

P13-2001-220

Г.Л.Глonti, А.Л.Гонгадзе, П.Г.Евтухович,  
Е.Н.Ильющенко, С.А.Котов, Д.Ралеа\*, М.Томеску\*,  
Э.Г.Цхададзе, В.Ф.Чепурнов, Г.А.Шелков

**МЕТОДИКА ЮСТИРОВКИ ОПОРНЫХ ЛИНИЙ  
ДЛЯ СБОРКИ МДТ-КАМЕР  
ЭКСПЕРИМЕНТА ATLAS**

---

\*Национальный институт оптоэлектроники IOEL-SA, Бухарест,  
Румыния

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Расстояние между сигнальными проволочками в МДТ-камерах, предназначенных для мюонной системы эксперимента ATLAS [1], должно выдерживаться с 20-микронной точностью [2]. Для обеспечения такой величины допуска во время изготовления камер используются специально для этой цели созданные опорные линии [3]. Перед склеиванием дрейфовые трубы укладываются в специальные гнезда, шаг между центрами которых выдержан с высокой точностью. Длина дрейфовой трубы 3071.5 мм. По всей длине она подпирается семью опорами. Две крайние из них поддерживают трубки в местах расположения концевых заглушек и определяют дистанцию между сигнальными проволочками. Остальные пять линий служат для обеспечения линейности склеиваемых труб.

Для сборки камеры с требуемой точностью необходимо обеспечить высокую параллельность опор во время их размещения и фиксирования на гранитном столе, а также минимальные сдвиги линии вдоль позиции труб.

На рис. 1 приведена фотография поверхности гранитного стола с расположенными на ней опорными линиями.

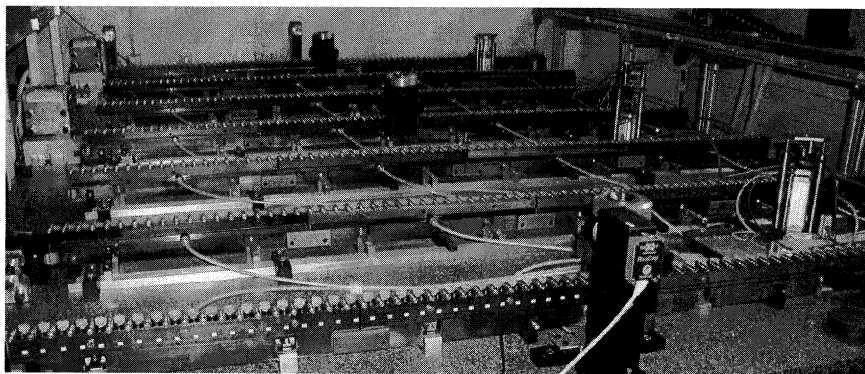


Рис. 1. Гранитный стол с семью опорными линиями

Сохранение позиции опор в течение сборки камеры сильно зависит от стабильности температуры. Вся установка для сборки камеры расположена в помещении с постоянной температурой  $(21 \pm 0,5)^\circ\text{C}$  и контролируемой относительной влажностью  $(40 \pm 10)\%$ . По углам гранитного стола размещены восемь температурных датчиков и два датчика влажности. Они не только мониторируют климатические характеристики помещения, но и управляют системой кондиционеров для поддержания нужных параметров.

## 2. ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЮСТИРОВКИ

Во время склеивания опорных линий на торцах каждой линии были приклеены пластины (3) с калиброванными поверхностями для обеспечения одинаковой дистанции линии от края гранитного стола. Склеивание пластин на опорах (1) проводилось с помощью одного калибра (2) для всех линий. Поверхность

пластин находится на одинаковом расстоянии от первой позиции трубы на опоре для всех линий (см. рис.2а).

На рис.2б показана схема установки края опорной линии на гранитном столе. Боковая сторона стола имеет отклонение от перпендикулярности к рабочей поверхности стола не более 10 микрон на 400-мм базе. Был изготовлен угольник-калибр (б), который обеспечивал одинаковую дистанцию от края гранитного стола (5) для всех опорных линий. После этого фиксировался этот край линии на гранитном столе с помощью специальных прижимных приспособлений. Другие прижимы оставались пока свободными для юстировки вертикальности опорных линий, а также для обеспечения регулировки в процессе достижения их параллельности друг с другом.

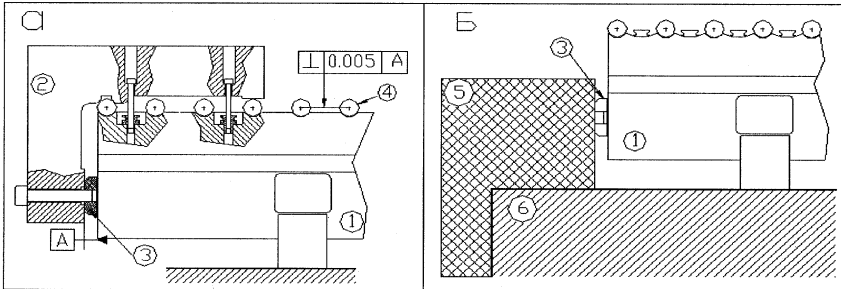


Рис. 2. а) Приклеивание на опорную линию точной пластинки; б) схема установки опорной линии на гранитном столе. 1 – конец опорной линии, 2 – калибр для обеспечения дистанции при склейке точной пластинки, 3 - точная пластинка, 4 – точные роды для укладки дрейфовых трубок, 5 – угольник-калибр, 6 – угол гранитного стола.

### 3. ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ ОПТИЧЕСКОЙ ЮСТИРОВКИ

В сотрудничестве с группой из Института оптоэлектроники (IOEL-SA, Бухарест, Румыния) была разработана оптическая система для юстировки опорных линий на поверхности гранитного стола. В нее входят:

- **Система создания и обработки изображения** (рис.3). Состоит из диодного лазера ( $\lambda=650$  нм, расходимость пучка 0.3 мрад), регистрирующего устройства на базе CCD (рабочая поверхность 4,8x3,6 мм) и разделителя луча – полупрозрачная зеркальная пластинка (толщиной 0,7 мм), расположенная под углом 45° к лазерному лучу. Микрометрический винт предназначен для поворота платформы, на которой расположены лазер, разделитель и CCD, в плоскости XZ. Винт 1 регулирует положение платформы по оси Y. Все это находится на специальной основе, жестко закрепленной на гранитном столе.
- **Пентапризмы**. Размеры входного окна 4,8x36 мм, точность 90°-угла — 1 угловая минута.
- **Отражающее зеркало (ОЗ)** в алюминиевой трубке-цилиндре. Диаметр зеркала и трубы 30 мм. Зеркало вклеено в конец трубки отражающей поверхностью внутрь. Для юстировки при склеивании использовался автоколлиматор. Отклонение от перпендикулярности между поверхностью зеркала и стены цилиндра - 40" (0,2 мрад). Длина алюминиевой трубки 545 мм. Она должна расположиться на двух соседних опорных линиях и присасываться вакуумом для фиксирования.

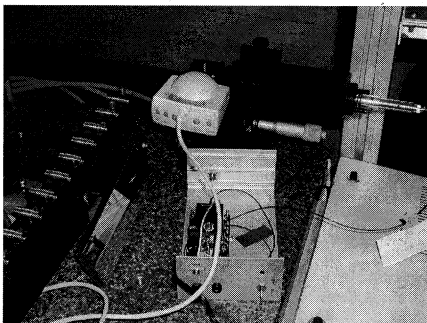
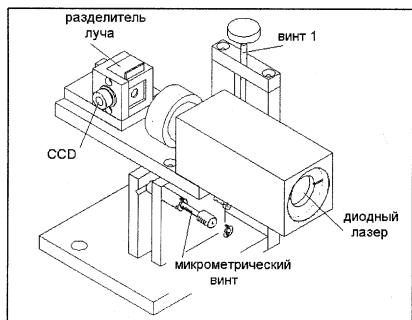


Рис.3. Система создания и обработки изображения.

- **Оптический калибр.** Стекланный цилиндр  $\varnothing 200$  мм, класса VII, по ГОСТу 11141-76 (шероховатость рабочей поверхности  $R_z=0,1 \div 0,025$  мкм).
- **Автоколлиматор** АК-0,5у.

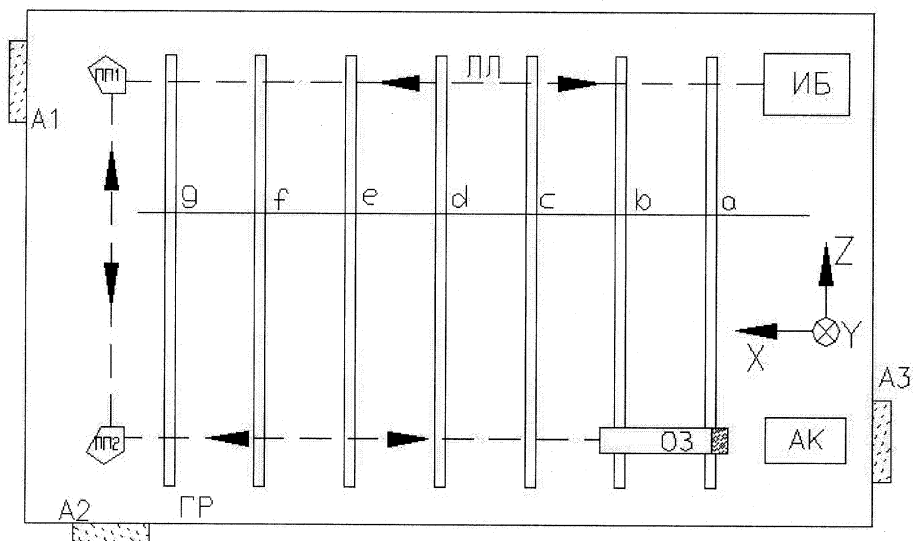


Рис.4. Схема системы оптической юстировки опорных линий. ИБ – интерференционный блок с лазером и ПЗС-камерой, ЛЛ - лазерный луч, ПП1 – неподвижная пентапризма, ПП2 – подвижная пентапризма, ОЗ – трубка с оптическим зеркалом, ГР – гранитный стол, А1, А2, А3 – разные положения оптического калибра, АК – автоколлиматор, а, б,... г – опорные линии

На рис.4 показана схема этой системы. Лазерный луч, полученный из полупроводникового диода, проходя через разделитель, распадается на два луча. Первый луч идет на CCD, а второй – на систему пентапризм (ПП1, ПП2), поворачивается дважды на  $90^0$  (точность пентапризм на такой поворот составляет  $1'$ ) и направляется на отражающее оптическое зеркало (ОЗ0 мм), которое закреплено на оптическом зеркале (ОЗ), размещенном в гнездах для труб на опорах. Отраженный

луч возвращается через те же оптические элементы. На разделительной пластинке либо происходит интерференция падающего и вернувшегося лучей, либо не происходит. На CCD мы можем наблюдать полученную интерференционную картину.

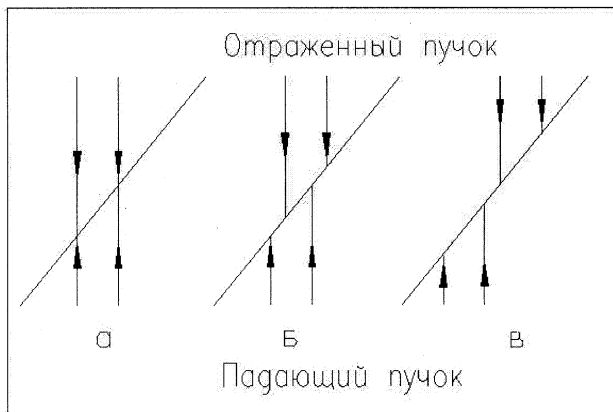


Рис.5. Возможные варианты встречи пучков лазерных лучей на разделительной пластинке

В случае полного перекрытия пучков лучей (рис.5а) наблюдается интерференционная картина в центре CCD, в случае частичного (рис.5б) – часть картины, смещенная относительно центра CCD. Если же лучи совсем не перекрываются (рис.5в), то ничего не наблюдается. Затем с помощью микрометрического винта добиваются полного совпадения падающего и отраженного пучков, и снимается отсчет. Используя калибровочные данные, переводят значение из микронов в радианы. В результате получается угол, характеризующий нелинейность положения тестовой трубки на родах 1 и 2 опорных линий а и б. Повторяется данная последовательность операций для всех оставшихся родов на всех семи линиях. Допускается использование опорных линий при сборке камеры с отклонениями не более 0,5 мрад.

Весь процесс юстировки можно разделить на несколько этапов:

1. **Регулировка платформы с лазером и CCD.** Основание платформы фиксируется на гранитном столе. Оптический калибр прижимается к поверхности гранитного стола (поз.А1, рис.4). Микрометрическим винтом и винтом 1 (рис.3) добиваются изображения интерференционной картины на CCD.
2. **Установка неподвижной пентапризмы.** Подставка с пентапризмой фиксируется на столе. Калибр прижимается к поверхности гранитного стола (поз.А2, рис.4). Микрометрическим винтом и винтом 1 (рис.3) добиваются изображения интерференционной картины на CCD.
3. **Установка подвижной пентапризмы.** Подставка с пентапризмой устанавливается на столе напротив родов 1 и 2. Калибр прижимается к D поверхности гранитного стола (поз.А3, рис.4). Микрометрическим винтом и винтом 1 (рис.3) добиваются изображения интерференционной картины на CCD.

Для калибровки данной системы на пути луча вместо тестовой трубки было установлено полупрозрачное зеркало. За зеркалом размещался автоколлиматор. Затем зеркало микрометрическим винтом поворачивалось в плоскости XZ на некоторый угол. При помощи автоколлиматора определяется угол поворота зеркала. Микрометрическим винтом возвращается изображение интерференционной картины на CCD. Результаты калибровки представлены в таблице.

Результаты калибровки системы юстировки опорных линий гранитного стола

Автоколлиматор		Микрометрический винт, мкм
'	мрад	
0	0	0
1	0.29	10
2	0.58	20
3	0.87	30
4	1.16	40

На рис.6 изображен калибровочный график, построенный по данным таблицы.

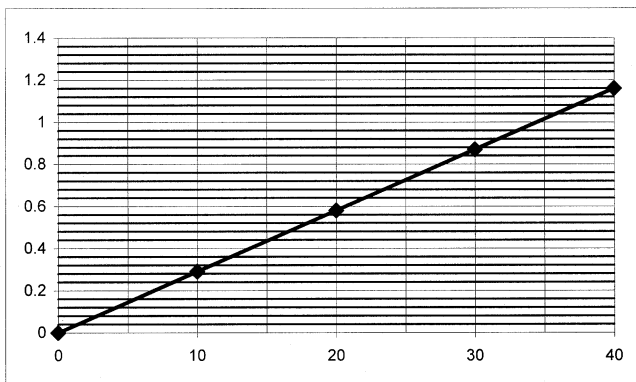


Рис.6. Калибровочный график для системы юстировки опорных линий

Происхождение и возможности устранения систематических ошибок:

- а) Ошибка из-за погрешности зеркала – максимальная ошибка:  $40'' \sim 0,1$  мрад;
- б) Возможность компенсации погрешности зеркала
  - Зеркало вращается, пока угол между лазерным лучом и нормалью к зеркалу не находится в плоскости xOz;
  - На лицевой плоскости цилиндра проводится вертикальная линия без изменения положения зеркала;
  - Если линия остается вертикальной в процессе движения зеркала, ошибка положения уменьшена до  $10''$  ( $0,025$  мрад); эта величина была определена с использованием автоколлиматора с точностью  $0,5''$  на основе 100 последовательных измерений.
- в) Минимальные условия для правильного расположения опорных линий.
  - Для опорной линии "а":

- Расстояние, пройденное лазерным лучом от излучателя до приемника, в области  $14 \div 19$  м;
  - Диаметр пятна лазерного луча в области  $6 \div 8$  мм;
  - Наиболее неблагоприятная ситуация, когда меньше четверти пятна лазерного луча попадает на ПЗС-матрицу. В этом случае ошибка расположения -  $6/14000 \approx 0,4$  мрад.
- Для опорной линии "g":
- Расстояние, пройденное лазерным лучом от излучателя до приемника, в области  $7 \div 11$  м;
  - Диаметр пятна лазерного луча в области  $3 \div 5$  мм;
  - Наиболее неблагоприятная ситуация, когда цилиндрическое зеркало находится в правой стороне опорной линии. Для 0,5 мрад (допустимая погрешность) это приводит к 3,5 мм линейному отклонению. В таком состоянии только четверть пятна лазерного луча попадает на ПЗС-матрицу.

Заключение: для правильного расположения опорной линии необходимо идентифицировать на дисплее центр лазерного пятна. В этом случае ошибка юстировки - между 0,4 мрад для левой стороны опорной линии "g" и 0,15 мрад для правой стороны опорной линии "a".

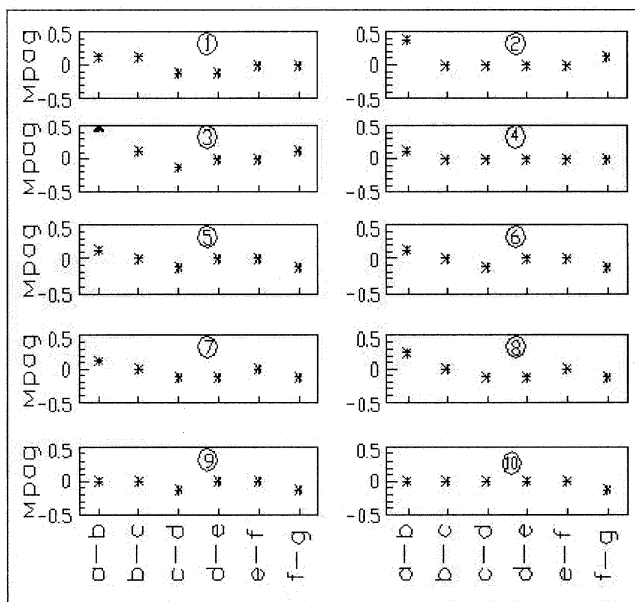


Рис.7. Результаты измерений взаиморасположения опорных линий при завершении процесса юстировки. а-б обозначает положение трубки отражающего зеркала на линиях а и б, в-с - на линиях в и с и т.д. Цифры в кружочках показывают позиции для расположения дрейфовой трубы начиная с левой стороны

Измерение взаиморасположения опорных линий велось одновременно с юстировкой, т.е. весь процесс проводился в несколько итераций. Трубка с отражающим зеркалом перемещалась от линии к линии — положения a-b, b-c и т.д. (см. рис.1), всего шесть позиций между семью опорными линиями. Кроме этого, менялись позиции для расположения дрейфовой трубы на линиях. Первая позиция соответствует крайне левому положению (в сторону точных боковых блоков). Были проверены все 72 позиции трубок по длине опорных линий.

На рис.7 показаны результаты измерений взаиморасположения опорных линий для первых 10 позиций дрейфовых трубок при завершении процесса юстировки. Как видно, отклонение в положении опорных линий не превышает 0,5 мрад, что вполне удовлетворяет требованиям для сборки МДТ-камеры.

Описанные основные элементы системы юстировки расположены стационарно на гранитном столе (система создания и обработки изображения, пентапризмы) и они не мешают процессу сборки камеры. Поэтому при необходимости проведение контрольных измерений взаиморасположения опорных линий не представляет большой трудности. В начале массового производства камер точность юстировки проверяется на первом этапе сборки каждой из них, а также после длительного перерыва в работе или при нарушении температурного режима в комнате. Проверочные измерения занимают 1-2 часа и проводятся силами научно-инженерного персонала (2 человека).

## Литература

1. Atlas Muon Spectrometer Technical Design Report. CERN/LHCC/97-22.  
<http://atlasinfo.cern.ch/Atlas/GROUPS/MUON/TDR/Web/TDR.html>.
2. H.Kroha. Quality Assurance and Control Reference Document for ATLAS MDT Chamber Construction. ATL-MUON-2000-008.
3. Глонти Г.Л. и др. «Опорные линии для сборки МДТ-камер эксперимента ATLAS». Сообщение ОИЯИ Р13-2001-219, Дубна, 2001.

---

Рукопись поступила в издательский отдел  
16 октября 2001 года.



Глонти Г.Л. и др.

P13-2001-220

Методика юстировки опорных линий для сборки МДТ-камер эксперимента ATLAS

Предлагается описание методики юстировки на гранитном столе опорных линий для производства МДТ-камер эксперимента ATLAS. В соответствии со спецификацией, разброс координат сигнальных проволочек в собранной камере не должен превышать 20 микрон. Семь опорных линий для фиксации трубок были изготовлены с учетом этих требований. Задача юстировки состояла в расположении этих линий на гранитном столе строго параллельно для обеспечения требуемой точности при сборке камер. Для решения проблемы были применены высокоточные калибры и оптическая установка с использованием интерференции лазерного луча. Параллельность опорных линий достигнута с точностью 0,5 мрад. Относительный сдвиг линий не превышает 10 микрон. Методика обеспечивает как первоначальную установку линий, так и периодическую проверку стабильности их положения между сессиями сборки камер.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем им. В.П.Джелепова ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2001

Перевод авторов

Glonti G.L. et al.

P13-2001-220

Method of Comb-Lines Alignment for Assembly of MDT-Chambers for the ATLAS Experiment

A description of comb-lines alignment method for MDT-chambers assembly for the ATLAS experiment is offered. According to specifications, in assembled chambers the average standard deviation of the signal wire coordinates from their nominal positions should not exceed 20 microns. Seven comb-lines for tube fixation were made under these requirements. The task of alignment consisted in arrangement of these comb-lines on a granite table strictly in parallel in order to maintain the required accuracy during chamber assembling. To solve this problem, precise calibers and an optical device (based on principle of a laser beam interference) were used. Collinearity of the comb-lines was achieved with accuracy of 0.5 mrad. The relative shift of two lines does not exceed 10 microns. The method can be used both for the initial placement of the comb-lines, and for periodical control of stability of the comb-lines positions between chamber assembly sessions.

The investigation has been performed at the Dzhelapov Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2001

Редактор М.И.Зарубина. Макет Н.А.Киселевой

Подписано в печать 23.11.2001  
Формат 60 × 90/16. Офсетная печать. Уч.-изд. л. 0,65  
Тираж 335. Заказ 52963. Цена 65 к.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований  
Дубна Московской области