

УДК 539.1.074

## **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СТЕНДОВАЯ ПРОВЕРКА КОЛЬЦЕВЫХ СТРОУ-ДЕТЕКТОРОВ ТИПА «В» TRT ATLAS**

*Ю. В. Гусаков, И. А. Жуков, В. М. Лысан,  
В. В. Мялковский, А. Ф. Новгородов, В. Д. Пешехонов*

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Разработанный и созданный коллаборацией ATLAS автоматизированный стенд для проверки кольцевых модулей строу-детектора переходного излучения и одновременно трекера установки ATLAS позволяет проводить полную проверку модуля, определяя работоспособность всех его каналов и измеряя величину неоднородности газового усиления по длине для каждого строу. Приведены результаты тестирования изготовленных в ЛФЧ ОИЯИ модулей типа «В».

The automated stand developed and created by the collaboration for testing of the TRT wheel modules allows one to carry out full check of the module, defining serviceability of each of its channels and measuring gas gain for every straw. Results of testing the «В» type wheel modules made at LPP, JINR, are presented.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Создаваемая для экспериментов на LHC установка ATLAS в составе внутреннего детектора содержит детектор переходного излучения — трекер (TRT), предназначенный для реконструкции треков заряженных частиц в условиях высоких загрузок и идентификации электронов и пионов с фактором режекции около 100 [1]. Детектор прямого направления кольцевой формы и баррельный детектор, создаваемые на базе тонкостенных дрейфовых трубок (строу), содержат в своем составе 298304 независимых канала регистрации — строу диаметром 4 мм с анодными проволоками диаметром 30 мкм, продуваемыми газовой смесью  $\text{XeCO}_2\text{O}_2$ .

С целью обеспечения требуемых условиями эксперимента параметров детектора и высокой долговременной надежности его работы модули детектора как в процессе их сборки, так и по ее завершении подвергались многократному тестированию [2]. Особое внимание уделяется послесборочной проверке. С этой целью для автоматизированного тестирования кольцевых модулей TRT была создана установка (стенд), позволяющая набирать данные для каждого из 6144 строу модуля в шести точках по их длине и сохраняющая их в базе данных.

### **1. СТЕНДОВАЯ УСТАНОВКА**

Модуль кольцевого детектора (рис. 1), состоящий из двух четырехслойных субмодулей, содержит восемь слоев радиально расположенных 768 каптоновых строу с толщиной

стенки около 70 мкм. Между слоями строу располагаются радиаторы переходного излучения, состоящие из 34 слоев полипропиленовой пленки толщиной 15 мкм. Рабочая газовая смесь —  $\text{XeCO}_2\text{O}_2$  (70 % : 27 % : 3 %), для тестирования детекторов используется газовая смесь  $\text{ArCO}_2$  (70 % : 30 %).

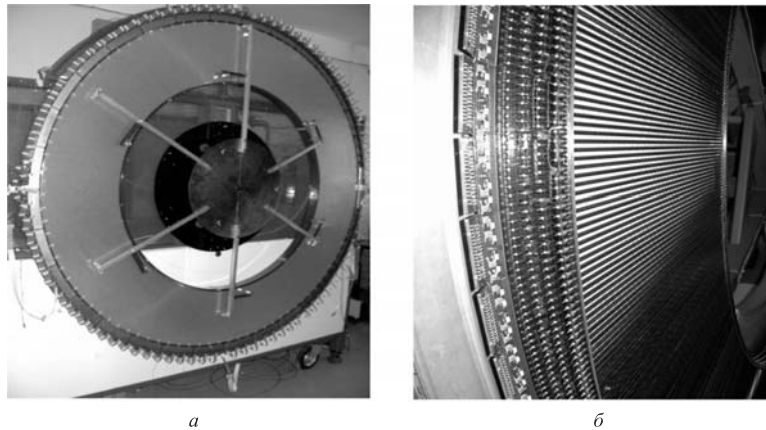


Рис. 1. а) Общий вид модуля кольцевого строу-детектора, установленного на тест-станции. Виден внешний пленочный радиатор и шесть радиально расположенных держателей с коллимированными  $\gamma$ -источниками. б) Фрагмент модуля без внешнего радиатора, видно расположение строу в слое детектора

Строу модуля облучались набором коллимированных источников Fe-55 с активностью около 5,3 мКи каждый и с энергией  $\gamma$ -квантов 5,9 кэВ, расположенных на радиальных держателях в различной позиции по радиусу модуля для каждого, так называемый «ротор» (рис. 1, а). В зону облучения от каждого коллимированного источника попадает по восемь строу каждого слоя. Однако из-за достаточно большой толщины модуля интенсивность облучения строу уменьшается по мере удаления измеряемого слоя от источника. Так, отношение интенсивностей облучения строу первого слоя к строу четвертого слоя составляет величину  $\sim 35$ . Поэтому тестирование модуля проводится в два этапа. Модуль после тестирования строу в ближайших к источникам четырех его слоях переставляется на тест-станции с поворотом на  $180^\circ$  и проводятся измерения строу других четырех слоев.

Каждый держатель ротора на одинаковом расстоянии по радиусу модуля содержит коллимированный контрольный (референсный) источник Fe-55 в дополнение к основным источникам (рис. 2). Референсные источники служат для контроля за возможными систематическими изменениями по измерениям с контрольных строу ближайшего к источникам слоя.

Измерения заключаются в одновременном наборе 12 основных спектров с 6 строу первого и 6 строу четвертого слоев (или 6 строу второго и 6 строу третьего слоев) и 6 референсных спектров со строу первого слоя. После набора данных с восьми строу каждого слоя ротор перемещается в следующую угловую позицию и выполняется следующий цикл измерений [3]. В результате измерений в базе данных накапливаются спектры сигналов для шести позиций по длине каждого строу в каждом слое и референсные спектры сигналов от строу первого слоя. Управление ротором осуществляется программой

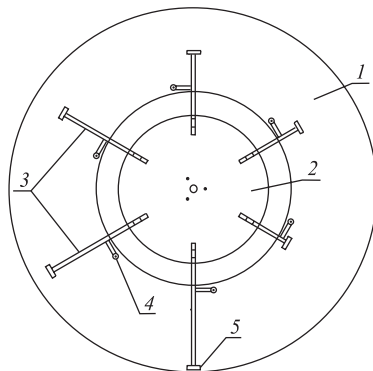


Рис. 2. Ротор с источниками, расположенный на тестируемом модуле: 1 — тестируемый модуль; 2 — ротор; 3 — держатель источников; 4 — референсные источники Fe-55; 5 — основные источники Fe-55

сбора данных (Data Acquisition Program) [4]. Для обеспечения хорошей статистической точности измерительное время определяется временем набора спектров со строу дальнего от источников слоя. Общее измерительное время каждого этапа около 40 ч.

Интервалы между измерением одного и того же строу в разных точках по его длине составляют ~ 7–8 ч, в течение которых возможны изменения температуры в помещении и атмосферного давления. Для климатического контроля (Slow-control) используются восемь температурных датчиков, расположенных по наружному и внутреннему диаметру кольцевого модуля в непосредственной близости к нему, датчик атмосферного давления и датчик влажности. Система управляется отдельным компьютером, который по TCP/IP постоянно передает данные с датчиков на компьютер сбора данных. Система Slow-control включает в себя также управление электронными ротаметрами для поддержания постоянных парциальных давлений составляющих газовой смеси.

На рис. 3 приведена блок-схема тест-станций, используемых в ОИЯИ, ПИЯФ и в ЦЕРН.

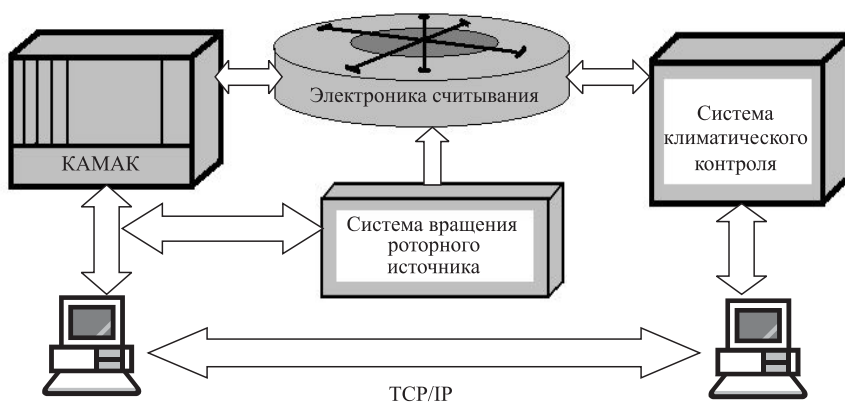


Рис. 3. Блок-схема стенда тестирования кольцевых модулей TRT

Сигналы со считывающей тестовой электроники передаются на интерфейсные модули и АЦП в крейте КАМАК. Управление обеспечивается персональным компьютером через Microcomputer Crate Controller, программное обеспечение написано на языке программирования LabView [4].

Перед началом тестирования каждого модуля проводится калибровка всех каналов считывающей электроники. Эти данные используются при наборе спектров во время тестирования и при последующей обработке.

## 2. РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕСТИРОВАНИЯ

На рис. 4 и 5 приведены типичные спектры в разных точках по длине исследуемого струа (*a*) и контрольного струа (*б*). Из рис. 4 видно, что как исследуемое, так и контрольное струа имеют постоянное энергетическое разрешение по всей их длине. Из

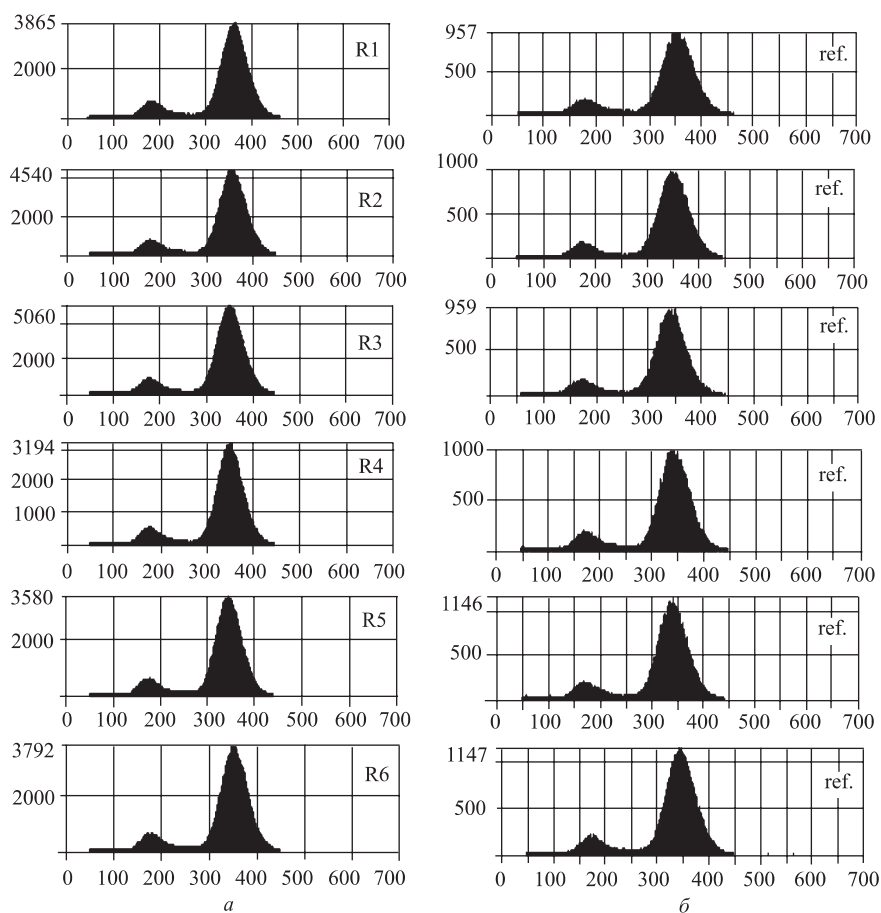


Рис. 4. Спектры прямого струа

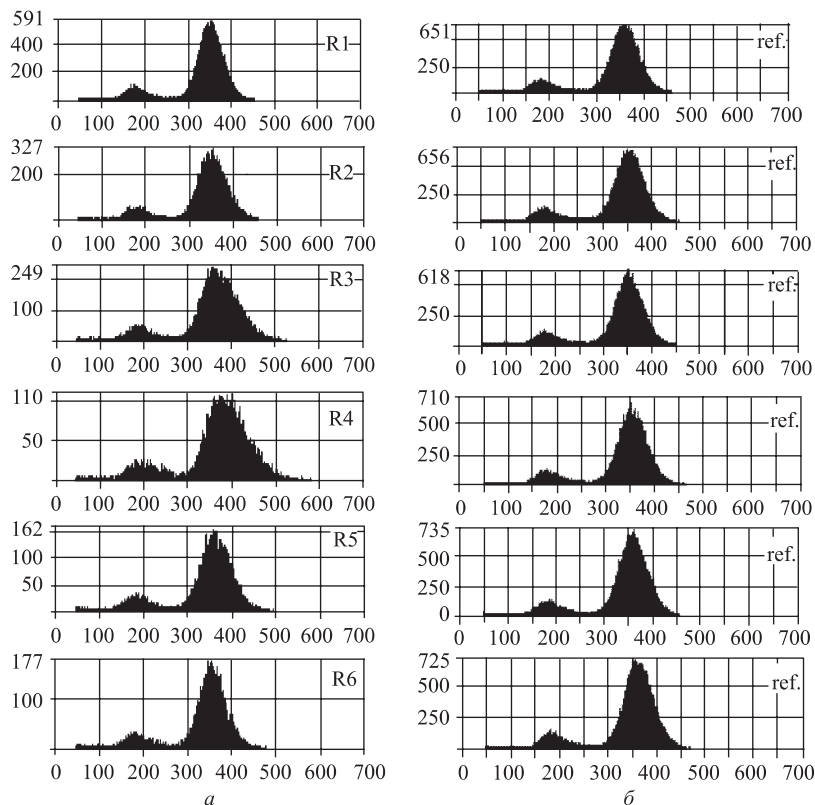


Рис. 5. Спектры изогнутого строу

рис. 5 видно ухудшение энергетического разрешения в центре исследуемого строу. Такие эффекты, вызываемые изменением локальной величины газового усиления, наблюдаются при смещении анодной проволоки от центра строу или при его искривлении.

Измеряемый для каждого строу параметр однородности величины газового усиления  $D$  вдоль строу определяется как

$$D = 2(A_{\max} - A_{\min}) / (A_{\text{in}} + A_{\text{out}}),$$

где  $A_{\max}$ ,  $A_{\min}$  — максимальное и минимальное значения измеренных амплитуд сигналов;  $A_{\text{in}}$  и  $A_{\text{out}}$  — амплитуды сигнала, измеренные в начале и в конце строу по направлению потока рабочей газовой смеси.

С увеличением параметра  $D$  положение пика смещается к более высоким значениям и пик становится широким и асимметричным (рис. 5). Типичное значение величины  $D$  для строу с хорошей прямолинейностью находится в диапазоне 2–5 %.

При определении величины  $D$  вводится корректировка по данным контрольных строу, полученных при тех же значениях температуры или давления, что и исследуемые строу. Это позволяет повысить точность определения величины  $D$  до 1 % [5].

На рис. 6 представлены послойные распределения величин  $D$  по результатам тестирования 14 модулей TRT. Итоговые результаты приведены в таблице.

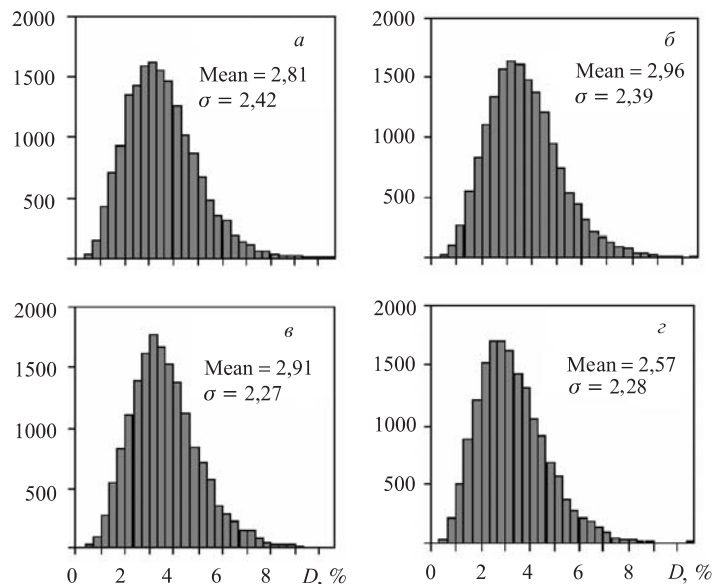


Рис. 6. Распределение величин  $D$  для 86016 строу по слоям в submodule: а) слой № 1; б) слой № 2; в) слой № 3; г) слой № 4

#### Итоговые результаты тестирования модулей

| Количество строу | Количество отключенных каналов, % | $D$ , % |     |      |      |
|------------------|-----------------------------------|---------|-----|------|------|
|                  |                                   | < 5     | 5–8 | 8–9  | > 9  |
| 86016            | 0,15                              | 93,8    | 5,9 | 0,12 | 0,05 |

Приведенные на рис. 6. распределения всех измеренных строу по слоям показывают некоторое уменьшение ширины распределений от первого слоя к четвертому, что связано с установкой анодных проволок в строу. Проволоки устанавливаются по слоям начиная с первого при среднем их натяжении 68 г. Их установка в каждый последующий слой приводит к небольшой деформации submodule и, соответственно, к небольшому изменению натяжения проволочек в предыдущем слое, что сказывается на послойном распределении величины  $D$ .

В результате тестирований отключаются от высоковольтного напряжения строу с неоднородностью газового усиления  $D$  более 9 %, строу с обрывом анодных проволок и с величиной натяжения анодных проволок  $50 > T > 90$  г, а также строу с отсутствием сигналов по другим различным причинам. Наиболее часто это определяется плохой передачей сигналов с анода строу к считывающей электронике по многослойным каптоновым платам из-за металлизации проводящих соединений между различными их слоями. Реже встречаются отказы размещенных на платах элементов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведение финального тестирования показало высокое качество изготовленных в ЛФЧ ОИЯИ кольцевых модулей TRT ATLAS. На данный момент количество неработоспособных каналов составляет 0,2 % от общего числа измеренных каналов (требование по спецификации — 1 %). Более 99,6 % строу имеют неоднородность величины газового усиления менее 9 %, что соответствует возможному изгибу строу менее 300 мкм.

Авторы благодарят всех членов коллаборации, участвовавших в разработке и создании аппаратуры и методики тестовых станций для TRT ATLAS. Выполнение работ поддерживалось ИНТАС (грант 03-54-5119).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Inner Detector Technical Design Report. ATLAS TDR 5, CERN/LHCC/97-17. 1997.
2. ATLAS Quality Assurance Document. TRT wheel acceptance tests and specifications. ATL-IT-QP-0105 CERN. 2004. V. 3.
3. *David E. et al.* Test of the TRT end-cap wheel. ATLAS Internal Note ATL-INDET-97-169. 1997.
4. *Fedin O. et al.* A measurement station for the ATLAS end-cap TRT calibration. ATLAS Commun. ATL-COM-INDET-99-026. 1999.
5. *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 25 августа 2005 г.