

ОПТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОТБОРА СТРОУ ДЛЯ ТОРЦЕВОГО ТРЕКЕРА ЕС MPD

Н. Григалашвили, Г. Д. Кекелидзе¹, В. В. Мялковский, В. Д. Пешехонов

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

В работе описывается оптический метод оценки величины отклонения от прямолинейности строу диаметром 4 мм и длиной 60 см, устанавливаемых в кольцевые рамы детектора. При этом допустимое максимальное отклонение от прямолинейности строу не превышает 400 мкм, а изменения амплитуд сигналов вдоль строу от источника ^{55}Fe не более 9%.

Результаты оптического контроля прямолинейности достаточно хорошо согласуются с данными, получаемыми более точным методом определения смещения анода от оси строу измерением амплитудных характеристик с использованием источника ^{55}Fe .

The paper describes the optical method for measurement of the straightness deviation in the straws with a diameter of 4 mm and a length of 60 cm mounted in the ring frames of the detector and for defining the parameters for the straw selection. With this method, the maximal acceptable deviation from straightness in a straw does not exceed 400 microns and the changes of the amplitudes of signals from a ^{55}Fe source along the straw do not exceed 9%.

The results of the optical straightness control are in good agreement with the data obtained with a more accurate method of determining the offset of the anode from the straw axis by measuring amplitude characteristics with the use of the ^{55}Fe source.

PACS: 07.05.Fb; 06.20.-f

ВВЕДЕНИЕ

В эксперименте MPD NICA важное место отводится множественности и спектральным характеристикам вторичных заряженных частиц, образованных во взаимодействиях ядер с ядрами. В составе детектора MPD предполагается использование трекера переднего направления (End-Cap, ЕС) на основе тонкостенных дрейфовых трубок (строу) совместно с TPC и TOF для регистрации продуктов столкновения ионов Au–Au в диапазоне псевдобыстрот $1 < |\eta| < 2,2$ [1].

Был разработан и изготовлен полномасштабный инженерный прототип кольцевого детектора ЕС [2], аналогом которого являлся кольцевой детектор TRT ATLAS [3]. Однако в отличие от TRT разработанный прототип содержит не четыре, а шесть слоев строу, и они установлены как в радиальном направлении, так и с углами наклона к радиусу, равными $\pm 7^\circ$, для определения не только ϕ (радиальные строу), но и U-, V-координат. Кроме того, высоковольтное напряжение подается на аноды строу.

¹E-mail: kgd@sunse.jinr.ru

ЕС состоит из четырех модулей с пятью кольцевыми submodule в каждом. Submodule содержит шесть слоев по 600 строу в каждом. Длина строу в разработанном прототипе равна 600 мм, диаметр 4 мм. Суммарное количество каналов регистрации во всех модулях 72000.

Необходимость высокой однородности каналов регистрации многоканального детектора требует сохранения анод-катодного расстояния в пределах лучше чем 400 мкм [4]. Вариации этой величины возможны из-за плохой соосности анода и катода, нецилиндричности трубок, гравитационного и электростатического провиса анодной проволоки и искривления строу, что требует специальных методов контроля на определенных этапах изготовления детектора.

СЕКТОРНЫЙ ПРОТОТИП ДЕТЕКТОРА

С учетом опыта создания детектора TRT ATLAS было принято решение упростить технологию создания детектора ЕС МРD и снизить его стоимость, тем более что для увеличения акцептанса чувствительная площадь в сравнении с TRT увеличивается в 1,6 раза. Задача была решена следующим образом. На специализированном высокоточном оборудовании изготавливались стеклотекстолитовые ленты с просеченными в них прецизионными отверстиями

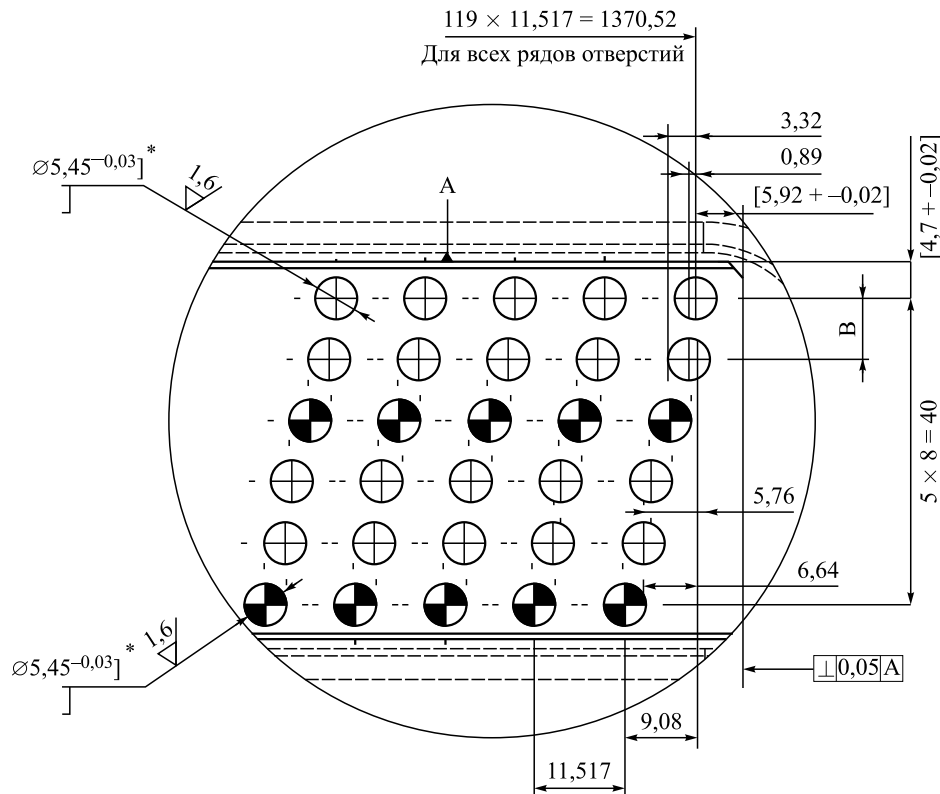


Рис. 1. Фрагмент стеклотекстолитовой ленты одного типа с просеченными прецизионными отверстиями

ными отверстиями [5] Затем на сборочном столе на основе стеклотекстолитовых лент (рис. 1) собирались однослойное внутреннее и двухслойное наружное кольца, готовые к установке в них строу с заданной длиной. После их установки каждое строу фиксировалось эпоксидным клеем в отверстиях внутреннего кольца, а промежуток между слоями наружного кольца заливался клеем, что фиксировало установленные в них строу. Общий вид фрагмента собранного полномасштабного прототипа дан на рис.2. Проверка прототипа показала хорошую его механическую жесткость и требуемую геометрическую точность позиционирования в нем строу. При этом было объединено в один сборочный процесс создание поддерживающих строу кольцевых рам, а также установка и фиксация в них строу. Высокая плотность установленных трубок усложняет их замену, что указы-

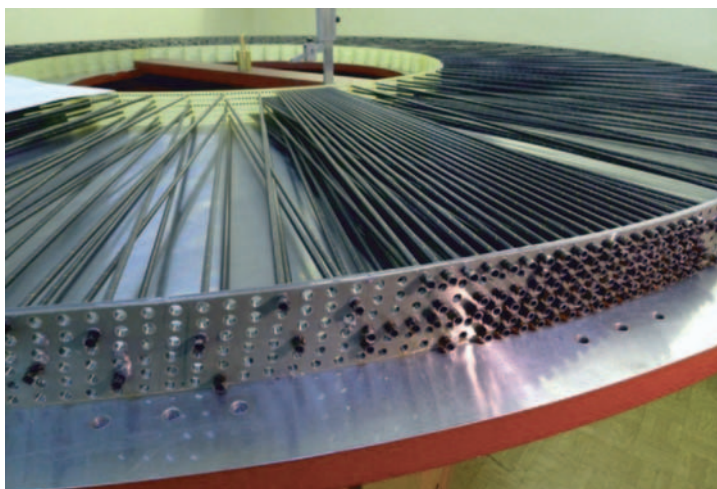


Рис. 2. Фрагмент полномасштабного прототипа с установленными строу диаметром 4 мм

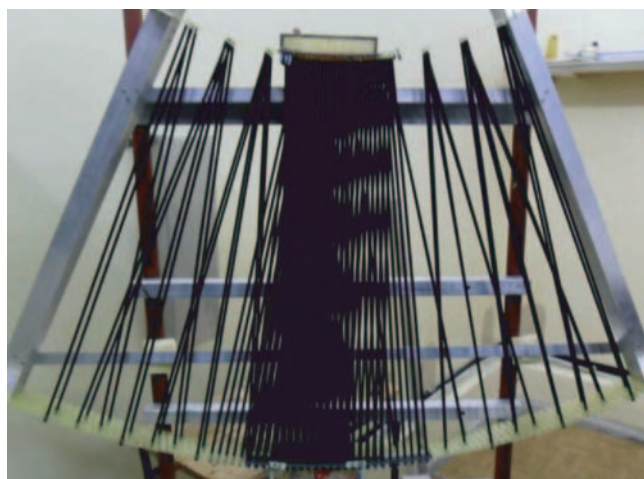


Рис. 3. Секторный прототип ЕС MPD NICA

ваит на необходимость проверки их на прямолинейность в процессе установки в кольца, т. е. до введения в строу проволочных анодов.

На рис. 2 показан фрагмент прототипа с кольцевыми рамами диаметром 2200 и 1000 мм, в котором видны установленные с шагом 6° в каждый из шести слоев для обеспечения его жесткости и цилиндричности строу, а также собранный небольшой угловой сегмент с полным числом строу. Основной целью создания прототипа являлась проверка возможности в дальнейшем создания по предложенной технологии submodule EC требуемого размера в режиме массового производства.

Для отработки методики контроля прямолинейности строу до установки в них анодов был изготовлен секторный прототип, содержащий 200 строу длиной 60 см, расположенных в шести слоях (рис. 3). Строу первого и четвертого слоев расположены радиально, второго и пятого — под углом $+7^\circ$, а третьего и шестого под углом -7° к радиусу. При установке строу в рамы прототипа использовались наборы концевых пластиковых элементов, обеспечивающих соосность анодных проволок с катодами строу не хуже 50 мкм и фиксацию их с натяжением (65 ± 10) г.

МЕТОД ВИЗУАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ПРЯМОЛИНЕЙНОСТИ СТРОУ

Для сборки EC TRT ATLAS в ЛФЧ ОИЯИ была разработана автоматизированная система контроля прямолинейности строу длиной 39 см, устанавливаемых в кольцевые рамы с отсутствующими в них анодными проволоками [6, 7]. Используемый метод заключался в анализе характеристик светового пятна от проходящего через строу пучка света. Отраженный от экрана свет попадает в строу через отверстие в ее концевой втулке. Установленная с противоположного конца строу web-камера (с дополнительной оптикой, обеспечивающей глубину резкости в центре строу) фиксирует и передает в ПК световое изображение в виде набора концентричных колец, степень искажения которых характеризует кривизну строу.

С учетом особенностей детектора EC MPD NICA, заключающихся в увеличении длины строу до 60 см и при ориентации их не только в радиальном расположении,

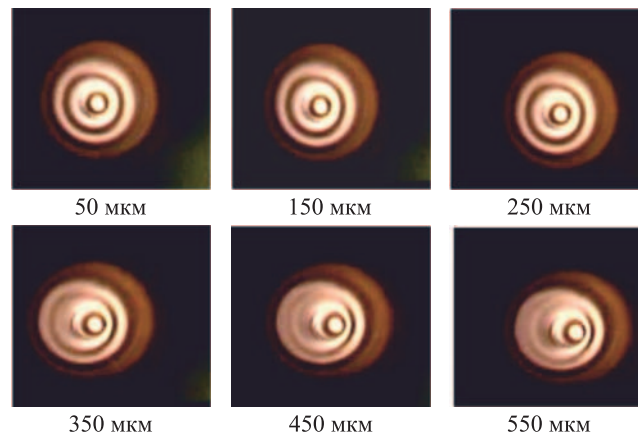


Рис. 4. Световые изображения в виде набора концентричных колец, полученные с помощью web-камеры при принудительном изгибе строу в ее центре с шагом 50 мкм, принятые в качестве эталонных. На рисунке представлены изображения с шагом 100 мкм

но и под углами $\pm 7^\circ$, была создана подобная система. Для сравнительного анализа величины искажения прямолинейности строу для эталонной строу длиной 60 см были получены световые изображения концентрических колец проходящего через строу света. Эталонная строу при этом принудительно изгибалась в центре. Величина изгиба (сагитты) увеличивалась с шагом 50 мкм от минимальной величины (менее 50 мкм) до 550 мкм.

Для оценки кривизны установленных в прототип строу с различной их прямолинейностью полученные изображения сравнивались с изображениями от эталонной строу (рис. 4). Это позволяет с достаточной точностью классифицировать установленные в рамы детектора строу по их кривизне и при необходимости проводить замену до установки в них анодных проволок.

Изображения световых колец, полученных с установленных строу, в дальнейшем сопоставлялись с их амплитудными характеристиками, полученными при облучении прототипа источником ^{55}Fe при одинаковом для всех строу анодном напряжении.

ВЛИЯНИЕ КРИВИЗНЫ СТРОУ НА АМПЛИТУДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

В изогнутой строу амплитуда сигнала, зависящая от анод-катодного расстояния, изменяется в области искривления. Эталонная строу (с идеальной прямолинейностью) при продуве газовой смесью Ar/CO_2 облучалась источником γ -квантов с энергией 5,9 кэВ. Строу с установленным анодом принудительно изгибалась в центре микрометрическим винтом с шагом 50 мкм, после чего набирался спектр сигналов, определялся центр тяжести амплитудного пика и энергетическое разрешение. На рис. 5, а показано изменение газового усиления в середине анода в зависимости от его смещения от оси строу [8]. Спектры, характеризующие изменения энергетического разрешения строу, показаны на рис. 5, б.

С изменением расстояния между анодом и катодом на 450 мкм периодически возникали электрические разряды, которые могут привести к «прожигу» стенок строу и в дальнейшем к потере работоспособности. Это указывает на необходимость ограничения кривизны строу величиной 400 мкм, при которой еще отсутствуют электрические разряды и газовое усиление меняется не больше, чем на 9 %.

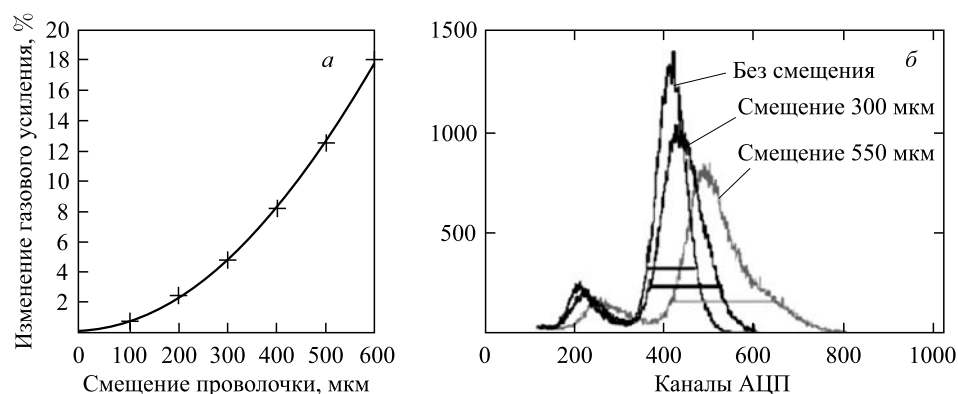


Рис. 5. а) Зависимость газового усиления от смещения анодной проволоки относительно оси строу при принудительном изгибе; б) амплитудный спектр сигналов от источника ^{55}Fe для строу со смещением проволоки от центра на 300 и 550 мкм. Газовая смесь ArCO_2 (80/20), $G = 10^4$

ПРОВЕРКА ПРЯМОЛИНЕЙНОСТИ СТРОУ ПРОТОТИПА АМПЛИТУДНЫМ АНАЛИЗОМ

Для изучения качества отбраковки строу с плохой прямолинейностью в процессе их установки в кольцевые рамы субмодуля был создан стенд, позволяющий сравнивать метод отбора по изображению световых колец с методом, основанным на измерении амплитудных характеристик сигналов вдоль строу от коллимированного источника ^{55}Fe . Стенд содержал секторный прототип с системой газового обеспечения, электронику считывания и передачи данных в компьютер, источники высоковольтного и низковольтного напряжения, источник ^{55}Fe , а также оптическую систему, позволяющую получать изображение световых колец для каждой установленной строу до установки в нее анода. В состав стенда входил также мониторный счетчик с прямолинейной строу, аналогичный строу прототипа, включенный в общую систему газового обеспечения и обеспечивающий контроль за изменением газового усиления из-за вариаций температуры и давления окружающей среды.

Отклонения от прямолинейности можно характеризовать вариациями амплитуды сигнала вдоль анода, вызываемыми изменением локального газового усиления, определяемыми как

$$\frac{\Delta A}{A} = \frac{2(A_{\max} - A_{\min})}{A_{\text{вх}} + A_{\text{вых}}},$$

где A_{\max} и A_{\min} — максимальная и минимальная величины сигнала, а $A_{\text{вх}}$ и $A_{\text{вых}}$ — амплитуды сигналов в начале и в конце строу по направлению потока газовой смеси соответственно. Полученные для каждой строу значения $\Delta A/A$ служили для оценки кривизны строу по приведенной на рис. 5, а зависимости. Типичные спектры сигналов от источника ^{55}Fe , соответствующие различным величинам смещения анода, приведены на рис. 5, б.

Сравнение значений смещения анодов, полученных оптическим методом и определяемых по калибровочным изображениям (приведенным на рис. 4), с полученными методом

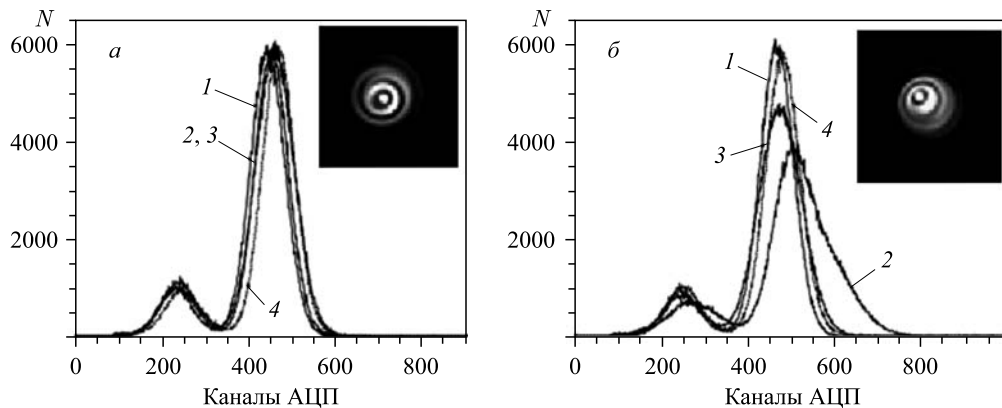


Рис. 6. Спектры сигналов при облучении строу источником ^{55}Fe и соответствующее световое пятно, полученное методом оптического контроля. 1 — позиция в положении источника на расстоянии 5 см от верхнего конца строу, при облучении строу 5 см; 3 — 5 см от нижнего конца; 2 — в центре; 4 — спектр с мониторной строу

амплитудных измерений показало достаточно хорошее их соответствие. На рис. 6 для примера представлены спектры сигналов, полученные при облучении двух строу прототипа источником ^{55}Fe в их середине и по краям, а также соответствующие им изображения световых колец. Разброс амплитуд сигналов по длине анода на рис. 6, а составляет 2,3 %, что соответствует смещению анода от центра на ~ 180 мкм. Анализ светового изображения этой строу указывает на ее кривизну в пределах от 150 до 200 мкм. На рис. 6, б приведены спектры сигналов второй строу, кривизна которой оптическим методом оценена в диапазоне от 400 до 450 мкм. По разбросу амплитуд сигналов — 10,3 % строу имеет близкое значение кривизны ~ 440 мкм. Выполненные измерения на всех установленных в прототип строу подтвердили достаточно хорошее соответствие обоих методов определения кривизны строу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оптический метод оценки отклонения от прямолинейности устанавливаемых в рамы камер строу диаметром 4 мм и длиной 60 см обеспечивает их эффективную отбраковку при кривизне более 400 мкм, что необходимо для их долговременной работы в условиях высоких радиационных нагрузок. Результаты метода оптического контроля прямолинейности строу достаточно хорошо согласуются с результатами, получаемыми более точным методом определения смещения анода от оси строу измерением амплитуд сигналов при облучении строу источником ^{55}Fe .

Разработанная система оптического контроля прямолинейности строу с учетом особенностей геометрии детекторов позволяет проводить отбраковку строу на стадии их монтажа до установок анодных проволок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Abraamyan Kh. U. et al. (NICA Collab.)*. The MPD Detector at the NICA Heavy-Ion Collider at JINR // Nucl. Instr. Meth. A. 2011. V. 628. P. 99–102.
2. *Berezin G. S. et al.* Full Scale Prototype of the Circular Track Detector for the Multipurpose Detector Facility at the NICA Acceleration Complex // Phys. Part. Nucl. Lett. 2012. V. 9, No. 2. P. 163–167.
3. *ATLAS Collab.* ATLAS Inner Detector Technical Design Report. CERN/LHCC/97-17, ATLAS TDR 5. 1997.
4. *Akesson T. et al.* Study of Straw Proportional Tubes for a Transition Radiation Detector-Tracker at LHC // Nucl. Instr. Meth. A. 1995. V. 361. P. 440.
5. *Кекелидзе В. Д., Пешехонов В. Д., Топилин Н. Д.* Технологическая оснастка для изготовления строу камер многоцелевого детектора проекта NICA-MPD // Письма в ЭЧАЯ. 2012. Т. 9, № 2(172). С. 294–301.
6. *Golunov A. O. et al.* An Automatic System for Controlling the Quality of Straws Installed in the ATLAS TRT Detector // Nucl. Instr. Meth. A. 2004. V. 524. P. 142–144.
7. *Gusakov Yu. V. et al.* Automated Stand Check of «B» Type TRT ATLAS Wheel Straw Detectors // Phys. Part. Nucl. Lett. 2006. V. 3, No. 3(132). P. 111–117.
8. *Lucotte A. et al.* First Straw Straightness Measurements on a 4-Plane End-Cap ATLAS TRT Wheel. ATLAS Internal Note ATL-INDET-2002-007. 2002.

Получено 14 июля 2014 г.