

P13-2013-100

Н. А. Кучинский, В. А. Баранов, В. Н. Дугинов, Ф. Е. Зязюля*,
А. С. Коренченко, А. О. Колесников, Н. П. Кравчук,
С. А. Мовчан, А. И. Руденко, В. С. Смирнов,
Н. В. Хомутов, В. А. Чеховский*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КАТОДНОЙ
ПОВЕРХНОСТИ ДРЕЙФОВОЙ ТРУБКИ
ДЛЯ СОЗДАНИЯ ТРЕКОВОГО ДЕТЕКТОРА
С ВЫСОКОЙ ЗАГРУЗОЧНОЙ СПОСОБНОСТЬЮ

Направлено в журнал «Приборы и техника эксперимента»

* Национальный научно-учебный центр физики частиц
и высоких энергий Белорусского государственного
университета, Минск

Кучинский Н. А. и др.

P13-2013-100

Использование катодной поверхности дрейфовой трубки для создания трекового детектора с высокой загрузочной способностью

Проблема загрузочной способности детекторов является актуальной для физики высоких энергий в связи с постоянным ростом светимости современных ускорительных комплексов. Один из широко используемых трековых детекторов — строу-детектор на основе дрейфовых трубок. Загрузочная способность этих детекторов ограничена параметрами канала регистрации электроники считывания. Традиционным способом повышения загрузочной способности таких детекторов является увеличение их гранулярности (количества каналов регистрации) за счет уменьшения диаметра трубок и/или деления анодной проволоки на две части с целью уменьшения загрузки на канал. Предложен и испытан новый способ создания строу-детекторов с высокой загрузочной способностью, основанный на делении катода каждой трубки на части и независимом считывании информации с каждой из них.

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

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2013

Kuchinskiy N. A. et al.

P13-2013-100

The Use of Segmented Cathode of a Drift Tube for Designing a Track Detector with a High Rate Capability

Detector rate capability is one of the main parameters for designing a new detector for high energy physics due to permanent rise of beam luminosity of modern accelerators. One of the useful detectors for particle track reconstruction is a straw-detector based on drift tubes. Rate capability of such detectors is limited by the parameters of readout electronics. The traditional method of increasing detector rate capability is increasing their granularity (a number of «elementary» detectors = readout channels) by reducing of the straw diameter and/or by dividing the straw anode wire into two parts (for decreasing the rate per readout channel). A new method of designing straw-detectors with a high rate capability is presented and tested. The method is based on dividing the straw cathode into parts and independent readout of each part.

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, 2013

Предложен и испытан новый способ создания строу-детекторов с высокой загрузочной способностью, основанный на использовании широко распространенной методики катодного считывания в газоразрядных детекторах в применении к строу-трубкам. Катод строу-трубки делится на электрически изолированные части с независимым считыванием информации с каждой из них. Применение данного способа позволяет организовать в рабочем объеме одной трубки независимые по съему информации «элементарные детекторы» что, в свою очередь, позволяет обеспечить высокую загрузочную способность строу-трубки в целом. Нет необходимости уменьшать диаметр трубок до минимально возможных значений при создании строу-детектора для больших нагрузок или делить анодную проволочку на части, что вызывает технологические и конструктивные трудности. При этом в рабочий объем трубки не вносится дополнительное вещество, ухудшающее «прозрачность» детектора и эффективность регистрации. Данный способ обладает высоким уровнем технологичности.

Детекторы на основе тонкостенных дрейфовых трубок (строу) диаметром от 4 до 10 мм широко используются в настоящее время как координатные детекторы, например, в таких экспериментах как SDC, ATLAS, COMPASS [1–3]. Эти детекторы обладают рядом преимуществ: высоким координатным разрешением (по времени дрейфа), порядка 100 мкм, эффективностью реконструкции треков, близкой к 100 %, загрузочной способностью порядка 500 кГц на канал регистрации, простотой конструкции и, соответственно, более низкой стоимостью. Кроме того, цилиндрическая геометрия трубки обеспечивает хорошие ее механические свойства при малой массе. Каждая трубка является самодостаточной, и при отказе одной из них работа оставшихся не нарушается.

Благодаря этим качествам количество используемых в экспериментах трубок непрерывно увеличивается и достигает, например в ATLAS TRT, ~ 300 000 шт. [4]. При этом длина их может достигать почти 4 м [5].

В настоящее время в связи с ростом интенсивности современных ускорителей остро ставится вопрос повышения загрузочной способности отдельных детекторов, что достигается либо увеличением их быстродействия, либо уменьшением их размеров. Это относится и к строу-трубкам, где вопрос уменьшения загрузки на канал регистрации решается обычно уменьшением диаметра трубки. Другой подход, предложенный в работе [6], заключается в электрическом разделении анодной проволочки на части и индивидуальном

считывании каждой из них. Такое решение было предложено и реализовано в детекторе TRT [4] эксперимента ATLAS на LHC, где анодная проволочка строу-трубки делилась на два электрически независимых отрезка с помощью стеклянного изолятора длиной около 7 мм и диаметром 0,25 мм. Это позволило в объеме одной строу-трубки иметь два независимых детектора, которые считываются с ее торцов, и снизить загрузку канала регистрации в два раза.

В работах [7, 8] эта идея была развита. Разработаны строу-трубки с разделением анодной проволочки на электрически изолированные отрезки с независимым считыванием сигнала и подачей высокого напряжения через стенку трубки с помощью специально сконструированных спейсеров. При этом длина такого анодного отрезка может быть доведена до нескольких сантиметров [9]. Необходимо отметить, что при таком способе увеличения нагрузочной способности строу-детектора теряется одно из основных его преимуществ — «прозрачность» — из-за большого количества вносимого вещества. Кроме того, снижается эффективность регистрации строу-трубки в области спейсеров.

Нами предлагается решить задачу увеличения нагрузочной способности строу-трубки путем разделения ее катодной поверхности на электрически изолированные сегменты. При этом сигнал от лавины на анодной проволочке наводится на один или несколько катодных сегментов в зависимости от диаметра трубки, длины сегмента и места лавины относительно линии электрического разделения последних. Таким образом, в объеме одной строу-трубки реализуется несколько условно независимых детекторов. Информация с катодных сегментов используется как для определения радиальной координаты трека частицы по времени дрейфа первичной ионизации, так и для локализации пространственного положения трека вдоль строу-трубки по номеру сработавшего катодного сегмента.

В наших измерениях использовались трубки диаметром 10 мм и длиной 300 мм, сделанные из односторонне металлизированного лавсана (майлара) толщиной 36 мкм. Металлизация двуслойная: медь и золото толщиной 0,05 и 0,02 мкм соответственно. Сопротивление проводящего покрытия 40 Ом/квдрат. Поперечный разрез в металлизации на ленте, из которой изготавливались трубки, делался предварительно. Технология изготовления трубок способом ультразвуковой сварки ленты подробно описана в работе [10].

Трубки, изготовленные с помощью ультразвуковой сварки, имеют более тонкие стенки, чем при использовании традиционной технологии навивания ленты на стержень. Такие трубки выдерживают избыточное давление до 8 атм, в том числе способны работать в вакууме.

На рис. 1 показана форма катодных сегментов на ленте, использованной при изготовлении описываемых в настоящей работе трубок диаметром 10 мм. Длина испытываемых трубок (300 мм) определялась имеющимися механическими устройствами для ее перемещения на испытательном стенде.

Диаметр анодной проволоочки — 30 мкм. Использовалась рабочая газовая смесь $\text{Ar} : \text{CO}_2$ (70:30) при избыточном давлении 10 мм рт. ст. и рабочее напряжение 3200 В.

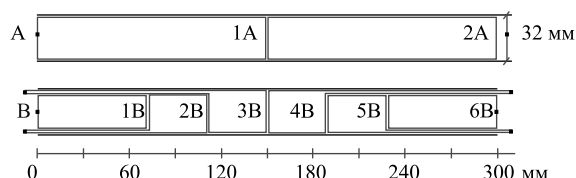


Рис. 1. Развертка поверхности строу-трубки с двумя (А) и шестью (В) катодными сегментами

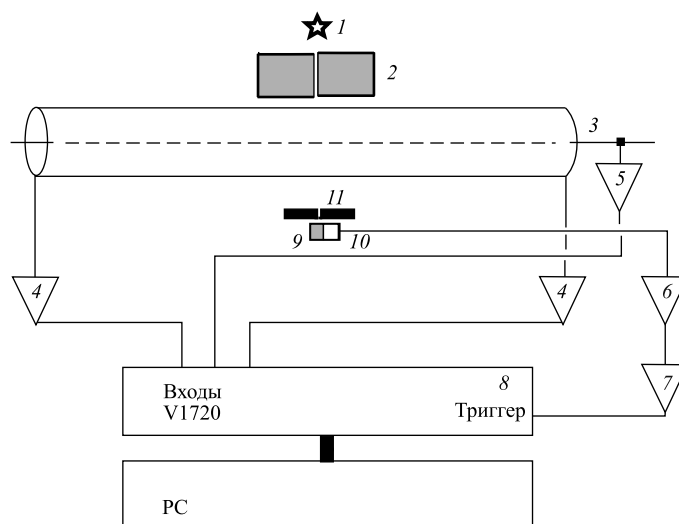


Рис. 2. Блок-схема установки для исследования параметров строу-трубки: 1 — ^{90}Sr ; 2 — щелевой коллиматор (1 мм); 3 — анод (30 мкм); 4 — катодные усилители; 5 — анодный усилитель; 6 — усилитель SiPM; 7 — дискриминатор; 8 — оцифровыватель сигналов в режиме реального времени; 9 — сцинтиллятор $2 \times 2 \times 5$ мм; 10 — SiPM; 11 — щелевой коллиматор (1×5 мм)

Схема измерений показана на рис. 2. Источник электронов ^{90}Sr облучал строу-трубку, которая с помощью прецизионной механической системы перемещалась относительно радиоактивного источника и сцинтилляционного счетчика.

Сцинтилляционный счетчик, использовавшийся для триггера, был изготовлен из сцинтилляционного волокна сечением 2×2 мм фирмы VICON и имел длину 5 мм. Регистрация света производилась с помощью SiPM типа SSPM-0701BG производства Photonique SA [11] с площадью активной зоны

4,41 мм² и числом пикселей 1764. Перед счетчиком установлен свинцовый коллиматор в форме щели размером 1 × 5 мм, ориентированной перпендикулярно к оси трубки.

Катодные и анодные сигналы усиливались соответственно усилителями на микросхемах КАТОД-1 [12] и Ampl. 8.3 [13] и оцифровывались в режиме реального времени диджитайзером V1720 (CAEN, 250M, 12Bit) [14]. Далее информация передавалась для обработки в компьютер.

Нами были созданы и испытаны строу-трубки с двумя и шестью катодными сегментами (см. рис. 1) и выводом сигналов с сегментов на торцы трубок с помощью полосковых линий (на их внутренней металлизированной поверхности).

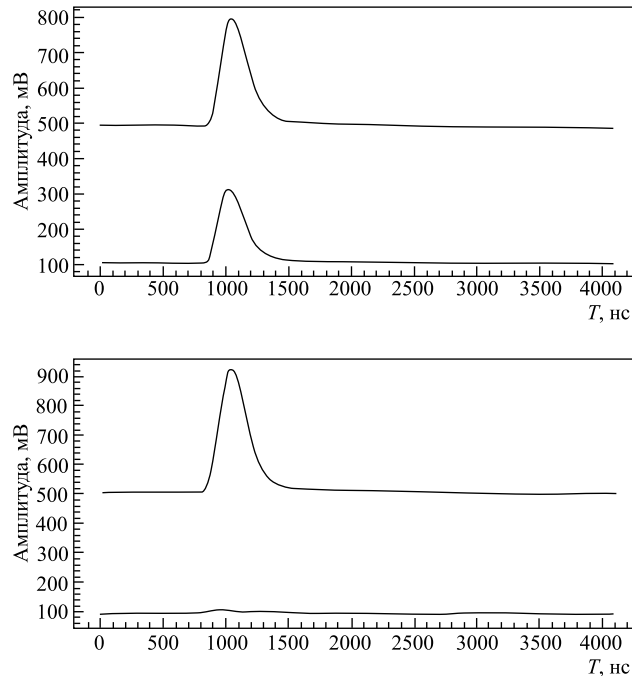


Рис. 3. Примеры формы сигналов с катодных сегментов 1А и 2А. Вверху — событие в зоне электрического разделения сегментов, внизу — событие в центре одного из сегментов

Для трубки с двумя катодными сегментами на рис. 3 показаны типичные формы сигналов с двух сегментов для события в районе электрического разделения сегментов (вверху) и события на одном из сегментов (внизу). Кривая эффективности для этой трубки в зависимости от продольной координаты (z) дана на рис. 4. Катодный сегмент считался сработавшим, если амплитуда сигнала с него превышала величину 25 мВ.

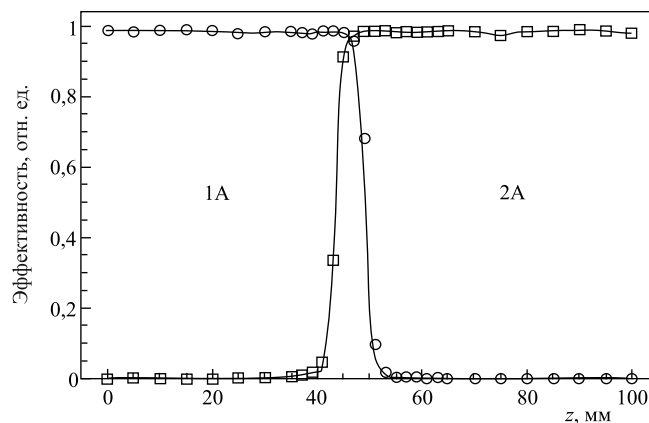


Рис. 4. Эффективность регистрации катодных сегментов 1А и 2А для строу-трубки с двумя сегментами в зависимости от положения ^{90}Sr вдоль анода. Порог дискриминации сигналов — 25 мВ. $NV = 3200\text{ В}$

Результаты измерения эффективности и средней амплитуды сигналов от продольной координаты для трубки с шестью катодными сегментами приведены на рис.5. Просканирована область строу-трубки длиной 100 мм ($Z = 75\text{--}175\text{ мм}$) с катодными сегментами 1В–4В (см. рис. 1, В). Уровень дискриминации для сигналов с сегментов составлял величину 50 мВ. Данный порог был выбран из измерения зависимости эффективности срабатывания катодного сегмента от порога дискриминации (рис. 6) и формы амплитудного спектра с сегмента (рис. 7).

Большой интерес представляет исследование возможности использования сигнала с катодных сегментов для определения радиальной координаты трека частицы по времени дрейфа. Для этого было проведено измерение временного спектра при использовании анодных или катодных сигналов относительно сцинтилляционного триггера. Результаты приведены на рис. 8. Видно, что формы временных спектров для сигналов с катодного сегмента и анода похожи, что подтверждает возможность точного измерения координаты трека частицы по времени дрейфа с помощью катодных сигналов.

Таким образом, показана возможность создания строу-трубки с дроблением ее по длине на отдельные катодные сегменты, с каждого из которых сигналы снимаются независимо. При этом в случае неравномерной загрузки строу-трубки по ее длине возможно выравнивание загрузки между катодными сегментами путем соответствующего разбиения трубки по длине.

Как было сказано выше, в тестируемых нами трубках сигналы с внутренних катодных сегментов выводились на торцы трубки с помощью плосковых линий шириной 1,0 мм, созданных на внутренней металлизированной поверхности. Очевидно, что число таких линий не может быть большим.

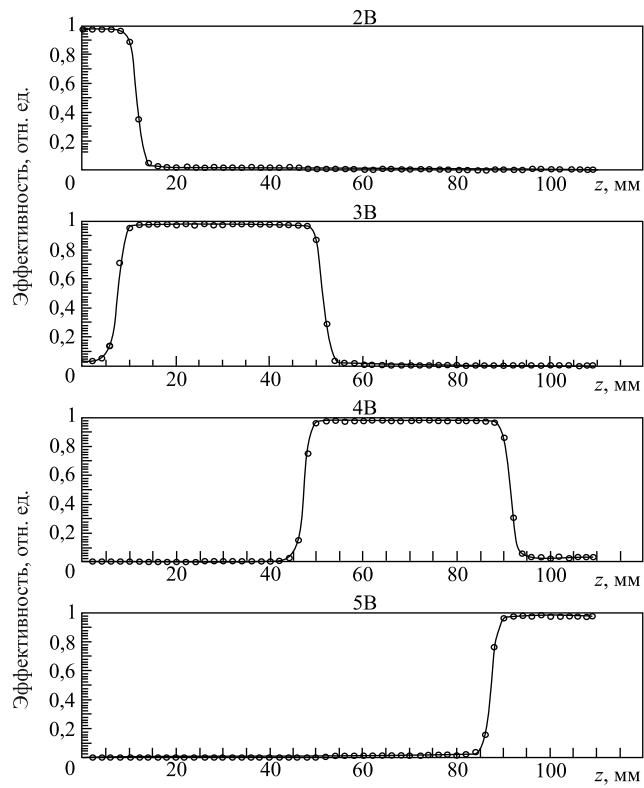


Рис. 5. Эффективность регистрации катодных сегментов 2В–5В для строу-трубки с шестью сегментами в зависимости от положения ^{90}Sr вдоль анода. Порог дискриминации сигналов — 50 мВ. $NV = 3200$ В

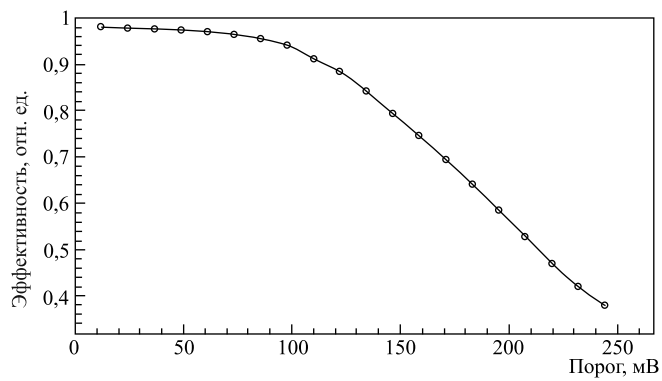


Рис. 6. Эффективность регистрации с одного из катодных сегментов трубки В в зависимости от порога дискриминации. $NV = 3200$ В

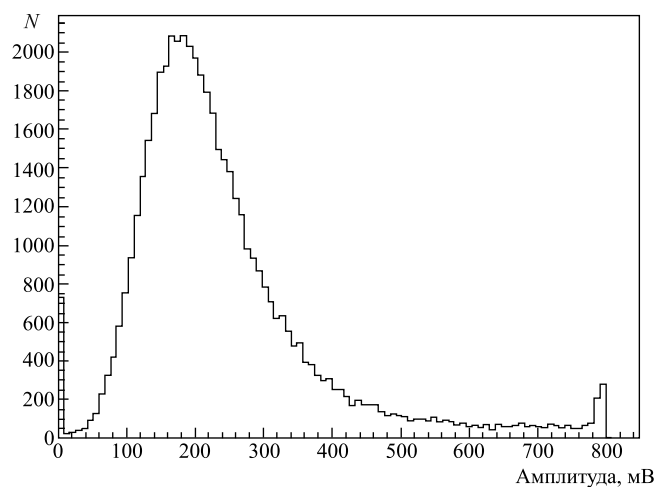


Рис. 7. Амплитудный спектр сигналов для одного из катодных сегментов трубки В.
 $HV = 3200 \text{ В}$

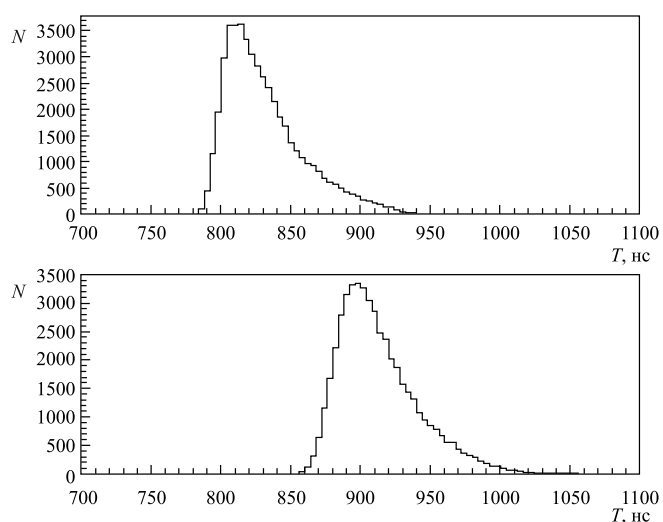


Рис. 8. Временной спектр сигналов с анода (вверху) и с катодного сегмента строу-
 трубки В (внизу)

Проблема вывода катодных сигналов при числе сегментов больше шести может быть решена с помощью отверстий в стенке трубки. С помощью проводящего клея, например, обеспечивается электрический контакт между внутренним катодным сегментом и контактной площадкой на внешней стороне трубки. Электрические контакты и катодные сегменты делаются на ленте на подготовительном этапе, до производства строу-трубок. Наличие контактных

площадок на внешней стороне трубки открывает широкие возможности для различных вариантов считывания информации с катодных сегментов.

Преимуществами предложенного нами способа повышения загрузочной способности строу-трубок с помощью использования катодных сегментов являются сохранение их высокой «прозрачности» для частиц, возможность получения сразу двух координат трека частицы и высокая технологичность изготовления строу-трубок такого типа. При этом некоторый недостаток, присущий трубкам, изготовленным методом продольной ультразвуковой сварки пленки, такой как наличие полосы без металлизации вдоль сварочного шва, не сказывается на работе трубки и точности измерения координаты трека частицы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен и испытан способ увеличения загрузочной способности строу-детектора за счет разбиения на электрически изолированные части катодной поверхности строу-трубок с независимым считыванием каждой из них. Такой подход отличается высокой технологичностью и сохраняет все преимущества, присущие строу-детектору. Строу-трубки указанного типа могут изготавливаться, например, из ленты с предварительно «нарисованными» катодными секторами и полосковыми линиями для вывода сигналов методом продольной ультразвуковой сварки.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 13-02-00745 и гранта Белорусский ФФИ – ОИЯИ 2013 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Arai Y. *et al.* // Nucl. Instr. Meth. A. 1996. V. 381. P. 355–365.
2. CERN/LHCC/97-16. 1997. V. I, II.
3. Abbony P. *et al.* // Nucl. Instr. Meth. A. 2007. V. 577. P. 455–518.
4. ATLAS ID TRT. CERN/LHCC/97-17. 1997. V. 2.
5. Bychkov V. N. *et al.* // Nucl. Instr. Meth. A. 2006. V. 556. P. 66–79.
6. Oh S. H., Wang C. H., Ebenstein W. L. // Nucl. Instr. Meth. A. 1999. V. 425. P. 75–83.
7. Davkov K. *et al.* // Nucl. Instr. Meth. A. 2008. V. 584. P. 285.
8. Bazylev S. N. *et al.* // Nucl. Instr. Meth. A. 2011. V. 632. P. 75.
9. Davkov V. *et al.* // Part. Nucl., Lett. 2007. V. 4(140). P. 545–551; arXiv:physics/0701133.
10. Ambrosino F. *et al.* TDD NA62-10-07. 2010. P. 258–261.
11. <http://www.photonique.ch>
12. Golutvin I. A. *et al.* JINR Preprint E13-2001-151. Dubna, 2001.
13. Alexeev G. D. *et al.* // Nucl. Instr. Meth. A. 2001. V. 462. P. 494.
14. CAEN Electronic Instrumentation, 2010. Products Catalog, V1720.

Получено 5 сентября 2013 г.

Редактор *М. И. Зарубина*

Подписано в печать 18.03.2014.

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

Усл. печ. л. 0,69. Уч.-изд. л. 0,85. Тираж 265 экз. Заказ № 58213.

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

E-mail: publish@jinr.ru

www.jinr.ru/publish/