

P13-2005-29

А. В. Барашков, Г. Л. Глonti, А. Л. Гонгадзе,
П. Г. Евтухович, Е. Н. Ильюшенко, С. А. Котов,
В. Г. Кручонок, Э. Г. Цхададзе, В. Ф. Чепурнов,
Г. А. Шелков

**СИСТЕМА КОМПЕНСАЦИИ ПРОГИБА ДЛЯ
СБОРКИ MDT-КАМЕР ЭКСПЕРИМЕНТА ATLAS**

Система компенсации прогиба для сборки MDT-камер эксперимента ATLAS

Приводится описание системы устройств, созданных для компенсации гравитационного прогиба дрейфовой камеры в процессе ее сборки. С помощью этой системы при поэтапном приклеивании к камере слоев из трубчатых дрейфовых детекторов значительно уменьшается поперечный прогиб и тем самым обеспечивается высокая точность взаимного положения отдельных трубок. Устройства применялись при сборке 74 MDT-камер эксперимента ATLAS. Приведены расчетные величины деформации камер, а также результаты измерения поперечных прогибов, полученные при сборке с использованием системы компенсации. Тестирование камер на рентгеновском томографе в ЦЕРН показало, что точность расположения отдельных сигнальных проволочек внутри собранных камер в пределах требуемых 20 мкм.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики им. И. М. Франка ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2005

Sag Compensation System for Assembly of MDT-Chambers for the ATLAS Experiment

The description of a system of the devices created for compensation of the gravitational deflection of the drift chamber during its assembly is presented. By means of this system during stage-by-stage gluing of layers of tube drift detectors to the chamber the transversal deflection considerably decreases and by that high accuracy of mutual position of separate tubes is provided. The devices were applied at assembly of 74 MDT-chambers of the ATLAS experiment. Design values of deformation of the chambers as well as the results of measurement of transversal deflections obtained during the assembly with the use of the system of sag compensation are given. Testing of chambers on the X-ray tomograph at CERN has shown that the accuracy of the positions of separate signal wires inside the assembled chambers is within the limits of the required 20 μm .

The investigation has been performed at the Frank Laboratory of Neutron Physics, JINR.

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

ВВЕДЕНИЕ

Высокие прецизионные требования, предъявляемые к MDT-камерам мюонной системы эксперимента ATLAS [1, 2], привели к необходимости разработки и применения высокоточного оборудования, предназначенного как для выполнения всех сборочных операций, так и для контроля точности сборки детектора [3–6].

Конструктивно MDT-камера состоит из несущей фермы (спейсера), состоящей из трех поперечных и двух продольных балок, и наклеенных на нее с двух сторон шести слоев дрейфовых трубок [7]. Взаимное положение сигнальных проволочек всех дрейфовых трубок камеры должно выдерживаться с 20-мкм точностью [2]. С этой целью каждый слой трубок укладывается в высокоточный стапель, размещенный на гранитном столе, а затем приклеивается к спейсеру с наклеенными на него ранее слоями. При этом трубки как внутри слоя, так и между слоями не касаются друг друга, а расположены с небольшими зазорами, заполненными клеем.

В процессе сборки спейсер опирается на шесть специальных башен, выставленных с высокой точностью на гранитном столе (рис. 1, 7) [4]. Для того чтобы вывести опорные точки за пределы камеры, на поперечных балках спейсера размещены съемные кронштейны со стальными шарами, лежащими в специальных гнездах на башнях. Для самого широкого типа камер расстояние между опорными шарами составляет 2,38 м и при этом гравитационный прогиб поперечных балок камеры оказывается свыше 200 мкм, что приводит к соприкосновению слоев трубок, расположенных на спейсере, с трубками на стапеле, а следовательно, к недопустимому снижению расстояния между сигнальными проволочками. Для уменьшения деформаций камеры до минимально возможного уровня необходимы дополнительные регулируемые опоры внутри спейсера, чем собственно и является система компенсации прогиба.

ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ КОМПЕНСАЦИИ ПРОГИБА

В конструкциях спейсеров MDT-камер две продольные балки (рис. 1, 4) проходят через три поперечные балки 5 в так называемых бесселевских точках. В этом случае при подвешивании камеры за концы продольных балок деформации поперечных балок минимальны. В процессе склейки камеры на сборочном столе спейсер опирается через съемные кронштейны со стальными

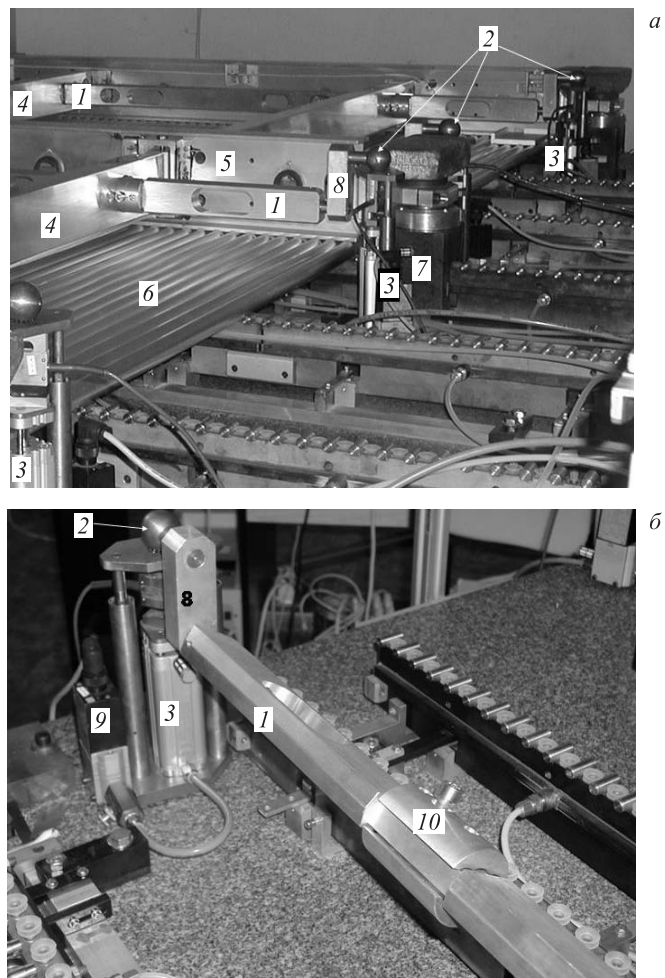


Рис. 1. Момент склейки спейсера с первым слоем дрейфовых трубок (а); элементы системы компенсации прогиба (б). 1 — технологическая балка; 2 — опорные сферы; 3 — башни-подпорки с пневматическими приводами; 4 — продольная балка спейсера; 5 — средняя поперечная балка спейсера; 6 — слой дрейфовых трубок; 7 — опорная башня; 8 — плечо поддержки технологической балки; 9 — электронный блок регулятора давления; 10 — фиксирующая муфта

шарами на опорные башни, обеспечивающие требуемую точность сдвига для приклеивания очередных слоев дрейфовых трубок. В этом случае расстояние между опорами поперечных балок максимально, что при отсутствии допол-

нительных поддержек и при той же гравитационной нагрузке приводит к прогибам на порядок большим, чем при опирании в бесселевских точках.

Система компенсации прогиба (рис. 1) с помощью дополнительных технологических балок *1* осуществляет регулируемую поддержку продольных балок спейсера и тем самым значительно уменьшает прогиб поперечных балок с уже приклеенными к ним слоями трубок. При этом достигается требуемая точность расстояний между сигнальными проволочками слоя дрейфовых трубок, лежащего на высокоточном сборочном столе, и слоем, приклеенным к спейсеру ранее.

На рис. 2 показаны формы деформации поперечной балки спейсера как без компенсации прогиба, так и с максимальной компенсацией. Величины же деформаций зависят от длины поперечной балки и от значений прикладываемых усилий компенсации.



Рис. 2. Формы деформации поперечной балки спейсера для случая, когда она опирается только на концевые опоры-шары (вверху). То же при максимальной компенсации прогиба с поддержкой на технологической балке в точках *A* и *B* (внизу). Величина деформации в последнем случае увеличена для наглядности, в действительности она значительно меньше, чем в первом случае. Расчеты выполнены методом конечных элементов с использованием программы ANSYS

Конструктивно система компенсации прогиба выполнена следующим образом: четыре технологические балки (рис. 1, *1*) проходят через специальные отверстия в продольных балках спейсера на расстояниях 200 мм от поперечных балок и фиксируются специальными муфтами *10*. Шаровые наконечники этих балок *2* через изогнутое плечо поддержки *8* опираются на башни-подпорки с пневматическими приводами *3*. Последние представляют собой пневматические цилиндры со встроенными датчиками контроля усилия. Управление подачей давления сжатого воздуха (до 10 атм) в пневматический привод осуществляется программно с ПК по заданной схеме (табл. 1 — пример для ВМФ3-камеры), когда учитываются как начальный вес спейсера, приходящийся на каждую башню, так и добавленная тяжесть после приклеивания каждого слоя трубок.

Таблица 1. Начальные нагрузки системы для камеры ВМФ-3 (1440 мм), кг

Слой	Номер башни							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	8	4	4	8	8	4	4	8
2	12	6	6	12	12	6	6	12
3	16	9	9	16	16	9	9	16
4	20	12	12	20	20	12	12	20
5	23	14	14	23	23	14	14	23
6	26	16	16	26	26	16	16	26

Колебания давления в пневмоприводе при включении системы могут быть значительными, поэтому во избежание приподнимания камеры при избыточных усилиях компенсации на кронштейны с шарами ставятся дополнительные грузы (весом около 12 кг). Сжатый воздух подается от компрессора* с автоматической регулировкой давления в демпферном объеме. Высокая герметичность газовой системы позволила оставлять установку без присмотра персонала на длительное время с закрытым клапаном входного давления. В этом случае давление в пневматических приводах сохранялось в течение 5–6 ч, что вполне достаточно для затвердевания клея.

Технологическая разработка системы была проведена совместно с инженерами мюонной группы INFN (Фраскати, Италия) [8]. Конструкция была адаптирована для размеров проводимых в ОИЯИ камер (типа ВМS). Изготовление элементов системы проводилось в Румынии в сотрудничестве с инженерной группой из Национального института оптоэлектроники (INOE-2000, Бухарест, Румыния) [9]. Система использовалась при сборке 74 дрейфовых камер мюонной системы эксперимента ATLAS. Для 12 камер типа ВМS-5 с наименьшей шириной (960 мм) система компенсации прогиба не применялась, так как максимальный прогиб без компенсации был в допустимых пределах (<20 мкм).

ИЗМЕРЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Прогибы поперечных балок спейсера измерялись системой RASNIK [10]. Источник света и CCD-приемник располагались на противоположных концах балки, а линза между ними в середине балки. Недеформированное положение системы (нулевое измерение системы RASNIK) достигалось при вывешивании камеры над столом сборки при вертикальном расположении попереч-

*Компрессор SECCATO производства Италии.

ных балок, когда отсутствует их гравитационный прогиб. Величины прогибов контролировались на всех этапах склейки камеры и использовались для коррекции давлений в системе компенсации прогиба.

Перед отладкой программного обеспечения система компенсации была откалибрована. Для этого на каждую пневматическую башню устанавливались грузы различной массы, а с датчиков деформации, расположенных под платформами шаровых наконечников, считывались полученные данные. Результаты измерений представлены в табл. 2. Затем для каждой из башен были рассчитаны линейные коэффициенты k и b . Результаты вычислений представлены в табл. 2. Полученные таким путем значения величин коэффициентов были внесены в управляющую работой программу.

Таблица 2. Показания датчиков с восьми башен системы компенсации прогиба в зависимости от массы груза и результаты вычисления линейных коэффициентов

Номер башни	Масса, кг						
	0	9,5	20	31	43	k	b
1	1,022	1,414	1,873	2,338	2,857	0,0427	1,0160
2	1,017	1,427	1,871	2,338	2,810	0,0418	1,0273
3	1,031	1,405	1,905	2,350	2,810	0,0419	1,0339
4	1,017	1,428	1,879	2,349	2,832	0,0423	1,0252
5	1,013	1,352	1,709	2,095	2,478	0,0341	1,0227
6	1,004	1,346	1,726	2,080	2,490	0,0344	1,0161
7	1,014	1,345	1,704	2,080	2,392	0,0324	1,0362
8	1,006	1,342	1,700	2,088	2,420	0,0332	1,0242

Моделирование прогибов проводилось методом конечных элементов с использованием программного пакета ANSYS. Так как условия нагружения и закрепления всех трех поперечных балок MDT-камеры идентичны, рассматривалась 3D-модель не всей камеры, а одной поперечной балки, нагруженной одной третью веса камеры.

В табл. 3 приведены измеренные величины прогибов поперечных балок спейсера сигнальной (RO) и высоковольтной (HV) сторон для разных типов MDT-камер, а также расчетные величины прогибов этих балок без компенсации и при максимальной компенсации.

Как видно из табл. 3, без использования компенсации прогибы камер выходят далеко за рамки допустимых значений. Измеренные величины прогибов после компенсации довольно близки к расчетным минимально возможным величинам. Небольшие различия обусловлены как спецификой моделирования, приближениями, использованными при оценке весов разных элементов камер, так и невозможностью абсолютно точной установки оптимальных усилий компенсации.

Таблица 3. Расчетные и измеренные величины прогибов поперечных балок для разных камер

Ширина камеры, мм	Имя камеры в базе данных	Расчетная величина прогиба без компенсации, мкм	Расчетная величина прогиба при полной компенсации, мкм	Измеренная величина прогиба после компенсации, мкм	
		HV/RO	HV/RO	HV	RO
960	JINR01	19	1	–	–
1440	JINR030	64	2	–4	11
1680	JINR074	103	3	2	6
1920	JINR065	167	4	4	–3
2160	JINR084	242	7	22	20

Кроме измерений прогибов при помощи оптической системы RASNIK также имеются результаты определения координат сигнальных проволочек собранной камеры на рентгеновском томографе в ЦЕРН [11–13].

Эта установка была специально создана для изучения геометрии детектора, а также для контроля производственных участков с помощью выборочной проверки детекторов. Внутри установки камера подвешивается в горизонтальном положении. Кинематический подвес аналогичен подвесу камеры в экспериментальной установке.

На рис. 3 разными маркерами обозначено шесть разных слоев трубок. В камере VMF-1C в каждом слое размещено по 72 единицы дрейфовых трубок. Общая ширина камеры составляет 2160 мм. Пунктиром показан суммарный

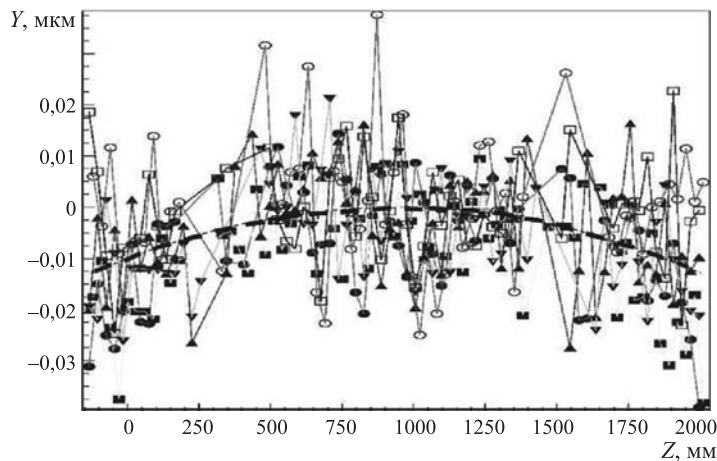


Рис. 3. Результаты измерения камеры VMF-1C (JINR044) на X-томографе в ЦЕРН. Z — ширина камеры; ΔY — отклонение координат проволочек в вертикальной плоскости

поперечный прогиб камеры, который, как видно из приведенной диаграммы, не превышает 15 мкм.

В заключение можно сказать, что была создана и успешно эксплуатировалась система, позволившая обеспечить необходимую точность сборки детектора. Тем самым при работе детектора в реальных условиях исключаются неопределенности, связанные с гравитационными деформациями. Достигнутые величины прогибов вполне удовлетворяют высоким прецизионным требованиям, предъявляемым коллаборацией ATLAS к производимым детекторам.

Авторы благодарят сотрудников LNF INFN (Фраскати, Италия) и INOE-2000 (Бухарест, Румыния) за содействие, оказанное в разработке и изготовлении системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Muon Spectrometer Technical Design Report. CERN/LHCC/97-22.
2. Kroha H. Quality Assurance and Control Reference Document for ATLAS MDT Chamber Construction. ATL-MUON-2000-008.
3. Comanescu B. et al. Equipment for gluing the parts of an optoelectronic detector // 6th Symposium on Optoelectronics SIOEL-99, 22–24 Sept. 1999, Bucharest, Romania. Proc. of SPIE. 1999. V. 4068. P. 669–675.
4. Comanescu B. et al. High precision towers for support an optoelectronic detector // 6th Symposium on Optoelectronics SIOEL-99, 22-24 Sept. 1999, Bucharest, Romania. Proc. of SPIE. 1999. V. 4068. P. 172–177.
5. Глонти Г.Л. и др. Опорные линии для сборки МДТ-камер эксперимента ATLAS. Сообщение ОИЯИ P13-2001-219. Дубна, 2001.
6. Глонти Г.Л. и др. Методика юстировки опорных линий для сборки МДТ-камер эксперимента ATLAS. Сообщение ОИЯИ P13-2001-220. 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. Ackermann K. et al. Cross-plate sag compensation in the assembly of the MDT chamber. ATL-MUON-97-153; ATL-M-PN-153. CERN, 18 Apr. 1997.
9. Comanescu B. et al. Method for calculus of the sag of frame of an optoelectronic detector // 6th Symposium on Optoelectronics SIOEL-99, 22–24 Sept. 1999, Bucharest, Romania. Proc. of SPIE. 1999. V. 4068. P. 676–683.
10. Dikken M. et al. The RASNIK in-plane alignment system. ATLAS Internal Note MUON-No-184, 1997.
11. http://xtomo.home.cern.ch/xtomo/Results/Dubna/Dubna_2D-Results.html

12. *Gschwendtner E., Rohrbach F., Sedykh Yu.* Analysis and Results from Measurements on an X-ray Tomograph of Large Full-Scale MDT Prototypes. ATL-MUON-98-175; CERN, 28 Jan. 1998.
13. *Alexeev G.D., Boyko I.R., Chelkov G.A. et al.* XTOMO, A Prototype of the X-Ray Tomograph for High Precision Measurements of the MDT Muon Chambers. ATL-MUON-97-142; CERN, 25 March 1997.

Получено 15 марта 2005 г.

Редактор *М. И. Зарубина*
Корректор *Е. В. Сабеева*

Подписано в печать 16.06.2005.

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

Усл. печ. л. 0,6. Уч.-изд. л. 0,8. Тираж 325 экз. Заказ № 54925.

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

E-mail: publish@pds.jinr.ru

www.jinr.ru/publish/