

P13-2005-212

А. В. Барашков, Г. Л. Глonti, А. Л. Гонгадзе,  
И. Б. Гонгадзе, М. И. Госткин, А. В. Гуськов,  
Д. В. Дедович, М. А. Демичев, П. Г. Евтухович,  
А. Л. Елагин, А. С. Жемчугов, Е. Н. Ильюшенко,  
С. А. Котов, Т. И. Котова, Я. В. Королевич,  
В. Г. Кручонок, З. В. Крумштейн, Н. К. Кузнецов,  
Д. Д. Ломидзе, К. В. Николаев, С. Ю. Подкладкин\*,  
И. Н. Потрап, Т. О. Руденко, Д. В. Харченко,  
Э. Г. Цхададзе, В. Ф. Чепурнов, Г. А. Шелков,  
М. М. Шиякова, А. А. Щербаков

**КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА  
VMS/BMF MDT-КАМЕР ДЛЯ МЮОННОГО  
СПЕКТРОМЕТРА ЭКСПЕРИМЕНТА ATLAS**

---

\* INFN, Лече, Италия

Барашков А. В. и др.

P13-2005-212

Краткое описание производства BMS/BMF — MDT-камер для мюонного спектрометра эксперимента ATLAS

Приводится описание методики сборки мониторируемых дрейфовых камер типа BMS/BMF для мюонного спектрометра эксперимента ATLAS. В течение 2000–2004 гг. в рамках работ по данной теме в ЛЯП ОИЯИ было изготовлено и испытано ~ 25 тысяч дрейфовых трубок, собранных в 84 мюонные камеры типа BMS/BMF — одного из шести основных типов MDT-камер центральной части мюонного спектрометра установки ATLAS. Строгие требования к точности измерения импульса частиц в мюонной системе ATLAS (2% для 100 ГэВ/с и 10% для 1000 ГэВ/с) потребовали разработки технологии создания координатных детекторов с высокой (~ 80 мкм) точностью измерения. Описана методика сборки большеразмерных 5–10 м<sup>2</sup> мюонных камер на базе дрейфовых трубок, в которых среднеквадратичное отклонение сигнальных проволочек от номинального положения не превышало 20 мкм.

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

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2005

Barashkou A. V. et al.

P13-2005-212

Short Description of BMS/BMF MDT Chamber Production for the Muon Spectrometer of the ATLAS Experiment

The method of assembly of the MDT chambers for the muon spectrometer of the ATLAS experiment is described. During 2000–2004 ~ 25000 drift tubes were produced in the DLNP, JINR. The tubes were assembled into 84 muon chambers of BMS/BMF type, one of the six main types for the barrel part of the ATLAS muon spectrometer. Particle momenta must be measured in the ATLAS spectrometer with very high precision (2% at 100 GeV/c and 10% at 1000 GeV/c), which required to produce the coordinate detectors with very high (~ 80 μm) precision. We describe the method of assembly of large-scale 5–10 m<sup>2</sup> muon chambers with the signal wire mean deviation from the nominal position less than 20 μm.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2005

## ВВЕДЕНИЕ

Крупнейшим международным проектом в области физики высоких энергий является сооружение протон-протонного коллайдера LHC в ЦЕРН, Женева. С вводом в строй этого ускорительно-накопительного комплекса у физиков появится возможность соударять протоны с рекордно большой энергией ( $2 \times 7 = 14$  ТэВ). Основная направленность проекта LHC — дальнейшее широкое исследование фундаментальных свойств вещества, включая изучение актуальнейшей проблемы возникновения массы элементарных частиц. Для полного использования потенциала этого уникального комплекса силами специалистов из 150 крупнейших научных центров 34 стран мира создается универсальный детектор ATLAS.

Установка ATLAS [1] включает в себя четыре крупные детектирующие подсистемы, из которых мюонная — внешняя и наиболее масштабная. Мюонная система (МС) установки ATLAS не имеет аналогов и уникальна по своим параметрам. Координатные детекторы мюонной системы — мюонные камеры — собираются из отдельных, независимых детекторов — дрейфовых трубок с повышенным давлением рабочего газа. Из отдельных дрейфовых трубок собирается (склеивается) мюонная камера (рис. 1). Для корректировки механических деформаций, неизбежных в такой крупномасштабной системе, каждая камера снабжается оптоэлектронной системой измерения деформаций (RASNIK). Наружный диаметр МС составляет 22 м, а длина — 42 м. Система собирается из 1200 мюонных камер общей площадью 5500 м<sup>2</sup>.



Рис. 1. MDT-камера типа BMF1 после склейки

Для сборки всех MDT-камер мюонной системы необходимо собрать и тщательно проверить (так как замена или ремонт отдельной трубки внутри мюонной камеры в ходе дальнейшей эксплуатации в течение не менее 10 лет

будут невозможны) около 400000 дрейфовых трубок. В соответствии с распределением ответственности внутри коллаборации ATLAS группа ОИЯИ является крупнейшим производителем дрейфовых трубок. В период с 2001 по 2005 г. в ОИЯИ было собрано и испытано около 65000 дрейфовых трубок и изготовлено 86 дрейфовых камер типа BMS/BMF, одного из шести основных типов МДТ-камер центральной части МС. Для выполнения этой задачи в ЛЯП ОИЯИ была создана автоматизированная линия для сборки и испытания дрейфовых трубок и МДТ-камер [2–9]. Начальная часть линии, предназначенная для сборки и проверки отдельных дрейфовых трубок, создавалась в тесной кооперации с группами Физического института Макса Планка и Университета LMU (Мюнхен, Германия).

Высокие требования к восстановлению координат ( $\sim 80$  мкм) и импульсов вторичных частиц (2 % для 100 ГэВ/с и 10 % для 1000 ГэВ/с) обусловили жесткие границы допустимых отклонений точностных параметров дрейфовых трубок и собранных из них мюонных камер [10]. Каждая дрейфовая трубка собирается на основе алюминиевой трубки с внешним диаметром  $(29,970 \pm 0,015)$  мм и толщиной стенки 400 мкм, вдоль которой с определенным усилием натянута сигнальная позолоченная вольфрамовая проволока диаметром 50 мкм, закрепленная в высокоточных концевых заглушках. При сборке камер требуется обеспечение постоянства дистанции между сигнальными проволочками соседних дрейфовых трубок с точностью (среднеквадратичным отклонением) 20 мкм.

## ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ИНФРАСТРУКТУРА

Для сборки (склейки) камер была подготовлена и оборудована чистая комната площадью  $6 \times 12$  м с системами поддержания чистоты (класс 100 000 по стандарту США 209В) и стабилизации температуры ( $22 \pm 0,5^\circ\text{C}$ ) и влажности ( $45 \pm 5\%$ ) воздуха. С целью поддержания в комнате заданных параметров вход осуществлялся через шлюз-тамбур, в котором работающий на сборке персонал переодевался в спецодежду. Необходимая чистота помещения поддерживалась с помощью воздушных фильтров в системе контроля микроклимата, а также влажной ежедневной уборкой.

Комната освещалась шестью блоками ламп дневного света, установленными на потолке. Для снижения температурных колебаний освещение было включено круглосуточно. Контроль температуры осуществлялся постоянно с помощью ряда температурных датчиков, расположенных, в основном, вокруг гранитного стола. Информация от датчиков температуры фиксировалась в компьютере и использовалась для управления работой системы кондиционирования. В результате суточные колебания температуры не превышали 1 градуса.

Важнейшим элементом сборочной комнаты является 13-тонный монолитный гранитный стол ( $3550 \times 2600 \times 500$  мм) с точностью поверхности и боковых граней на уровне 8 мкм. Стол был изготовлен по специальному заказу во Франции, на фирме «Ateliers Maitre Europe» и был доставлен в ОИЯИ в 1999 г. На специально подготовленном бетонном фундаменте толщиной 0,5 м были установлены три опоры с точечным касанием нижней поверхности гранита в местах, определенных фирмой-изготовителем. Две дополнительные ножки являются страховочными и в рабочих условиях не имеют контакта со столом. По всей рабочей поверхности гранита вставлены резьбовые дюбели (M10) для крепления к столу различных приспособлений. Для этой же цели вдоль длинных боковых граней в граните вставлены крепежные полосы (рис. 2). Позиции для размещения резьбовых дюбелей были заранее опреде-

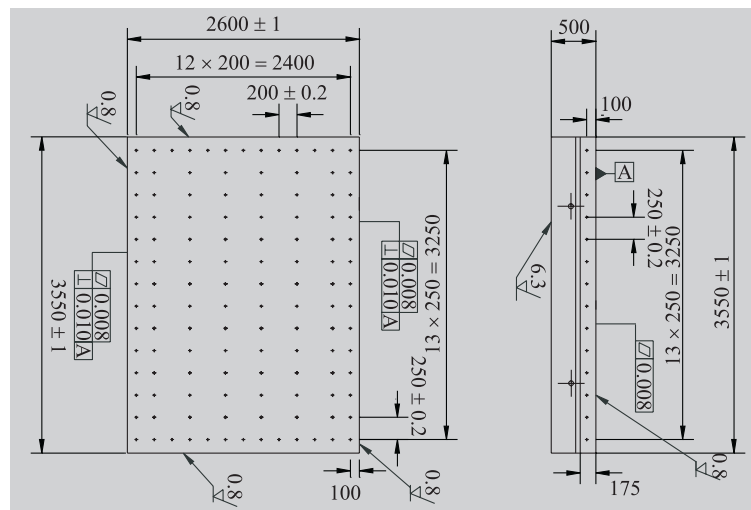


Рис. 2. Схема гранитного стола с указанием некоторых основных размеров, отклонений формы и расположения поверхностей и их шероховатостей. Крестиками обозначены места размещения резьбовых (M10) дюбелей

лены при составлении проекта стола с учетом требований по размещению опорных линий, башен и склеивающей машины [11–13]. После установки стола на штатное место было проведено измерение плоскостности и чистоты его поверхности. Результаты вполне совпали с данными измерений, проведенных на фирме-изготовителе гранита. Максимальное отклонение не превысило 7 мкм (рис. 3). Это позволило считать, что стол поставлен правильно и пригоден к установке на нем высокоточного оборудования для сборки камер.

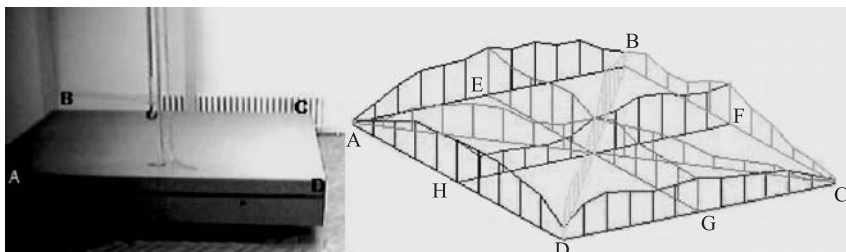


Рис. 3. Результаты измерений отклонений от плоскостности поверхности стола. Максимальная величина отклонения составляет 6,9 мкм относительно минимума в точке А

Для надежного прижатия в процессе склейки дрейфовых трубок к высокоточному стапелю, закрепленному на гранитном столе, использовалась специальная вакуумная система. Система включает вакуумный насос EDWARDS с системой автоматического регулирования работы, вакуумный демпферный объем с необходимым количеством кранов и трубок для подключения отдельных частей опорных линий и вакуумных присосок, размещенных на всех опорных линиях под каждой трубкой. Необходимый для работы уровень разрежения в системе составлял 0,5 атм.

Для работы системы компенсации прогиба несущей фермы камеры [16] и полуавтомата, смешивающего эпоксидный клей перед склейкой, использовался чистый воздух, сжатый до 10 атм в безмасляном компрессоре и распределяемый по специальным трубопроводам.

Для соединения отдельных дрейфовых трубок между собой применялась полуавтоматическая склеивающая машина, элементы которой устанавливались на боковых поверхностях гранитного стола.

Для подъема и переворачивания камеры на различных этапах ее склейки в сборочной комнате смонтирован монорельс с расположенными на нем подъемным двухскоростным электрическим подъемником грузоподъемностью 0,5 т и механическим подъемным краном с ручным цепным приводом грузоподъемностью 0,5 т.

### СКЛЕЙКА И ОСНАСТКА КАМЕР

На стадии изготовления прототипов мюонных камер [14] как в ОИЯИ, так и в других центрах ATLAS исследовались различные варианты методик склейки камер для массового производства. По результатам этих работ группой ОИЯИ в тесном контакте с мюонными группами INFN (Фраскати,

Италия), MPI (Мюнхен) и NIKHEF (Амстердам) была разработана и принята в качестве рабочей методика сборки камер так называемым «спейсерным» методом. Для реализации данной методики было разработано и изготовлено необходимое технологическое оборудование. В «спейсерном» методе сборки склейка камеры происходит послойно, начиная с внутренних слоев, склеиваемых с несущей рамой мюонной камеры (спейсером). Каждый последующий слой клеится к предыдущему, после чего камера переворачивается и производится симметричная склейка с другой стороны камеры (рис. 5). Последовательность операций при сборке мюонной камеры типа BMS/BMF, состоящей из двух суперслоев по три слоя трубок в каждом, следующая:

1. Склейка на гранитном столе спейсера камеры (рис. 5, а) с закреплением на нем элементов системы контроля деформаций.
2. Перенос спейсера на запасную площадку.
3. Склеивание на столе первого слоя трубок для первого суперслоя.
4. Установка спейсера на опорных башнях над собранным первым слоем трубок и их взаимная склейка. Перенос спейсера с наклеенным первым слоем на запасную площадку.
5. Склеивание на столе первого слоя трубок для второго суперслоя.
6. Переворачивание спейсера с первым слоем трубок. Установка его на опорных башнях над собранным первым слоем трубок и склейка его с первым слоем трубок второго суперслоя. Перенос спейсера с наклеенными с обеих сторон спейсера слоями трубок на запасную площадку.
7. Повторение еще четыре раза операций 3–6 для второго и третьего слоев обоих суперслоев.
8. Измерения показаний системы контроля деформации в полностью склеенной и поднятой краном камере в двух горизонтальных положениях с поворотом друг относительно друга на  $180^\circ$  вокруг ее продольной оси. Запись в базу данных усредненного значения этих показаний в качестве нулевого значения деформации данной камеры.

Базовым элементом для сборки камер являлся описанный выше прецизионный гранитный стол. На верхней поверхности стола были закреплены опорные линии, с помощью которых обеспечивалось точное позиционирование дрейфовых трубок внутри склеиваемого слоя [13]. В процессе сборки для обеспечения точного по высоте и в горизонтальной плоскости положения

спейсера с приклеенными слоями дрейфовых трубок относительно приклеиваемого слоя трубок на столе установлены шесть опорных башен [12] переменной (за счет сменных блоков) высоты (рис. 4). Три башни образовывали так называемую точную сторону, определяющую необходимое взаимное расположение склеиваемых слоев по высоте, вдоль и поперек трубок. Они были жестко зафиксированы на поверхности стола, верхняя часть одной из них позволяла только перемещение вдоль трубок, второй — вдоль и поперек трубок, а третьей — полностью закреплена. Оставшиеся три башни служили только для поддержания камеры на необходимой для правильной склейки высоте. На рис. 4 стрелками показаны допустимые направления передвижения

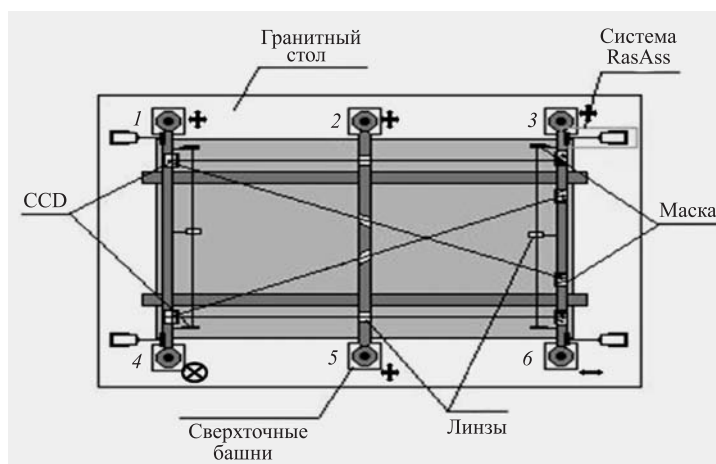


Рис. 4. Схема расположения опорных башен и оптических элементов системы контроля деформаций на собираемой камере: 1, 2, 3 — башни со свободными поверхностями; 4, 5, 6 — точная сторона с ограниченными степенями свободы

верхних частей башен в горизонтальной плоскости. Правильность взаимного расположения башен и опорных линий имеет определяющее значение для обеспечения требуемой точности сборки камеры. Поэтому контроль положения башен различными оптическими методами [15] проводился постоянно.

Сборка детектора начиналась со склейки спейсера. Он представляет собой раму, склеенную из двух продольных и трех поперечных специальных алюминиевых профилей. На концах поперечных балок закреплялись кронштейны со стальными шаровыми опорами (рис. 5, б), которыми собранный спейсер точно устанавливался на верхние части опорных башен. Внутри спейсера монтировалась система контроля деформаций камеры (RASNIK). После снятия склеенного спейсера с гранитного стола на опорные линии укладывались и фиксировались с помощью вакуумных присосок (рис. 5, в) дрейфовые



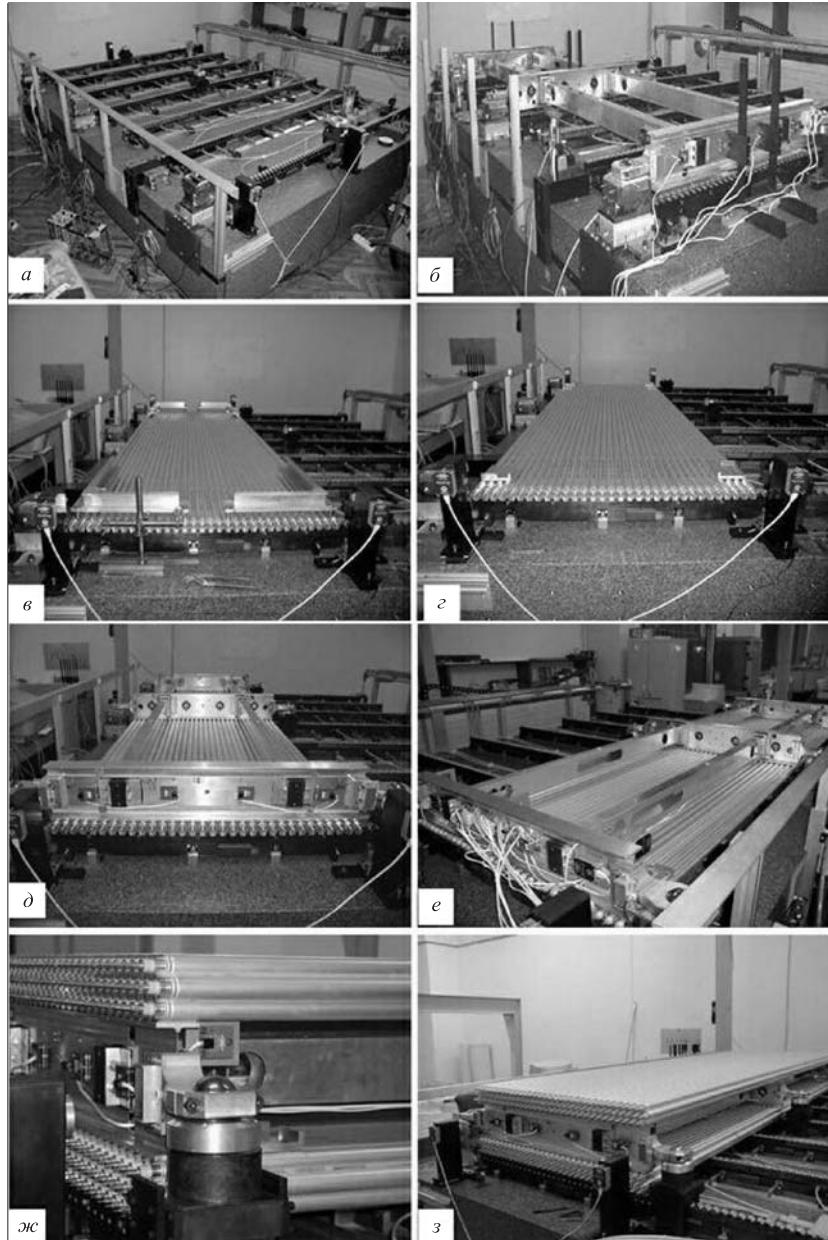


Рис. 5. Основные этапы склеивания камеры

трубки в необходимом для данного типоразмера камеры количестве. Затем в зазоры между склеиваемыми трубками с помощью склеивающей машины [11] наносился клей (Araldit-AW-106). В местах, где трубки внутренних слоев камеры приклеивались к спейсеру, вручную наносился клей DP-460. При склейке первого слоя сверху на трубки с помощью специальных шаблонов, задающих их точное положение, приклеивались платформы для размещения на них впоследствии оптических систем контроля взаимного положения камер в установке ATLAS. Далее с помощью крана склеенный ранее спейсер устанавливался над слоем промазанных клеем трубок на опорные башни, задававшие требуемую высоту и соответственно необходимый зазор ( $\sim 750$  мкм) между поперечными балками спейсера и трубками так, чтобы этот зазор был полностью заполнен клеем, а его избыток свободно выдавливался (рис. 5, з).

Как сказано выше, в процессе сборки камера опиралась на шесть опорных башен при помощи шаров, закрепленных в съемных опорных кронштейнах. Для самого широкого типа камер расстояние между шарами составляло 2,38 м, при этом гравитационный прогиб поперечных балок камеры с приклеенными к ним продольными балками и слоями трубок оказывался свыше 200 мкм.

В то же время приготовленный для склейки с камерой очередной слой трубок, лежащий на опорных линиях гранитного стола, практически строго горизонтален (не имеет прогибов в поперечном направлении). В такой ситуации установка спейсера с приклеенным неполным набором слоев трубок с зазором в 30–40 мкм относительно приготовленного на гранитном столе к склейке следующего слоя невозможна. Для устранения этого нежелательного явления была спроектирована и изготовлена автоматизированная система компенсации поперечного прогиба камеры в процессе сборки [16].

После затвердевания клея (около 6 ч) отключались вакуумные присоски, а также система компенсации прогиба. Склеенная система (спейсер + первый нижний слой) снималась краном с гранитного стола. На столе укладывался новый слой дрейфовых трубок, их фиксация и нанесение клея происходили так же, как и для предыдущего слоя. Для обеспечения симметрии новый слой приклеивался к другой стороне спейсера. Большое внимание при этом уделялось соблюдению точности в установке камеры на опорные башни. Сторона камеры, которая находилась при склейке первого слоя около точной линии опорных башен, должна была вновь находиться около этих башен при склейке последующих слоев. С этой целью помимо переворачивания камеры вдоль осей трубок производился поворот на  $180^\circ$  в горизонтальной плоскости, что позволяла траверса, при помощи которой камера поднималась краном. После такого двухступенчатого поворота «точная» сторона камеры вновь оказывалась над линией «точных» опорных башен. Затем спейсер с первым слоем трубок опускался на опорные башни и включалась система компенсации прогиба (рис. 5, д).

Склейка вторых (считая от спейсера) слоев трубок происходила на следующий день. Отличие этого этапа от предыдущего заключалось в том, что на этот раз спейсер был уже утолщен на величину приклеенных двух первых слоев трубок. По этой причине в опорных башнях производилась замена срединных элементов на элементы, которые были выше на величину расстояния между слоями по вертикали. Эти элементы обеспечивали также сдвиг верхних частей башен поперек трубок на полдиаметра трубки. При этом дрейфовые трубки второго слоя должны попадать в проемы между трубками первого слоя (рис. 5, е), обеспечивая заданную геометрию.

Спейсер с приклеенными двумя первыми слоями трубок снимался со стола, на опорные линии укладывались и фиксировались вакуумными присосками дрейфовые трубки, наносился клей. Затем спейсер вновь опускался на башни, и при этом трубки слоя, приклеенного на спейсере, касались полосок клея, нанесенных на трубках, лежащих на опорных линиях. Давление в системе компенсации прогиба корректировалось с учетом добавленного веса уже приклеенных слоев трубок, так чтобы вновь обеспечить равномерность зазора между склеиваемыми слоями. Второй от спейсера слой трубок с другой стороны камеры приклеивался аналогично первому и также с выполнением необходимых ее разворотов (рис. 5, ж).

На третий день проводилось приклеивание третьих нижнего и верхнего (наружных) слоев дрейфовых трубок по аналогичной схеме, как и для вторых слоев, но с использованием самых высоких срединных элементов опорных башен (рис. 5, и).

Каждый этап склеивания сопровождался измерением плоскостности камеры с помощью системы RASNIK. Кроме этой внутренней системы, на гранитном столе по углам камеры располагались дополнительные измерительные башни со встроенными приемными CCD-камерами и короткофокусными линзами, источники света с масками были вмонтированы в угловых опорных кронштейнах спейсера. Эти четыре башни, образующие систему RasAss, контролировали точность смещений спейсера по высоте и поперек камеры при поэтапном приклеивании слоев дрейфовых трубок.

Для калибровки системы контроля деформаций камеры RASNIK ее показания измерялись на полностью собранной камере, поднятой краном на траверсе. Измерения проводились для двух положений камеры — в исходной позиции и перевернутой вокруг продольной оси на  $180^\circ$ . Разница показаний для этих двух измерений принималась в качестве «нулевого» показания системы RASNIK, фиксируемого в «паспорте» каждой камеры. Все дальнейшие измерения деформаций сравнивались с «нулевым» значением.

В соответствии со схемой размещения камер в установке ATLAS наклоны BMS/BMF-камер к горизонту в рабочем положении составляют либо  $\pm 22,5^\circ$ , либо  $\pm 67,5^\circ$ . При любом из этих наклонов имеется составляющая силы тяжести, вызывающая гравитационный прогиб камеры с детекторными трубками, а

также провисание сигнальных проволочек. Для обеспечения одинакового газового усиления и стабильности работы дрейфовой трубки необходимо, чтобы сигнальная проволочка проходила как можно ближе к центру трубки по всей ее длине. Величина прогиба изменяется вдоль длины трубки по закону изгиба балки, а величина провисания проволочки — по закону цепи, поэтому полностью устранить их разницу невозможно, но ее можно минимизировать, искусственно вводя дополнительную деформацию камеры. С этой целью в ее конструкции предусмотрена система регулировки прогиба, дающая возможность небольшого контролируемого изгиба слоев дрейфовых трубок с помощью регулировочного винта, установленного в месте соединения продольных профилей с центральной поперечной балкой. Перед инсталляцией камер в установку ATLAS системой регулировки прогиба по специальной методике [19] вносились необходимые поправки, обеспечивающие наилучшее соответствие прогибов трубок провисаниям проволочек.

Все результаты измерений записывались в базу данных, то есть так называемый «паспорт» камеры.

Суммируя описанное выше, можно перечислить основные мероприятия, обеспечившие выполнение заданной технологии сборки с получением необходимых степеней точности:

- контроль температурно-влажностного режима воздуха сборочной комнаты;
- контроль чистоты поверхности гранитного стола;
- очистка точных поверхностей оборудования и используемых инструментов;
- периодическая проверка и юстировка взаимного расположения опорных линий;
- контрольные измерения высот и положений опорных башен;
- калибровочные измерения внешних оптических башен RasAss;
- контроль деформаций камеры системой RASNIK;
- оптические измерения прогибов поперечных балок спейсера в процессе сборки;
- измерение высоты расположения дрейфовых трубок на опорных линиях;
- контроль положения концевых элементов дрейфовых трубок на опорных линиях;

- использование системы компенсации прогиба при склейке каждого слоя трубок;
- контроль точности взаимного положения слоев дрейфовых трубок при склейке каждого слоя камеры, лежащей на опорных башнях, с помощью системы RasAss.

#### Некоторые характеристики созданных MDT-камер

Тип камеры	Кол-во камер	Наличие неполных слоев	Макс. ширина, мм	Кол-во трубок в полном слое	Кол-во трубок в одной камере
BMF1	4	Нет	2160	72	432
BMF2	4	Нет	1920	64	384
BMF3	4	Нет	1440	48	288
BMS1	10	Нет	1680	56	336
BMS1-08	2	Имеется 48 коротких трубок 2721.5мм	1680	56	336
BMS2	12	Нет	1440	48	288
BMS3	12	Нет	1440	48	288
BMS4	12	Есть	1440	48	264
BMS5	12	Нет	960	32	192
BMS6	12	Есть	1440	48	264

Первая камера (модуль-0) была собрана в 2001 г. Далее, на протяжении трех лет для мюонного спектрометра эксперимента ATLAS было собрано 72 камеры типа BMS и 12 камер типа BMF. В таблице приводятся некоторые отличительные параметры собранных камер. Как уже описывалось выше, каждая камера имеет шесть слоев дрейфовых трубок, которые сгруппированы в два мультислоя (по три слоя трубок в каждом), расположенных на обеих сторонах спейсера. В спейсере каждой камеры смонтирована система контроля деформаций камеры (RASNIK). Дополнительно на трубках наклеены специальные платформы для датчиков магнитного поля и оптических систем внешнего радиального и внутрисекторного мониторинга. Длина дрейфовых трубок во всех камерах одинакова и составляет 3071,5 мм вместе с концевыми элементами (исключениями являются две камеры BMS1A-08 и BMS1C-08, где вклеены по 48 коротких трубок длиной 2721,5 мм).

12 камер BMS4 и 12 камер BMS6 имеют с одной из сторон неполные слои на 8 дрейфовых трубок меньше в каждом из трех. Эти проемы сделаны для обеспечения свободного прохождения лучей света в оптической системе мониторинга взаимного положения камер экспериментальной установки ATLAS.

С целью контроля качества производства камер некоторые из них проверялись на рентгеновском томографе в ЦЕРНе [17]. Сканирование положений сигнальных проволочек позволило проверить соответствие полученных точностей заданным требованиям и выявить отклонения от норм. Всего было просканировано 10 камер разной ширины. Во всех этих камерах стандартное отклонение в распределении дистанций между соседними сигнальными проволочками не превысило предельного 20-микронного уровня [13]. На первых двух камерах наблюдалось превышение допустимой величины угла поворота между мультислоями, что было устранено в дальнейшем при производстве остальных камер.

На склеенной камере, вынесенной из сборочной комнаты в помещение для работ по оснастке, дополнительно устанавливались следующие элементы:

- система продува рабочим газом — четыре газораспределительные тонкостенные балки, капиллярные трубочки и переходники для соединения каждой дрейфовой трубки с соответствующей балкой, колпачки, подводящие трубки и газовые разъемы;
- распределитель высоковольтного напряжения по слоям дрейфовых трубок;
- электронные платы подачи высокого напряжения (HVHN);
- электронные платы для съема сигналов с дрейфовых трубок (RONH);
- электронные платы для усиления и формирования сигналов (мезонин-платы).
- фарадей-клетки на концах камер для экранирования электронных плат;
- 10 температурных сенсоров;
- две платы с датчиками величины магнитного поля;
- электронный блок RASMUX для приема и обработки информации с систем RASNIK.
- двухъярусный модуль сервиса камер CSM;
- система контроля детектора DCS;
- RASNIK-системы для радиальной и межуровневой юстировок камер в общей системе мюонных камер;
- разнообразные кабельные соединения.

Заземление каждой дрейфовой трубки осуществляется с помощью специальных выводов, привинченных к концевым заглушкам дрейфовых трубок. Они соединяются с шинами HVНН- и RОНН-плат, где осуществляется контакт через сеть низковольтного питания. Остальные металлические детали камеры соединены между собой как непосредственно (при отсутствии между ними изолирующего клеевого слоя), так и специальными токопроводящими перемычками. В составе всей экспериментальной установки ATLAS камера не имеет электрического контакта с поддерживающими рельсами, так как в системе совместной подвески модуля используются пластиковые подшипники. Трубки, подводящие рабочий газ, также соединены с газораспределительными балками камер через электроизоляционные детали. Инсталлированные камеры соединяются между собой электропроводной шиной с сечением  $6 \text{ мм}^2$ . Одним таким кабелем длиной 50 м соединяются максимум 12 камер.

Во избежание нежелательных шумовых наложений некоторые блоки и системы (RASMUX, RASNIK) были электрически отсоединены от системы заземления камеры.



Рис. 6. Момент инсталляции первого модуля в шахту экспериментальной установки ATLAS

На различных этапах оснастки каждая камера проходила многочисленные проверки, основные из них:

— испытание герметичности камеры [20] — величина допустимой потери газа составляла  $2 \cdot N_{\text{тр}} \cdot L_{\text{тр}}$ , где  $N_{\text{тр}}$  — количество дрейфовых трубок в камере,

$L_{\text{тр}} = 10^{-8}$  л·атм ·с<sup>-1</sup> — максимально разрешенная величина потери газа из отдельной трубки;

— испытание токовой утечки — допустимая величина на уровне 50 нА с мультислоя при рабочем газе (93%Ar+7%CO<sub>2</sub>) и высоком напряжении 3080 В;

— полная проверка работоспособности всей камеры на стенде космических лучей.

По завершении всех этапов тестирования камеры [18], объединенные в единые модули с триггерными RPC-камерами [19], были подготовлены к инсталляции в составе общей экспериментальной установки. На рис. 6 показан момент опускания в шахту ATLAS первого модуля BMS, в начале 2006 г. планируется завершить инсталляцию всех модулей BMS и BMF.

Работа выполнена при поддержке грантов МНТЦ № 1659, INTAS-CERN 2000-483 и INTAS-CERN 2003-52-4382.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Muon Spectrometer Technical Design Report. CERN/LHCC/97-22.
2. Глонти Г.Л. и др. Чистое производственное помещение для сборки дрейфовых трубок. Сообщение ОИЯИ P13-2001-179, Дубна, 2001.
3. Госткин М.И. и др. Измерение позиции сигнальной проволоки в дрейфовых трубках мюонной системы установки ATLAS с помощью рентгеновского излучения. Сообщение ОИЯИ P13-2001-197. Дубна, 2001.
4. Брайт В. и др. Высокочувствительный стенд контроля герметичности дрейфовых трубок. Сообщение ОИЯИ P13-2001-200. Дубна, 2001.
5. Дедович Д.В. и др. Прибор для измерения натяжения сигнальной проволоки в дрейфовых трубках. Сообщение ОИЯИ P13-2001-201. Дубна, 2001.
6. Ванча Д. и др. Стенд для прецизионного измерения геометрических параметров алюминиевых трубок. Сообщение ОИЯИ P13-2001-202. Дубна, 2001.
7. Глонти Г.Л. и др. Краткое описание производства дрейфовых трубок для МДТ-камер эксперимента ATLAS. Сообщение ОИЯИ P13-2001-211. Дубна, 2001.
8. Госткин М.И. и др. Стенд для высоковольтных тестирований дрейфовых трубок мюонной системы установки ATLAS. Сообщение ОИЯИ P13-2001-212. Дубна, 2001.
9. Глонти Г.Л. и др. Автоматизированная линия сборки и испытания детекторов мюонной системы установки ATLAS. Сообщение ОИЯИ P13-2001-218. Дубна, 2001.



10. *Kroha H.* Quality Assurance and Control Reference Document for ATLAS MDT Chamber Construction. ATL-MUON-2000-008.
11. *Comanescu B. et al.* Equipment for gluing the parts of an optoelectronic detector. 6th Symposium on Optoelectronics SIOEL-99, 22-24 Sep 1999, Bucharest, Romania. Proceeding of SPIE V. 4068. P. 669–675.
12. *Comanescu B. et al.* High precision towers for support an optoelectronic detector. 6th Symposium on Optoelectronics SIOEL-99, 22-24 Sep 1999, Bucharest, Romania. Proceeding of SPIE V. 4068. P. 172–177.
13. *Глонтти Г.Л. и др.* Опорные линии для сборки МДТ-камер эксперимента ATLAS. Сообщение ОИЯИ P13-2001-219.
14. *Anosov V. et al.* The First Full-Scale Prototype of a BOS MDT Chamber for ATLAS Muon Spectrometer. ATLAS Internal Note MUON-NO-195, 29 June 1997.
15. *Глонтти Г.Л. и др.* Методика юстировки опорных линии для сборки МДТ- камер эксперимента ATLAS. Сообщение ОИЯИ P13-2001-220. Дубна, 2001.
16. *Барашков А.В. и др.* Система компенсации прогиба для сборки МДТ-камер эксперимента Atlas. Сообщение ОИЯИ P13-2005-29. Дубна, 2005.
17. [http://xtomo.home.cern.ch/xtomo/Results/Dubna/Dubna\\_2D-Results.html](http://xtomo.home.cern.ch/xtomo/Results/Dubna/Dubna_2D-Results.html)
18. *Baretta M. et al.* MDT commissioning procedures. Guidelines for certifying RFI chambers. ATL-MUON-2004-022.
19. *Барашков А.В. и др.* Совместная подвеска и интеграция МДТ/RPC камер типа BMS/BMF мюонного спектрометра эксперимента ATLAS. Сообщение ОИЯИ, P13-2005-214. Дубна, 2005.
20. *Барашков А.В. и др.* Система контроля герметичности BMS/BMF-MDT камер мюонного спектрометра эксперимента ATLAS. Сообщения ОИЯИ, P13-2005-213. Дубна, 2005.

Получено 23 декабря 2005 г.

Редактор *М. И. Зарубина*

Подписано в печать 9.03.2006.

Формат 60 × 90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 0,94. Уч.-изд. л. 1,13. Тираж 340 экз. Заказ № 55253.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований  
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.

E-mail: [publish@pds.jinr.ru](mailto:publish@pds.jinr.ru)

[www.jinr.ru/publish/](http://www.jinr.ru/publish/)