

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P13-99-271

Ф.В.Прокошин, В.В.Шевцов

СТЕНД ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ РАЗМЕРОВ  
СПЕЙСЕРНЫХ ПЛАСТИН «TILE»-КАЛОРИМЕТРА  
АТЛАС

1999

Стенд для измерения размеров спейсерных пластин  
«tile»-калориметра АТЛАС

Описан опыт создания измерительного стенда для контроля размеров спейсерных пластин адронного калориметра установки АТЛАС. В качестве измерительного устройства использован серийный сканнер с оптическим разрешением 800 x 1600 dpi (16 x 32 мкм). Изображение, полученное с него, обрабатывалось на компьютере с целью нахождения границ детали и положения отверстий. Тестирование системы показало, что достигнутая точность измерений составляет  $\pm 100$  микрон.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 1999

## Перевод авторов

Prokoshyn F.V., Shevtsov V.V.

P13-99-271

## Setup for Measuring of Spacers for the ATLAS Tile Calorimeter

Development of test setup for dimension control of spacer plates of Hadron Tile Calorimeter of ATLAS detector has been described. Standard flat-bed scanner with optical resolution 800 x 600 dpi (16 x 32  $\mu\text{m}$ ) was used as a measuring device. Image received from scanner then was proceeded by computer to find spacer margins. It was shown during testing of system that precision received is  $\pm 100$  micrometers.

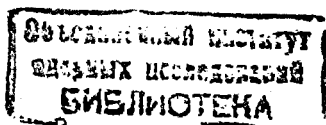
The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

## 1. Введение

Адронный калориметр установки ATLAS [1] представляет собой современный детектор, создание которого требует решения множества инженерно-технических проблем. Одной из таких проблем является изготовление большого количества пластин с высокой точностью: 40000 мастерных и 280000 спейсерных 13-типоразмеров. Габаритные размеры спейсерных пластин: от 238×102 мм до 372×261 мм. Отклонения геометрических размеров пластин от номинальных не должны превышать 100 мкм для сторон и 50 мкм для отверстий. Большие погрешности, в особенности погрешности положений отверстий, могут привести к серьезным трудностям в процессе сборки и установки модулей калориметра. Поэтому необходим метрологический контроль спейсерных и мастерных пластин на этапе изготовления. Измерение submodule и модулей на этапе сборки описано в [2]. Большое количество измеряемых деталей и сравнительно высокие требования к точности измерения обуславливают необходимость создания автоматизированной системы.

## 2. Устройство системы

Для контроля размеров спейсерных пластин, изготавливаемых на Минском тракторном заводе, была разработана измерительная система на основе персонального компьютера (PC) и серийного планшетного сканнера. Для



разработки методики измерения был создан прототип установки, в котором использовался сканнер формата А4 с низким разрешением (300 точек на дюйм (dpi), что соответствует разрешению 85 мкм). На нем были отработаны основные элементы алгоритма измерения.

В окончательном варианте установки использовался планшетный сканнер марки UMAX Mirage 16L формата А3, имеющий оптическое разрешение 800×1600 dpi (16×32 мкм) и рабочую область 297×420 мм и PC с процессором Pentium-150, 64 MB ОЗУ, ОС Windows 95.

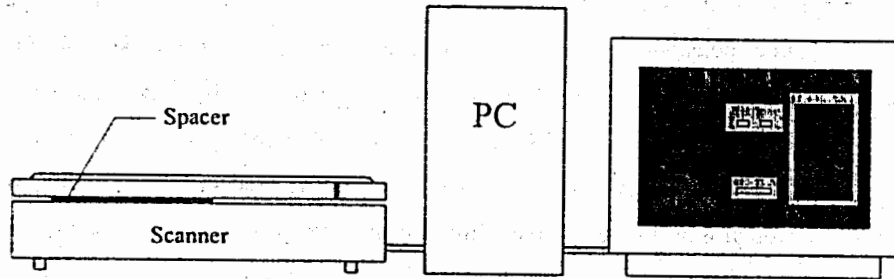


Рис. 1. Устройство сканирующей системы

Программное обеспечение разработано в среде LabVIEW [4], предоставляющей удобные средства для создания графического интерфейса пользователя, визуализации и обработки данных. Управление сканнером и прием графической информации осуществлялись при помощи написанной для этой цели библиотеки процедур в стандарте TWAIN [3]. Для обработки данных была разработана библиотека процедур на языке С.

### 3. Алгоритм измерения

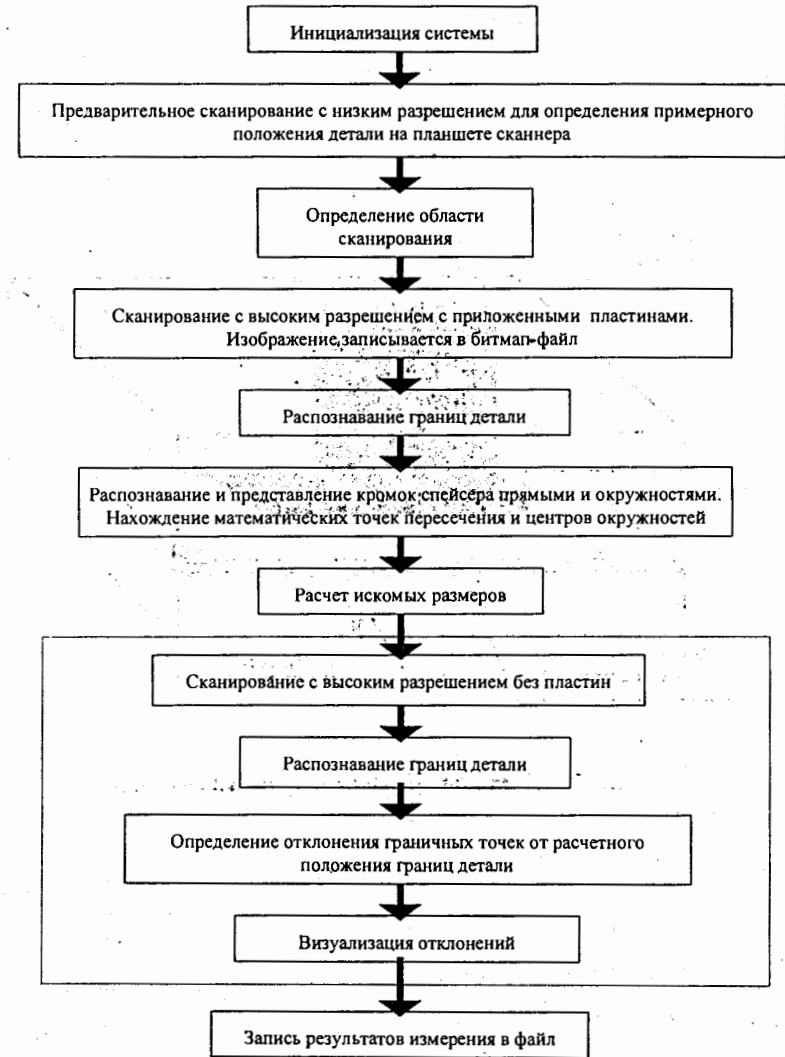


Рис.2. Блок-схема работы измерительной установки

Сканирование осуществляется в проходящем свете. При таком способе контрастность изображения значительно выше, чем при работе в отраженном свете, что облегчает распознавание границ детали. Полученная картинка записывается в Windows-битмап файл с глубиной изображения 8 бит. В дальнейшем из этого файла могут быть считаны любые участки изображения для дальнейшей обработки.

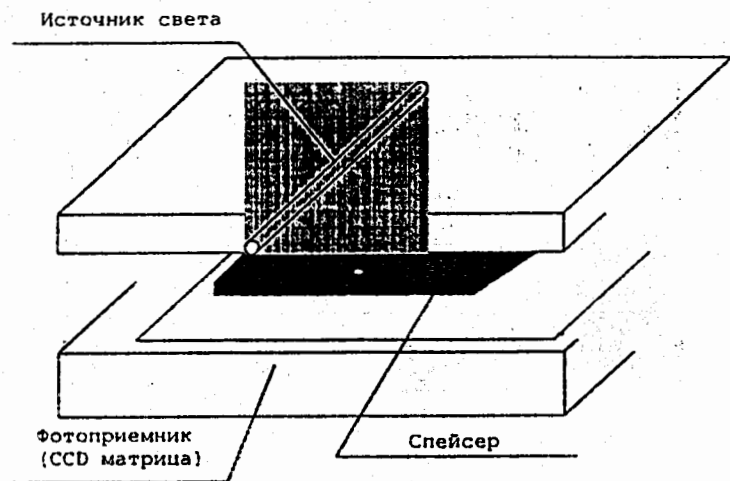


Рис. 3. Схема сканирования в проходящем свете

В полученном файле каждая точка изображения (пиксел) представляется числом, соответствующим яркости от 0 до 255. 0 соответствует черной, а 255 – белый цвет. Деталь имеет толщину 4 мм, и поэтому границы детали размыты, то есть переход между «черной» (деталь) и «белой» областями, что затрудняет точное определение их положения.

Для уменьшения ширины границы детали к граням спейсера прикладываются стальные пластины, изготовленные с точностью 10 мкм (рис. 4,5). Ширина пластин 25 мм, на одной из сторон имеется скос. Имеется 5 пар пластин различной длины – пара для сторон, которые на рис. 5 горизонтальны,

и 4 пары для вертикальных сторон. Использование пластин позволяет, во-первых, повысить точность нахождения границы за счет уменьшения размытости границы детали и, во-вторых, получить габаритные размеры детали по максимально выступающим частям. Для повышения точности нахождения границ отверстий используется набор специальных втулок различных диаметров с внутренним отверстием конусовидного профиля, которые вставляются в отверстия спейсера. Эти втулки позволяют избавиться от влияния теней, отбрасываемых краем отверстия, найти положение центра отверстий, а также проконтролировать минимальный диаметр отверстия.

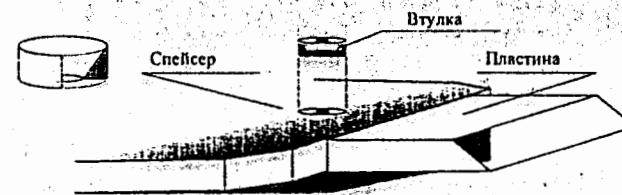


Рис. 4. Использование вспомогательных пластин и втулок

Серьезную проблему представляет неоднородность рабочей области сканнера, выражающаяся в том, что отношение расстояний между элементами сканируемого объекта и полученного изображения различно для разных ее областей. Для компенсации этой неоднородности приходится вводить калибровочные поправки в зависимости от положения и размера детали.

Измеряемая деталь располагается на стекле сканнера. Во избежание повреждения стекла между ним и деталью кладется пленка из прозрачного материала. Деталь грубо позиционируется на столе сканнера при помощи специального уголка.

Вначале производится сканирование с малым (100 dpi) разрешением по всей рабочей области сканнера. При помощи алгоритма, подробно описанного ниже, производится определение положения спейсера. Это позволяет

уменьшить площадь последующего сканирования с большим разрешением и, следовательно, сократить объем передаваемых со сканнера данных, что существенно (в несколько раз) уменьшает время выполнения этой операции. Также определяются области, в которых будет происходить поиск границ детали.

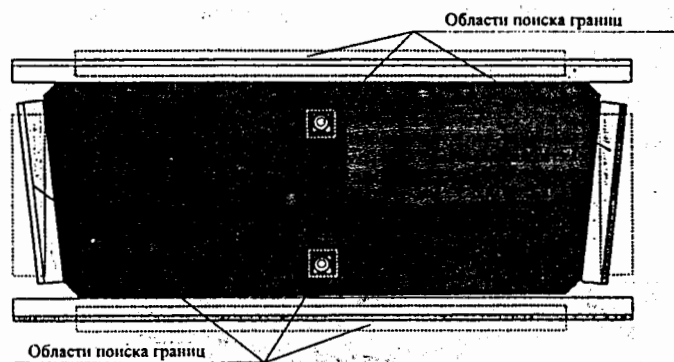


Рис. 5. Расположение вспомогательных пластин и втулок

К сторонам спейсера прикладываются вспомогательные пластины и производится сканирование области с разрешением 600 dpi, в которой находятся спейсер и вспомогательные пластины. Полученное изображение записывается в битмап-файл. Из этого файла поочередно считываются участки изображения, содержащие границы пластин и втулок.

Для нахождения границы определяются точки, в которых проходит граница между «черными» и «белыми» областями изображения. Использован следующий алгоритм: для каждой точки изображения сравниваются количества «белых» и «черных» соседей (т.е. с яркостью больше и меньше определенного порога) в области 5x5 пиксел (pix). Находятся точки, у которых количество «белых» и «черных» соседей приблизительно равно. Для отсева одиночных точек, не принадлежащих границе детали, возникающих вследствие загрязненности стекла сканнера и прочих дефектов изображения для каждой из

найденных точек в области 0,5 мм (15 pix), подсчитывается количество граничных точек. Если их количество менее 5, то точка отбрасывается. Для ускорения выполнения операции нахождения и отсеивания точек границы реализованы в виде библиотек процедур, написанных на языке С и импортированных в LabVIEW.

Далее находятся положения внешних кромок вспомогательных пластин, а также координаты центров втулок [5,6]. Для этого граничные точки соответствующих областей фитируются, соответственно, прямыми и окружностями. Использование процедур фитирования позволяет уменьшить погрешность, вызванную разрешением сканнера за счет большого количества обрабатываемых точек. Для нахождения линий используется стандартная процедура из библиотеки LabVIEW, позволяющая определять параметры (наклон и смещение) прямых. Для нахождения координат центров отверстий используется алгоритм, описанный в [5]. Алгоритм позволяет находить координаты центра и радиус окружности, причем допустимо отсутствие точек на части дуги.

Положение габаритных линий детали определяется при помощи сдвига на известную ширину пластины. Положение центров отверстий совпадает с положением центров втулок.

Зная параметры прямых 1,2,3,4 (рис.6), координаты их пересечений, а также координаты центров отверстий, мы можем путем тригонометрических вычислений определить их взаимное положение и любые требуемые размеры.

Размеры  $H_1$  и  $H_2$  находятся путем вычисления расстояния от прямой 3 до точек пересечения прямых 4 и 2 с прямой 1. Больше из них дает габаритный размер  $H$ , а разница не должна превышать предельно допустимого значения. Размер  $A$  вычисляется как расстояние между точками пересечения прямых 4 с 3 и 2 с 3,  $B - 4$  с 1 и 2 с 1. Следует подчеркнуть, что рассматриваются именно расстояния между пересечениями касательных к сторонам, как указано в чертежах, без учета угловых срезов.

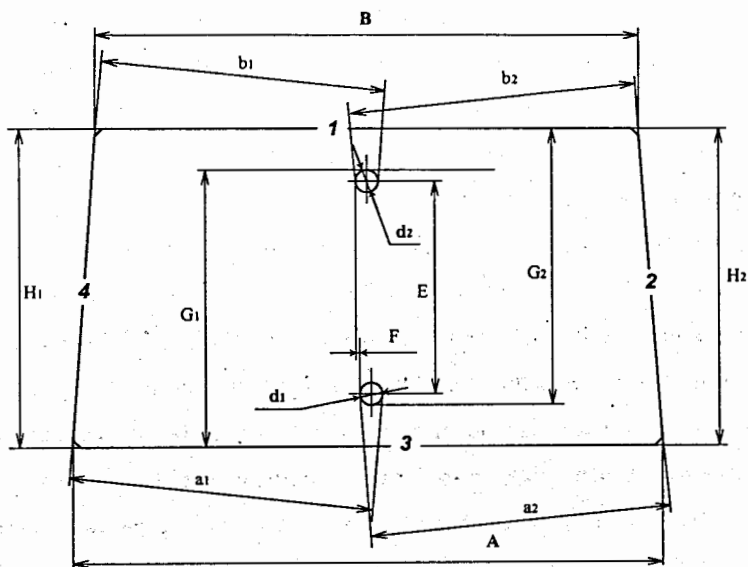


Рис. 6. Схема измерений спейсеров

Диаметры отверстий определяются по диаметру самой большой входящей в отверстие втулки.

Измеренные величины, их отклонения от номинальных выводятся на дисплей, и в случае, если отклонение превышает допустимое значение, соответствующий параметр выделяется световым сигналом. Результат измерения также записывается в текстовый файл.

Возможно проведение дополнительного сканирования (без вспомогательных пластин) для нахождения мест, в которых границы детали выходят за допустимые пределы. На полученном изображении с использованием алгоритма, описанного выше, находятся граничные точки и вычисляется отклонение каждой от «идеальных» границ детали, определяемых исходя из номинальных размеров. Если оно больше допустимой величины, то точка отмечается на дисплее цветом, в зависимости от знака и величины

отклонения. Таким образом, можно быстро находить места, в которых есть локальные дефекты.

Процесс измерения одной детали занимает от 10 до 20 мин в зависимости от ее размеров. Большая часть этого времени затрачивается на сканирование детали в режиме высокого разрешения. Скорость этой операции определяется как скоростью сканирования, так и большим объемом передаваемой информации (до 30 мегабайт).

Точность измерения зависит от следующих факторов.

- Разрешение сканера; при измерениях используется режим 600 dpi или 32 мкм. Применяемые алгоритмы распознавания элементов изображения из-за большого количества обрабатываемых точек снижают влияние этого фактора на суммарную погрешность измерения.
- Нелинейность зависимости координат полученного изображения от координат сканируемого объекта, обусловленная, по-видимому, особенностями оптической схемы сканера. Для компенсации приходится вводить поправочные коэффициенты, получаемые при помощи калибровки.
- Погрешности, вызываемые неточностью позиционирования элементов оптической схемы сканера, пропорциональные размеру пластин. Они вносят основной вклад в неточность измерения и пропорциональны размеру измеряемой детали.
- Погрешности, вызываемые неплотным прилеганием вспомогательных пластин.

## 4. Тестирование

Для определения точности измерений были проведены тестирования на калиброванных образцах. Измеряемые расстояния между различными точками были выбраны согласно схеме, показанной на рис. 6, аналогично схеме контрольных измерений. Серия из нескольких измерений одной и той же детали показала наличие разброса получаемых значений. Величина разброса возрастает с увеличением размера детали. Для самой большой детали погрешность составила 100 мкм. Причиной разброса в результатах измерений является в основном нестабильность работы механизма сканнера, приводящая к неточному позиционированию элементов оптической схемы прибора.

Разработанная система может быть использована также в более широких целях: для обмера деталей, достаточно сложных по своей конфигурации, для измерения стандартными методами. Также возможно увеличение точности системы за счет повышения точности прибора, при помощи которого получается изображение. Разработанные алгоритмы нахождения геометрических размеров объектов по изображению не привязаны к определенному типу входного устройства и могут быть использованы в аналогичных измерительных системах.

## Литература

1. ATLAS Tile Calorimeter Technical Design Report, CERN/LHCC 96-42, 1996.
2. B.A.Alikov et al. "Metrological inspection of modules of hadron calorimeter for ATLAS detector" ATLAS Internal Note TILECAL-NO-123 4 August 1997.
3. Twain working group. "Standard Twain" TWAIN 1.7 1997 may release.
4. National Instruments Corporation. - "LabVIEW for Windows User Manual", Part Number 320534-01, 1993.
5. C.L.Lawson, R.J.Hanson. - "Solving Least Squares Problems", Prentice-Hall, 1974.
6. D.Hearn, P.Baker. - "Computer Graphics", Prentice-Hall, 1986.

Рукопись поступила в издательский отдел  
14 октября 1999 года.