

ПОЛНОМАСШТАБНЫЙ ПРОТОТИП КОЛЬЦЕВОГО ТРЕКОВОГО ДЕТЕКТОРА УСТАНОВКИ MPD НА УСКОРИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ NICA

*Г. С. Березин, И. В. Богуславский, Н. Григалашвили,
В. И. Давков, К. И. Давков, И. А. Жуков, А. И. Зинченко,
В. Д. Кекелидзе, Г. Д. Кекелидзе, В. М. Лысан, В. В. Мялковский,
В. Д. Пешехонов, Н. Д. Топилин, А. В. Шабунев, В. Д. Чолаков*

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Разрабатываемый коллайдер тяжелых ионов NICA предполагает создание детектора MPD, в составе которого в качестве торцевого трекера (ЕС) может быть использован трекер кольцевого типа на основе тонкостенных дрейфовых трубок (строу), аналогичный TRT внутреннего детектора установки ATLAS. Установленные после TPC идентичные передний и задний модули трекера должны обеспечить регистрацию продуктов столкновения ионов Au–Au в диапазоне псевдобыстрот 1,4–2,1 с хорошими трековыми параметрами реконструируемых событий. Каждый модуль будет содержать 60 кольцевых плоскостей строу, максимальная загрузка которых не будет превышать 0,2 частицы на столкновение. ЕС NICA имеет существенные отличия от аналога, что требует выполнения определенного объема R&D. В статье приведены первые результаты созданного по новой технологии полномасштабного прототипа кольцевых детекторов ЕС NICA.

The heavy-ion collider NICA, being under development, assumes construction of MPD detector where as a mechanical tracker (EC) it can use the tracker based on the thin-walled drift tubes (straws) of the wheel-type, similar to the Inner Detector TRT ATLAS. The identical front and back tracker modules installed after TPC have to provide registration of Au–Au ion collision products in the range of pseudorapidity 1.4–2.1 with good track parameters of the reconstructed events. Each module will contain 60 circular straw planes, whose maximum occupancy will not exceed 0.2 particles per collision. The NICA EC differs significantly from the analog that requires a certain amount of R&D. The article presents the first results of studying the new technology in the construction of the full-scale prototype of the EC ring detectors for NICA.

PACS: 29.20.db; 29.40.Gx

ВВЕДЕНИЕ

Строу-ЕС трекер состоит из двух идентичных модулей, размещаемых в установке с двух сторон относительно точек столкновения пучков после TPC.

С учетом опыта создания детектора ATLAS TRT [1, 2] было принято решение упростить по возможности технологию создания детектора ЕС NICA и уменьшить его стоимость, тем более что для увеличения требуемого акцептанса чувствительная площадь в сравнении с TRT увеличивается в 1,6 раза. Кроме того, для определения не только ϕ -

(радиальные строу), но и U , V -координат детектор должен содержать строу, установленные с углом наклона к радиальному направлению. Целесообразно также, в отличие от TRT, устранить подачу высокого напряжения на внешнюю поверхность строу. Модули трекера устанавливаются в ограниченном по пучку пространстве, что вводит ограничения на максимально возможную их толщину.

Каждый из двух модулей содержит 60 кольцевых слоев строу диаметром 4 мм, расположенных последовательно в радиальном и наклонных к нему на $\pm 7^\circ$ направлениях. Чтобы исключить изготовление прецизионных углепластиковых колец с высокоточными отверстиями в них для каждой устанавливаемой строу, разработан метод изготовления колец из стеклотекстолитовых лент с прецизионными отверстиями, выполняемыми на сборочном участке с помощью специализированного оборудования. Это не только устраняет необходимость использования дорогостоящего производства и оборудования, но и позволяет объединять в один сборочный процесс создание двух поддерживающих строу колец одновременно с установкой в них строу.

СТРОУ

При создании различных строу-трекеров нами использовались строу из полиимидных (каптоновых) пленок. Внутренние и наружные поверхности используемых для TRT строу были покрыты графитовым слоем (coated), используемые строу для COMPASS [3] и других строу-трекеров имели графитовое покрытие (loaded) только на их внутренней поверхности. Строу наматывались двумя пленочными лентами, в последних случаях внутренние ленты были из проводящей пленки XC-160 толщиной 40 мкм с графитовым наполнением, а внешние — из непроводящей пленки типа HN50 с Al-покрытием толщиной около 0,2 мкм на их стороне, являющейся внутренней при намотке строу. На обращенных друг к другу сторонах пленочных лент также был слой термоклея толщиной около 5 мкм. Намотка строу осуществляется на калиброванном стержне при температуре $\sim 200^\circ\text{C}$. Для установки строу в рамы прототипа используются наборы конечных элементов, обеспечивающих соосность анодных проволок (диаметром 30 мкм) с катодами строу не хуже 200 мкм и фиксацию их при натяжении около 70 г.

Для ЕС NICA будут использованы строу второго типа, в качестве внутренних пленочных лент при намотке строу могут быть использованы как каптон типа XC-160, так и каптон с наружным графитовым покрытием типа coated. Для повышения прямолинейности строу будут усилены углеродными, базальтовыми или иными наклеенными на внешней поверхности трубок нитями по используемой для TRT технологии. Намотка строу может быть выполнена на разработанном в ЛФВЭ ОИЯИ оборудовании.

Для установки в прототип было подготовлено около 600 усиленных углеродными нитями строу диаметром 4 мм с комплектами установочных элементов.

КОЛЬЦЕВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ПОДДЕРЖКИ СТРОУ

Одними из требований при создании кольцевого детектора переходного излучения — трекера (TRT ATLAS) были: высокие однородность детектирующих каналов и точность их позиционирования, минимизация вещества как в его чувствительной области, так и на периферии. Эти же требования остаются и для ЕС NICA.

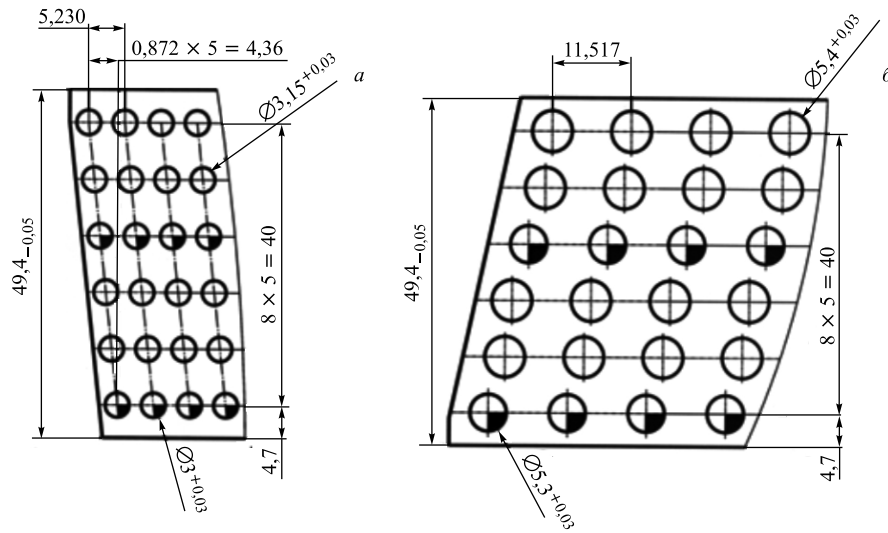


Рис. 1. Схема расположения отверстий для установки строу во внутреннем (а) и внешнем (б) кольцах

Основными несущими элементами TRT являются углепластиковые кольца с отверстиями в них для установки строу. Увеличение чувствительной области EC NICA в 1,6 раза по сравнению с TRT, а следовательно, и габаритных размеров детектора увеличивает сложность и стоимость этих элементов в случае создания их аналогичным методом. Это определило поиск нового метода, обеспечивающего реальную возможность их создания при сохранении прецизионности детектора, минимизации его вещества и других параметров.

Конструкция детектора была разработана с учетом моделирования его трековых параметров. Каждый из двух модулей детектора содержит 10 субмодулей кольцевого типа («колес»), объединенных в дальнейшем в две группы. Субмодуль содержит шесть слоев по 600 строу в каждом. Строу фиксируются в двух кольцах (внутреннем и внешнем) с углом наклона β их к радиальному направлению в следующем порядке: 0, +7, -7, 0, +7, -7°. Диаметры внешнего и внутреннего колец — 2200 и 1000 мм соответственно. Внутренний диаметр строу — $4,0^{+0,01}$ мм, чувствительная длина — $600^{+0,3}$ мм для радиальных и $602,1^{+0,3}$ мм для наклонных строу. На рис. 1 показаны фрагменты колец субмодуля с расположением посадочных отверстий для строу. Строу устанавливаются наклонными рядами, во внутреннем кольце с шагом в горизонтальном направлении 5,23 мм, для обеспечения более равномерного перекрытия чувствительной площади во внутреннем кольце внутри ряда с шагом между строу в этом же направлении 0,87 мм.

Возможность создания кольца на основе двух стеклотекстолитовых лент одновременно с установкой в них строу (рис. 2), а также установки строу требуемой длины с углом наклона β к радиальному направлению была предварительно проверена. Затем в ЛФВЭ было разработано и на Новокраматорском машиностроительном заводе (г. Краматорск, Украина) изготовлено оборудование для создания колец EC-трекера данной конструкции [4] по предложенной нами новой технологии.

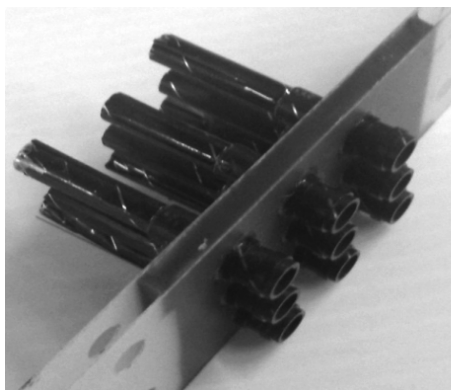


Рис. 2. Фрагмент тестового кольца, состоящего из двух стеклотекстолитовых лент с заполнением зазора между ними



Рис. 3. Фрагмент прототипа со строу, обеспечивающими его жесткость, и со строу небольшого углового сегмента

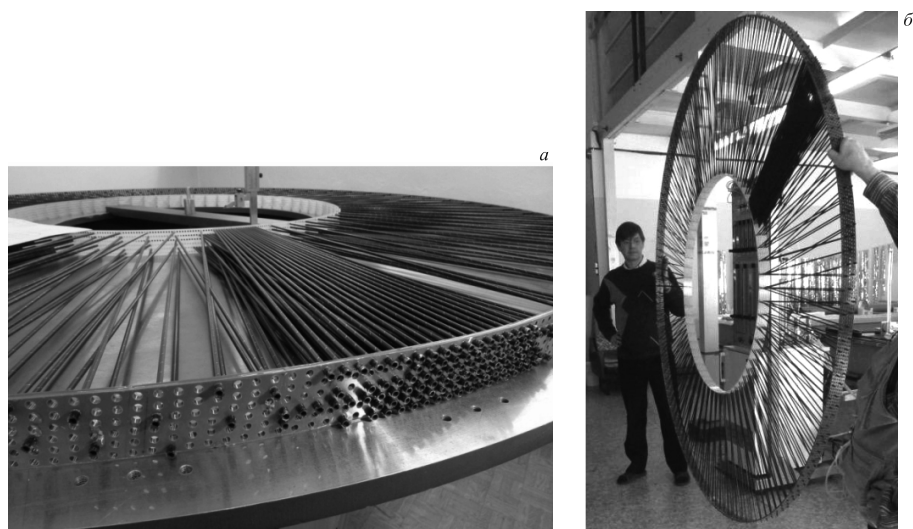


Рис. 4. *а)* Фрагмент общего вида прототипа на монтажном столе. Видны радиальные и наклонные строу, установленные с шагом 6° , а также угловой сегмент с полным перекрытием всех шести слоев. *б)* Общий вид прототипа

На рис.3 показан фрагмент и на рис.4 — общий вид полномасштабного прототипа субмодуля. В каждый из шести слоев прототипа для обеспечения его механической жесткости с шагом 6° установлены стrou, а также собран небольшой угловой сегмент с полным числом стrou. Основной целью создания прототипа являлась проверка возможности создания в дальнейшем на разработанном оборудовании и по предложенной технологии субмодулей ЕС в режиме их массового производства.

В лентах из стеклотекстолита шириной $49,4_{-0,05}$ мм и толщиной 0,8 мм для внутреннего кольца и толщиной 0,35 мм для двух частей (диаметрами 2191 и 2200 мм) внешнего кольца в соответствующих кондукторах просекаются прецизионные отверстия необходимого диаметра, позиционирование которых задано с точностью $\pm 0,02$ мм. Затем на специализированном монтажном столе три ленты внутреннего кольца устанавливаются и объединяются между собой накладными фрагментами такой же ленты в единое кольцо. Для создания внешнего кольца устанавливаются по пять лент двух колец, расстояние между внутренними их поверхностями по радиусу составляет около 3,7 мм. Первые ленты каждого слоя позиционируются друг относительно друга с точностью $\pm 0,02$ мм. Для этого первые отверстия 4-го слоя лент устанавливаются соосно с центром монтажного стола и с отверстием специализированного приспособления (рис.5) стержнем с соответствующими калиброванными диаметрами. Приспособление устанавливается в прецизионные посадочные канавки на столе, задающие «0»-ю позицию каждого кольца.

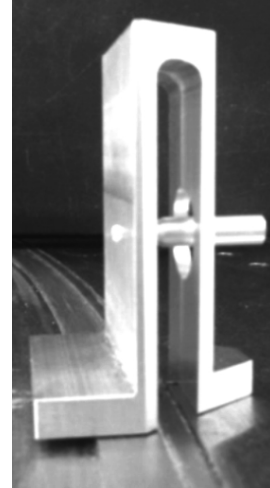


Рис. 5. Размещенное на монтажном столе приспособление для обеспечения радиального направления центров отверстий 4-го слоя колец с точностью 20 с

Стrou устанавливаются в соответствующие отверстия колец и приклеиваются во внутреннем кольце. Промежуток между двумя частями внешнего кольца заливается эпоксидным клеем типа Epoxy Structural Adhesive 2216 B/A, что формирует полное внешнее кольцо с установленными в нем стrou, при этом в неиспользуемые пары отверстий вставлены пленочные втулки, после удаления которых во внешнем кольце остаются посадоч-

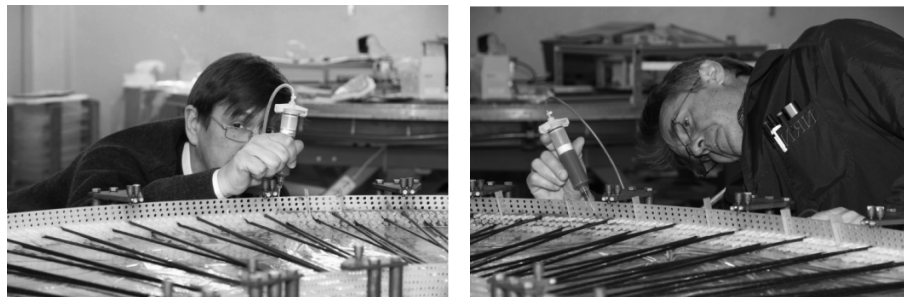


Рис. 6. Заливка дозаторами внутреннего промежутка внешнего кольца при вставленных стrou и установленных в свободные пары отверстий пленочных втулках

ные отверстия для последующей установки строу. Таким образом, технология позволяет как собирать сразу кольцевой фрагмент субмодуля с установленными в нем строу, так и формировать кольцевой фрагмент с посадочными отверстиями для последующей установки строу. Процедура заливки внешнего кольца показана на рис. 6.

ТЕСТИРОВАНИЕ ПРОТОТИПА

Проверка механических и геометрических параметров прототипа проводилась визуальным осмотром, оценкой его жесткости, измерением цилиндричности колец и углов наклона строу в 4-м, 5-м и 6-м слоях с координатами ϕ , U и V . Визуальный осмотр показал отсутствие трещин, сколов, раковин в заливке внешнего кольца.

В прототип при его сборке установлено по 60 строу с равномерным шагом в каждом слое и около 100 строу в виде небольшого углового сегмента. Для оценки жесткости прототип вывешивался в нескольких угловых положениях за внешнее или внутреннее кольцо, к нижним точкам которых прикладывалось усилие P_1 или P_2 и измерялось смещение нижней точки соответствующего колеса (рис. 7). Под действием силы $P_1 \leq 500$ г величина смещения составляла ~ 1 мм, а при изменении силы P_2 от 300 до 500 г соответствующее смещение изменялось от $\sim 0,5$ до ~ 2 мм. Результаты показывают, что даже при 10 %-м заполнении прототипа его жесткость отвечает техническим требованиям.

На рис. 8 показана цилиндричность внешнего и внутреннего колец прототипа. Видно, что максимальная величина нецилиндричности колец прототипа не более 350 мкм. Отметим, что величины нецилиндричности существенно меньших по диаметру 4-слойных субмодулей TRT имели то же значение с аналогичным характером зависимостей.

Проверка ориентации радиальных строу (слой номер 4) показала хорошую точность их установки. Угол наклона строу в слое номер 5 равен $6,997^\circ$ (r.m.s. $57''$), а в слое номер 6 равен $6,987^\circ$ (r.m.s. $37''$), что соответствует заданным величинам.

Прототип будет использован для отработки сборочных элементов и технологии сборки субмодулей, в том числе процедуры считывания информации с них. Будут созданы сегменты в прототипе для стендовых исследований. В частности, подача высокого напряжения на катоды строу упрощает организацию считывания, но в случае отказа единичного канала регистрации отключение его от высоковольтного питания осуществляется только в группе из восьми каналов регистрации, как можно видеть из приведенных на рис. 9

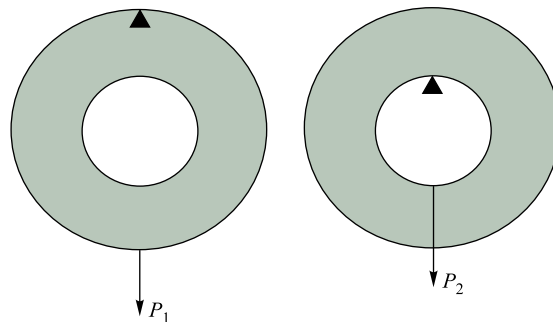


Рис. 7. Схема определения жесткости прототипа

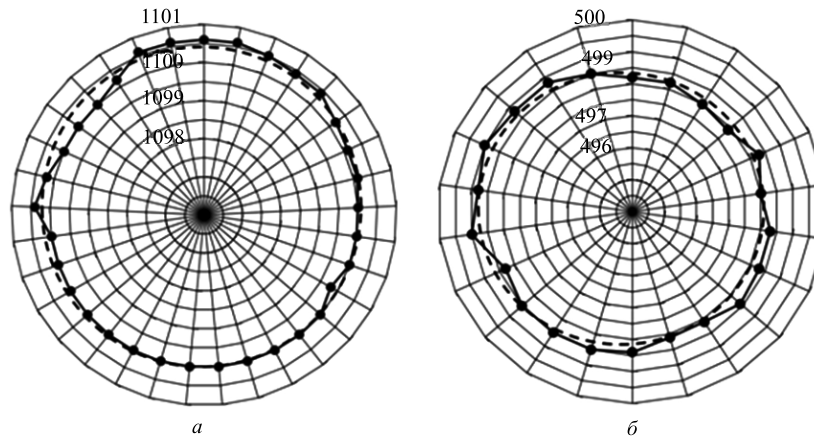


Рис. 8. Цилиндричность внешнего (а) и внутреннего (б) колес прототипа. Пунктирные кривые показывают теоретические цилиндричности колес. Шаг масштабных окружностей составляет в обоих случаях 0,5 мм

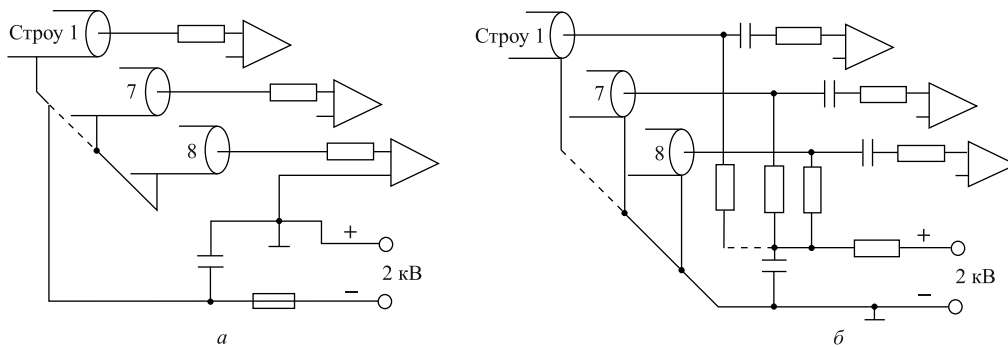


Рис. 9. Организация считывания при подаче высокого напряжения на катоды (а) и аноды строу (б)

схем организации считывания с катодным и анодным высоковольтным напряжением. При подаче высокого напряжения на аноды такая возможность для единичного канала существует, но увеличивается количество компонентов на платах считывания. Поиск оптимального решения требует прототипных исследований. Кроме того, прототип будет использован для оптимизации элементов сервисных систем, устанавливаемых на детекторе, а также аппаратуры и процедур тестирования submodule.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен новый метод создания кольцевых строу-детекторов доступным способом, разработано базовое сборочное оборудование, создан полномасштабный прототип, пока-

завший возможность реализации этого метода для создания детекторов с высокой точностью. Прототип будет использован как для разработки и тестирования его сборочных элементов и технологических процедур, так и для необходимых стендовых исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *ATLAS Collab.* ATLAS Inner Detector Techn. Design Report CERN/CHCC/97_17. 1997. V. 2.
2. *Гусаков Ю. В. и др.* Детектор переходного излучения — трекер установки ATLAS: исследования и разработки, массовое производство модулей типа «В». Препринт ОИЯИ P13-2008-85. Дубна, 2008. 44 с.
3. *Buchkov V. N. et al.* // Nucl. Instr. Meth. A. 2006. V. 556. P. 66.
4. *Кекелидзе В. Д., Пешехонов В. Д., Топилин Н. Д.* Технологическая оснастка для изготовления строу-камер многоцелевого детектора проекта NICA-MPD // Письма ЭЧАЯ (направлено).

Получено 25 мая 2011 г.