторов 597СА1 и буферных каскадов, выполненных на приемниках с линией типа 500ЛП116 и обеспечивающих передачу дифференциальных сигналов на ВЦП полосковым кабелем длиной до 40 м.

2. СБОРКА ПРОТОТИПА

При создании прототипа параллельно выполнялись подготовительные работы на нескольких специализированных участках, сопровождаемые необходимым тестированием [8]. Основными видами работ являлись: склейка плоскостей дрейфовых трубок по разработанной для трекера спектрометра COMPASS технологии [4] и вырезка лазером отверстий в их стенках в местах последующей установки в них СУ, изготовление сегментных анодов и ПЛ. После установки на субраме плоскости трубок и плат считывания в ТДТ устанавливались сегментные аноды при небольшом их натяжении, при этом позиционирование центров СУ и центров отверстий в строу совпадало с точностью $\leq 0,5$ мм. Затем натяжение анодов увеличивалось до 60 г и они фиксировались в медных втулках концевых элементов. После вывода наружу контактных проволок сегментов из СУ проволоки изолировались и фиксировались. Проверялось натяжение анодов [12], наличие на сегментах анодного напряжения и сигналов на контактных проволоках, а также отсутствие токов стекания.

После установки на плоскости ТДТ передаточных линий и соединения контактных проволок сегментов с их шинами герметично закрывались отверстия в трубках, проводилось необходимое тестирование и две собранные субрамы объединялись. Окончательное тестирование проводилось тестовой электроникой после сборки прототипа при облучении его гамма-квантами источника ^{55}Fe .

3. РЕГИСТРИРУЮЩАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Усиленные и сформированные дифференциальные сигналы поступают на вход многоканального времяцифрового преобразователя MTDC64. В ВЦП используются высокопроизводительные микросхемы НРТDC, разработанные в ЦЕРН (Швейцария). Использование двух таких микросхем позволяет осуществлять одновременный набор с 64 входных каналов. Шаг временной шкалы равен 100 пкс, при этом типичное временное разрешение между двумя импульсами составляет 5 нс. MTDC64 позволяет измерять в каналах множественные события, при этом в связи с ограниченным размером внутреннего буфера есть ограничение на полное число измерений по всем входам, равное 512. Для измерений типа «Старт-стоп» существует выделенный нулевой канал, в который подается характерный сигнал, относительно которого программа позднее восстанавливает время остальных событий.

Устройство может работать в трех возможных триггерных режимах, таких как внешний триггер, логическое ИЛИ по всем входам или тестовый режим с внутренним асинхронным генератором. В режиме работы по внешнему триггеру регистрируются импульсы, приходящие в заданном временном

интервале относительно данного триггерного сигнала. В режиме внутреннего триггера любой входящий импульс запускает измерение. Тестовая мода используется для измерения скорости потока входящих импульсов. Наличие внутренней памяти позволяет регистрировать сигналы, задержанные относительно триггера, вплоть до 100 мкс. Это временное окно может быть задано с шагом 25 нс. Необходимо отметить, что любой канал может быть выключен из измерения в случае его неисправности («звона»).

Собранные данные передаются в компьютер через шину PCI-Express, где в дальнейшем обрабатываются программой и записываются на жесткий диск.

4. СТЕНДОВОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ ПРОТОТИПА

В стендовых условиях была проверена герметичность прототипа, величина токов стекания, шумы и однородность каналов регистрации при газовом усилении до величины 10^5 . Прототип продувался газовой смесью Ar/CO_2 (80/20), использовался источник гамма-квантов ^{55}Fe .

Результаты измерения газовой течи в местах выхода из строу контактных проволок показали в некоторых случаях ее наличие, так максимальная величина течи составляет $10 \times 10^{-5} \text{ см}^3/\text{с}$ при общей величине течи прототипа $\sim 1,2 \times 10^{-3} \text{ см}^3/\text{с}$, что составляет $< 4,3 \text{ см}^3/\text{ч}$. Однако характер распределения течи по СУ показал возможность ее существенного уменьшения.

Проверка всех 360 каналов прототипа показала высокую их однородность. Так на рис. 3 приведено типичное энергетическое разрешение сегментов, и на рис. 4 показано распределение сегментов по их газовому усилению.

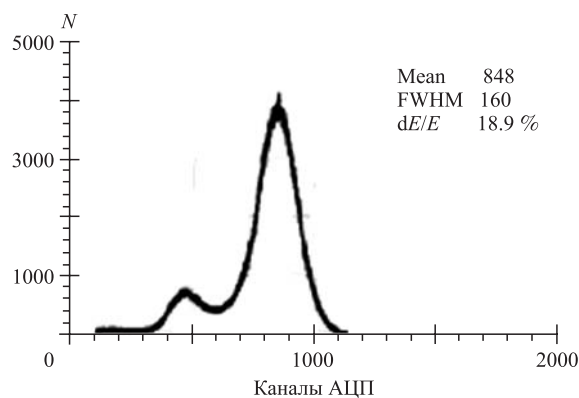


Рис. 3. Типичное энергетическое разрешение сегментов прототипа. Анодное напряжение — 1,4 кВ, газовое усиление около 4×10^4 , газовая смесь Ar/CO_2 (80/20)

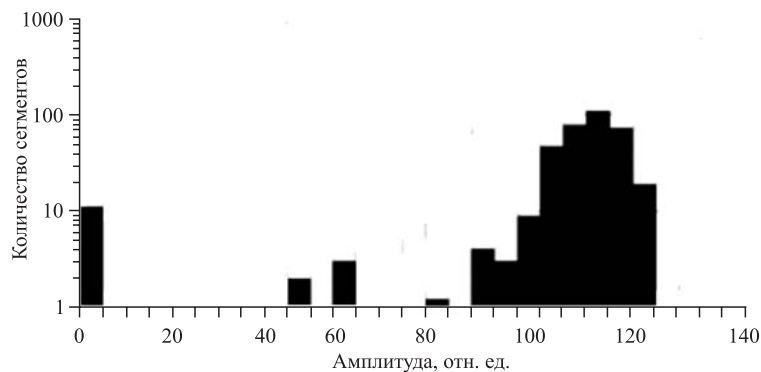


Рис. 4. Распределения числа каналов прототипа по величине регистрируемых с них сигналов от гамма-квантов с энергией 5,9 кэВ при фиксированных условиях детектирования

Рис. 4 показывает наличие 3 % неработающих каналов, а также около 2 % каналов с пониженной амплитудой регистрируемых сигналов. Основной причиной этих дефектов являются ошибки, влияющие на трассировку сигналов от сегментов до регистрирующей электроники, что указывает на необходимость улучшения соединений шин ПЛ с контактными проволоками сегментов и с шинами плат считывания, а также устранение ошибок при дальнейшей трассировке сигналов к регистрирующей электронике.

5. ТЕСТИРОВАНИЕ ПРОТОТИПА НА ПУЧКЕ

Тестирование прототипа было выполнено на адронном пучке канала Н6 SPS в ЦЕРН. В качестве трекового детектора использовался пиксельный пучковый телескоп EUDET [13]. Телескоп содержит шесть плоскостей детекторов с размерами пикселей 30×30 мкм и четыре сцинтилляционных счетчика, чувствительные размеры этих детекторов были 6×6 мм. Информация с Si-пикселей поступает на расположенный в крейте VME64x одноплатный компьютер, далее данные передаются в DAQ PC через гигабитный ETHERNET. Время и номера событий вырабатываются логическим блоком TLU. Прототип на основе сегментных строу (SSP), установленный по центру телескопа, мог прецизионно перемещаться в направлениях x и y . Информация с него поступала в регистрирующую электронику MTDC и передавалась далее в DAQ EUDET. Используя различные программное обеспечение регистрационные системы синхронизируются сигналами «trigger», «busy» и «reset». Точное время регистрируемых событий в электронной системе прототипа определяется по поступающим в один из каналов MTDC триггерным

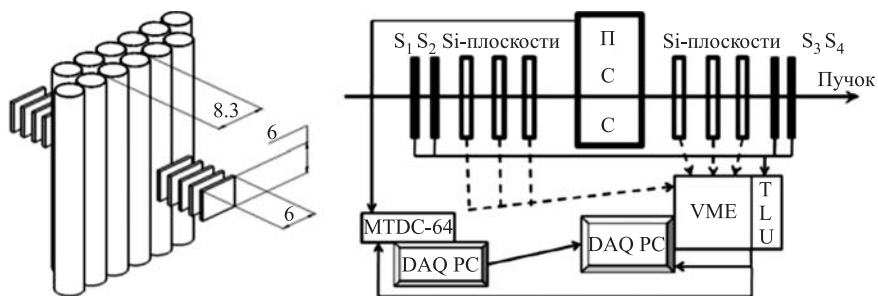


Рис. 5. Слева — экспериментальная установка на пучке канала Н6 SPS, показывающая расположение детекторов и область, где треки частиц могут регистрироваться. Справа — схема размещения детекторов и организации считывания. Прототип (ПСС) на основе сегментных ТДТ расположен в центре телескопа EUEDET между Si-детекторами. Телескоп содержит шесть плоскостей пиксельных кремниевых детекторов (Si-плоскости) и четыре сцинтилляционных счетчика (S_1 – S_4). Крейты VME, TLU, DAQ PC и MTDC, DAQ PC являются системами регистрации информации EUEDET и ПСС соответственно

сигналам. На рис.5 показана схема расположения детекторов на канале и организация считывания с них информации.

После транспортировки прототипа в ЦЕРН перед установкой на экспериментальном канале проводилась проверка его каналов детектирования, показавшая сохранность работоспособности прототипа. Основной задачей тестирования на пучке являлось определение эффективности регистрации и пространственного разрешения сегментов, а также измерение нечувствительной длины строу в местах установки в них СУ. Прототип продувался газовой смесью $ArCO_2$ (80/20). Газовое усиление было около $6 \cdot 10^4$.

На рис. 6 (слева) показаны RT-зависимости для двух тонкостенных дрейфовых трубок первого и второго слоев прототипа, расположенных в чувствительной области EUEDET. В правой части рисунка приведены эффективности этих строу по их радиусу. Средняя толщина газового слоя в трубке диаметром 4 мм для $\sim 70\%$ ее диаметра составляет $\sim 3,6$ мм и далее уменьшается, поэтому при недостаточно высоких коэффициентах газового усиления или/и при недостаточно низких порогах дискриминации аналоговой электроники возможно некоторое понижение эффективности из-за больших флуктуаций ионизационных потерь релятивистских частиц. Пороги дискриминации (Tr2) аналоговой электроники трех из четырех ТДТ были $\sim 4,5$ фКл и порог (Tr1) четвертой трубки был на $\sim 35\%$ ниже. Видно возрастание эффективности с ~ 86 до 98% при уменьшении порога до ~ 3 фКл.

Нечувствительный зазор между соседними трубками каждого слоя составляет (160 ± 5) мкм и определяется толщинами стенок трубок и 20-мкм

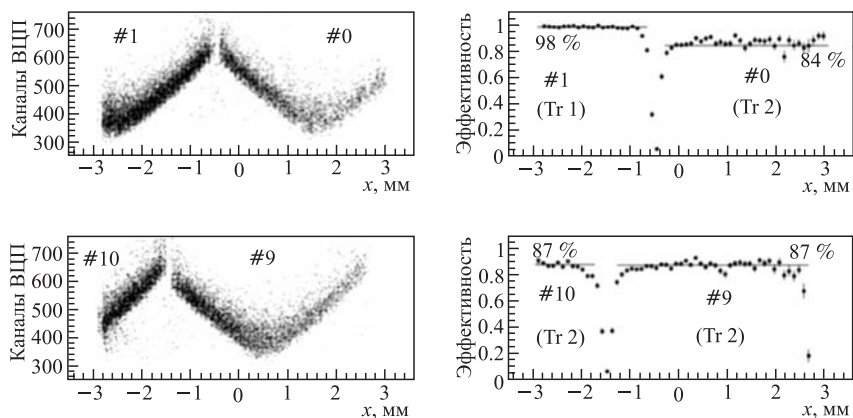


Рис. 6. RT-зависимости для двух дрейфовых трубок разных слоев прототипа (слева) и эффективности этих ТДТ вдоль их радиусов (x , мм) (справа). Анодное напряжение — 1,55 кВ

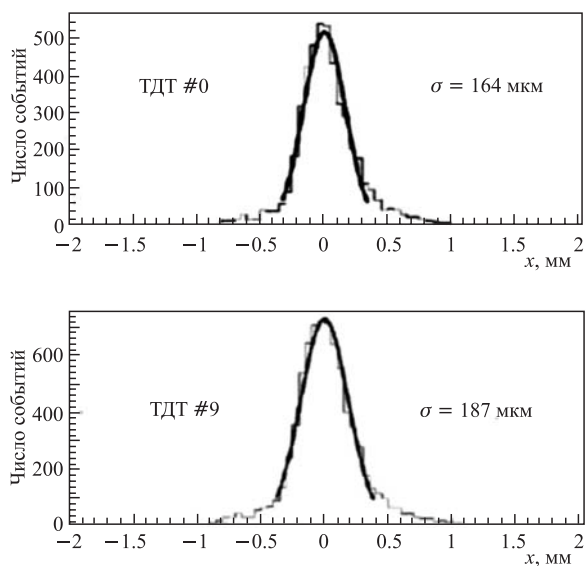


Рис. 7. RT-зависимости для ТДТ, полностью перекрываемых по их радиусу телескопом EUEDET. Распределения, характеризующие пространственное разрешение (σ) ТДТ для различного положения пучка по их радиусу

зазором между их внешними поверхностями. Видимая на рис. 6 неэффективность определяется этой областью и некоторым снижением эффективности вблизи катодов. Изменение эффективности вдоль радиуса трубок (для Tr2 и

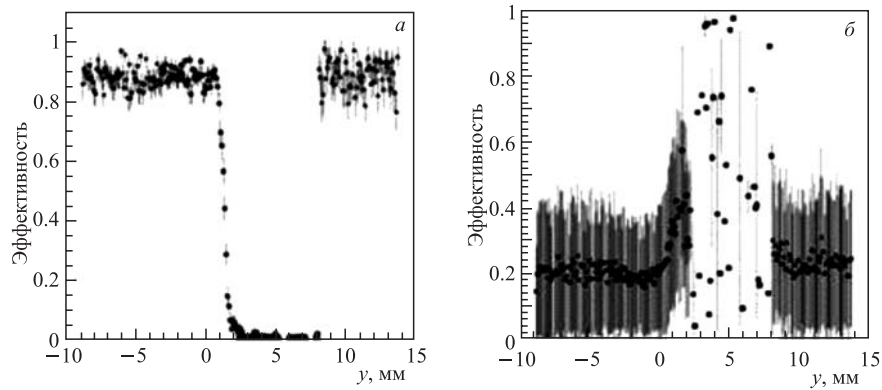


Рис. 8. *а)* Распределение эффективности вдоль анода строу. Неэффективная длина на уровне $\sim 0,9$ от средней эффективности (вне спейсерного узла) составляет ~ 7 мм; *б)* длина ухудшения пространственного разрешения вблизи спейсерного узла составляет ~ 1 мм

при анодном напряжении 1,55 кВ) составляет 50; 20 и 10 % для расстояний от катода ~ 50 , ~ 100 и ~ 300 мкм соответственно. При пороге Tr1 уменьшение эффективности на 10 и 5 % наблюдается на расстоянии ~ 100 и ~ 160 мкм соответственно.

Чувствительная площадь Si небольшая, и отбираются только треки с площади 36 мм. Хиты с расположенных сверху и внизу по пучку Si-детекторов используются для реконструкции треков. Разница между определенным и реконструированным значениями содержит информацию о пространственном разрешении исследуемого детектора.

На рис. 7 приведены типичные распределения отклонений измеренных координат частиц от треков, восстановленных по данным Si-детекторов EUDET. Ширины распределений составляют величины 164 и 187 мкм в зависимости от расположения центра пучка относительно дрейфовых трубок, так как облучение трубок неравномерно (см. рис. 6).

Следует отметить различие в геометрических размерах детекторов, так площадь сегмента прототипа составляет 4 см^2 , что в 11 раз превышает площадь детекторов EUDET. При высокой загрузке детекторов возрастает вероятность восстановления ложных треков, что приводит к появлению пьедестала распределений и может ухудшать получаемые значения разрешения. Измеренные значения демонстрируют, что прототип на основе сегментных трубок имеет типичное пространственное разрешение.

При измерениях нечувствительной длины СУ прототип перемещался относительно EUDET с шагом 5,6 мм (точность перемещений была не хуже

0,1 мм). Рис. 8, *а* показывает, что нечувствительная длина вдоль оси трубок (Y -координата) в области СУ около 7 мм. Рис. 8, *б* показывает, что разрешение практически сохраняется на всей чувствительной длине трубок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан детектор на основе сегментных трубок и исследованы его параметры. В детекторе использованы трубки диаметром 4 мм, полное число каналов регистрации составляет 360. Стеновые исследования показали возможность сборки подобных детекторов по предложенной технологии сборки. Пучковые исследования показали, что временные и пространственные параметры детектора не отличаются от характеристик обычных трековых детекторов на основе дрейфовых трубок. Гранулярность детектора составляет 4 см^2 , и нечувствительная длина в области внутренних элементов трубок менее 5% от полной его чувствительной площади. Ухудшение пространственного разрешения вблизи этих элементов наблюдается на 1,0% площади детектора. Возможность считывания сигналов с сегментов электроникой, установленной вне чувствительной области детектора, позволяет сохранять минимальный его материальный бюджет. Гранулярность трубок таких детекторов может варьироваться от 1 см^2 , а их длина может быть до 4 м. Выполненные исследования показали возможность разработки технологии для создания таких детекторов в режиме их массового производства.

Авторы выражают благодарность Сергею Фурлетову и Юлии Фурлетовой (Боннский университет, Германия) за помощь в получении информации с совместно работающих электронных системах EUDET и SSP, а также Ф. Диттусу (ЦЕРН) и другим коллегам за поддержку и помощь при проведении пучковых измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Inner Detector Technical Design Report. ATLAS TDR 5, CERN/LHCC/97-17. 1997.
2. Abat E. et al. // JINST. Inst. of Phys. Publishing and SISSA. 2008. V. 3. P. 02013.
3. Abbon P. et al. // Nucl. Instr. Meth. A. 2007. V. 577. P. 455–518.
4. Bychkov V. N. et al. // Nucl. Instr. Meth. 2006. V. 556. P. 66–79.
5. Davkov V. et al. Письма в ЭЧАЯ. 2007. Т. 4, №4(140). С. 545–551.
6. Davkov Ket et al. // Nucl. Instr. Meth. A. 2008. V. 584 P. 285–290

7. *Vasilyev S. E. et al.* // ПТЭ. 2008. № 6. Р. 11–15; Instr. and Exp. Techniq. 2008. V. 51, No. 6. P. 820–825.
8. *Давков К. и др.* // Письма в ЭЧАЯ. 2010. Т. 7, № 2(158). С. 223–231.
9. *Viriasov K. S. et al.* JINR, E13-2005-127, Dubna, 2005.
10. *Кекелидзе Г. Д. и др.* // Письма в ЭЧАЯ. 2010. Т. 7, № 3(159). С. 342–346.
11. Laben S.p.A. 20090 VIMODRONE (Milano), Italy—S.S. Padana Superiore 90.
12. *Богуславский И. В. и др.* Сообщение ОИЯИ P13-2007-120, Дубна, 2007.
13. <http://www.eudet.org>

Получено 4 июня 2010 г.

Редактор *М. И. Зарубина*

Подписано в печать 21.06.2010.

Формат 60 × 90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 0,93. Уч.-изд. л. 1,10. Тираж 325 экз. Заказ № 57036.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.

E-mail: publish@jinr.ru

www.jinr.ru/publish/