

P13-2005-213

А. В. Барашков, Г. Л. Глonti, А. Л. Гонгадзе,  
Д. В. Дедович, М. А. Демичев, А. С. Жемчугов,  
Е. Н. Ильюшенко, Я. В. Королевич, В. Г. Кручонок,  
Д. Д. Ломидзе, К. В. Николаев, Д. В. Харченко,  
Э. Г. Цхададзе, В. Ф. Чепурнов, Г. А. Шелков,  
А. А. Щербаков

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ  
BMS/BMF-MDT-КАМЕР МЮОННОГО  
СПЕКТРОМЕТРА ЭКСПЕРИМЕНТА ATLAS

Барашков А. В. и др.

P13-2005-213

Система контроля герметичности BMS/BMF-MDT-камер  
мюонного спектрометра эксперимента ATLAS

Представлено описание сертификации на герметичность произведенных в ОИЯИ мюонных камер эксперимента ATLAS. Высокоточный стенд был сооружен на производственном участке ЛЯП ОИЯИ. Приводятся описание стенда и результаты измерений, а также описание и результаты повторных тестов дрейфовых камер после транспортировки в ЦЕРН.

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

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2005

Barashkou A. V. et al.

P13-2005-213

Hermeticity Control System for the BMS/BMF-MDT Chambers  
of the Muon Spectrometer of ATLAS Experiment

Description of hermeticity certification of the JINR made muon chambers for the ATLAS experiment is presented. A high precision stand was installed in the production area of the DLNP, JINR. The description of the stand and results of the measurements and the description and results of the second testing of the drift chambers carried out after transportation to CERN are presented.

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

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

## ТРЕБОВАНИЯ К ГЕРМЕТИЧНОСТИ ДРЕЙФОВЫХ КАМЕР МЮОННОЙ СИСТЕМЫ

Для мюонной системы экспериментальной установки ATLAS [1] в ОИЯИ были изготовлены 84 дрейфовые камеры [2], состоящие из более чем 25000 дрейфовых трубок [3]. Для сохранения стабильности дрейфовых характеристик рабочей газовой смеси коллаборацией были установлены очень высокие требования на герметичность камер [4, 5]. Максимально допустимая величина течи (количество газа, вытекающее в единицу времени из объема детектора, далее — «течь») определялась формулой

$$L_{\max} = 2 \cdot 10^{-8} \cdot N_{\text{tubes}} \cdot \text{л} \cdot \text{бар} \cdot \text{с}^{-1},$$

где  $N_{\text{tubes}}$  — количество дрейфовых трубок в камере. Для дрейфовой трубки объемом 2,2 л это означает потерю  $\sim 0,03\%$  рабочей смеси в сутки, или падение давления около 0,8 мбар/сут. Отдельные камеры содержат 200–400 таких трубок, при этом газовая система камеры имеет от 600 до 1500 соединений, доступ к которым после полной сборки детектора практически невозможен. Для достижения требуемого уровня надежности была разработана многоэтапная система контроля герметичности:

- 1) проверка всех дрейфовых трубок до сборки камеры на стенде проверки герметичности [6, 7]. Максимально допустимая величина течи одной трубки  $10^{-8} \text{л} \cdot \text{бар} \cdot \text{с}^{-1}$ ;
- 2) высокоточная проверка герметичности камеры на газовом стенде производственного участка ОИЯИ;
- 3) проверка давления в камере перед отправкой камеры на хранение в ОИЯИ;
- 4) проверка давления перед отправкой камеры в ЦЕРН;
- 5) проверка давления сразу после транспортировки в ЦЕРН;
- 6) точная проверка герметичности на газовом стенде сборочного участка ЦЕРНа;
- 7) проверка давления перед отправкой камеры в шахту установки ATLAS;
- 8) проверка давления после инсталляции камеры в установке ATLAS.

Основные тесты (пп. 2 и 6) будут подробно описаны ниже. Дополнительные проверки (пп. 3, 5, 7, 8) осуществлялись с помощью обычного стрелочного манометра. Точность измерений определялась колебаниями атмосферного давления и температуры и составляла  $\sim 50\text{--}100$  мбар. Тем не менее, при большом периоде между измерениями (до нескольких месяцев) эти проверки являлись хорошим дополнительным тестом герметичности, а также помогали обнаружить факт повреждения камеры при транспортировке.

## ГАЗОВАЯ СИСТЕМА МЮОННЫХ ДРЕЙФОВЫХ КАМЕР

Основные элементы газовой системы камер показаны на рис. 1. На каждой камере были установлены по четыре газовых распределителя (1) с отверстиями и разъемами для соединительных трубок — капилляров (3). Дрейфовые трубки соединялись параллельно-последовательно: по три трубы между собой соединяются последовательно перемычками (4), а такие тройки — с распределителем через переходник (2) и капилляр (3). Капиллярные трубки фиксируются в отверстиях распределителя пластиковыми фиксаторами (5). Капилляры разной длины имеют разный внутренний диаметр для обеспечения одинакового сопротивления потоку газа. Все соединения уплотняются резиновыми кольцами.

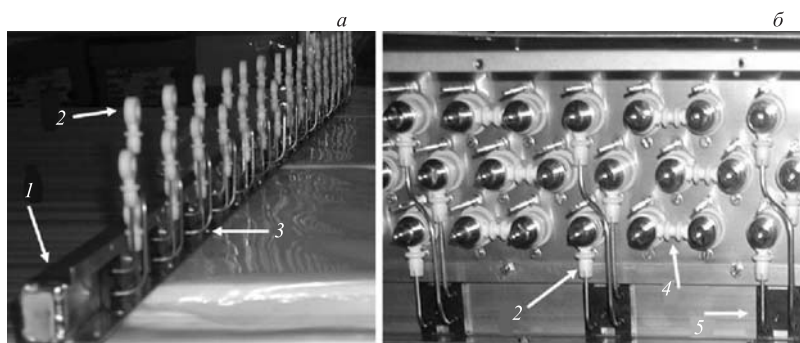


Рис. 1. Подготовленный для установки на камере газовый распределитель (а) и элемент газового соединения на камере (б). 1 — распределитель; 2 — пластиковый переходник; 3 — капилляр из нержавеющей стали; 4 — перемычка; 5 — пластиковый фиксатор

Газовые распределители с системой центрального газового питания соединяются трубками из нержавеющей стали, концы которых выводятся на край камеры. Для уменьшения наводок на сигнальную электронику предусмотрена электрическая развязка — между распределителями и трубами центрального газового снабжения установлены пластиковые переходники-изоляторы, а на соединительные нержавеющие трубки надеты пластиковые изоляционные чехлы.

## ПРОВЕРКА ГЕРМЕТИЧНОСТИ КАМЕР НА СТЕНДЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО УЧАСТКА В ЛЯП ОИЯИ

Проверка герметичности камер на производственном участке ЛЯП ОИЯИ [2] осуществлялась мониторингом разницы давлений в тестируемой камере и в герметичной «референсной» емкости. Схема стенда и фотография

измерительного блока приводятся на рис. 2. Использовался датчик разности давления «Сапфир-22ТМ» производства России, имеющий рабочий диапазон измерений  $\pm 8$  мбар и точность 0,08 мбар. В качестве тестового газа применялся аргон.

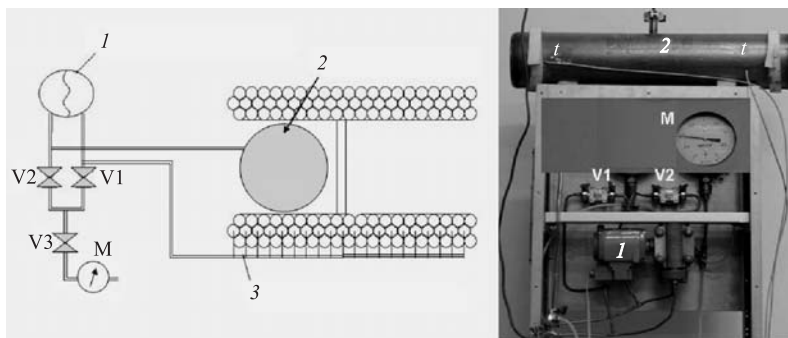


Рис. 2. Измерительный узел стенда: 1 — датчик разности давления; 2 — референсный объем; 3 — газовая система камеры; М — контрольный манометр;  $t$  — температурные датчики на референсном объеме; V1, V2, V3 — газовые вентили

Последовательность операций при измерении такова:

1. Газовые вентили V1, V2 открыты, камера и референсный объем заполняются газом до 3 бар.

2. V1, V2 открыты, V3 закрыт. Камеру и референсный объем оставляют на два часа для стабилизации давления и выравнивания температуры после заполнения объемов.

3. V1, V2, V3 закрыты. Разница давлений камеры и референсного объема и температура мониторируются в течение 2–3 сут.

Следует отметить, что использованная схема чувствительна именно к разнице давлений, что позволило получить очень высокую абсолютную точность (0,08 мбар при рабочем давлении 3 бар), используя доступные датчики класса точности 0,5.

В идеальном случае установка не чувствительна к плавным изменениям температуры в тестовом помещении, когда температуры камеры и референсной емкости меняются синхронно. К сожалению, в реальных условиях при работающем отоплении распределение температур в комнате может заметно меняться. При значительных размерах камер (3,2×1,5 м) это приводит к изменению измеряемой разницы давлений. Для уменьшения этого эффекта референсная емкость располагалась непосредственно у камеры, и они вместе покрывались теплоизолирующим покрывалом. Кроме того, был добавлен

мониторинг температуры камеры (10 встроенных датчиков) и референсной емкости. Температурные поправки определялись формулой

$$\Delta P_{\text{эфф}} = \Delta P_{\text{изм}} + \frac{P_0}{T_0} (\Delta T_0 - \Delta T_{\text{изм}}),$$

где  $\Delta P_{\text{эфф}}$  — эффективная разница давлений;  $\Delta P_{\text{изм}}$  — показания датчика разности давления при наборе данных;  $P_0$  и  $T_0$  — начальное давление и температура газа в камере. Это отношение является постоянной согласно известной зависимости для идеальных газов.  $\Delta T_0 = T_0^{\text{кам}} - T_0^{\text{реф}}$  — разница температур в начальный момент и  $\Delta T_{\text{изм}} = T_{\text{изм}}^{\text{кам}} - T_{\text{изм}}^{\text{реф}}$  та же разница во время измерения. На рис. 3 приведены типичные зависимости разницы давлений и разницы температур от времени.

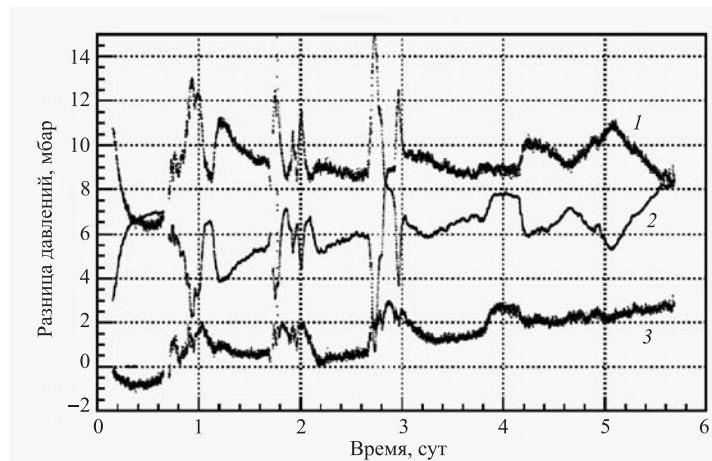


Рис. 3. Результаты измерений для камеры BMS1C02 (JNR074). Температурные данные при измерениях давлений (1), данные измерения разницы давлений без поправки на температуру (2) и с поправкой (3) на стенде ОИЯИ

Точность стенда позволяла сделать оценку величины течи камеры после нескольких часов измерения. При наличии значительной течи (как правило, из-за погрешностей сборки газовой системы) место неисправности искалось при помощи ручного течеискателя (*Qualichek 196* производства США). Этот детектор позволяет работать с различными газами, в том числе и с аргоном (предельная чувствительность  $1,4 \cdot 10^{-4}$  мбар  $\cdot$  л  $\cdot$  с $^{-1}$ ). Если найти неисправность не удавалось (два случая), камера заполнялась гелием, чувствительность течеискателя к которому в  $\sim 7$  раз выше.

После начала массовых тестов в ЦЕРНе требования к герметичности были снижены коллаборацией в 10 раз. Стенд ОИЯИ позволял проводить проверку

с заданной изначально точностью, но так как поиск и небольших течей является крайне трудоемкой операцией, «внутренние» требования ОИЯИ при доводке камер были ослаблены до 3 мбар/сут.

Для окончательной сертификации все камеры тестировались не менее двух суток. Результаты тестов дрейфовых камер на производственном участке ОИЯИ приведены на рис. 4.

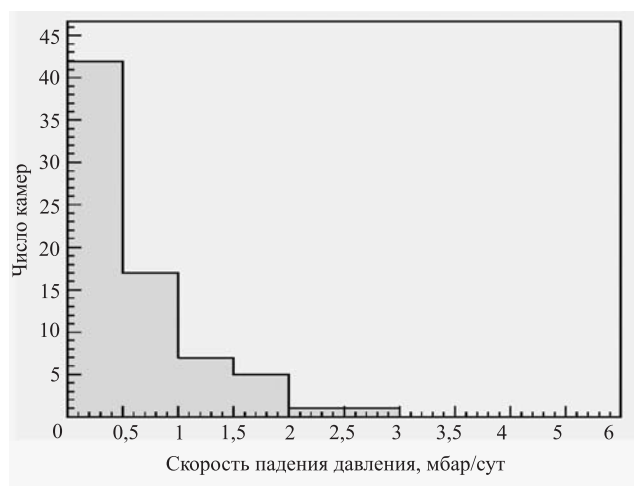


Рис. 4. Распределение величины течи дрейфовых камер по измерениям на стенде ОИЯИ

Все произведенные в ОИЯИ камеры были приведены к требуемому уровню герметичности и отправлены в ЦЕРН для дальнейшей оснастки и установки в детектор.

#### **ПРОВЕРКА ГЕРМЕТИЧНОСТИ ДРЕЙФОВЫХ КАМЕР НА СБОРОЧНОМ УЧАСТКЕ ЦЕРНА**

Транспортировка в ЦЕРН на грузовом автотранспорте представляла стрессовую ситуацию для камер, хотя специально созданная транспортная ферма обеспечивала достаточную безопасность.

После доставки камеры на сборочный участок ЦЕРНа проводилась грубая проверка давления с помощью простого манометра, и результаты сравнивались с данными такого же измерения в ОИЯИ, записанного перед отправкой. При выявлении сильного расхождения камера тщательно проверялась для выявления механических повреждений или других возможных причин утечки газа. Был обнаружен случай повреждения алюминиевой стенки дрейфовой

трубки и одна трещина в концевом элементе трубки. В основном преобладало расшатывание резьбовых соединений, устранение которого было несложным.

Перед сборкой с триггерными камерами дрейфовые камеры тестировались на стенде сборочного участка. Для этого в течение 1,5–2 сут контролировались абсолютное давление и температура камер. Проверка герметичности была совмещена с тестом на работоспособность, использовались термодатчики камер и датчик абсолютного давления, встроенный в регулятор потока газовой системы. Схема стенда приведена на рис. 5.

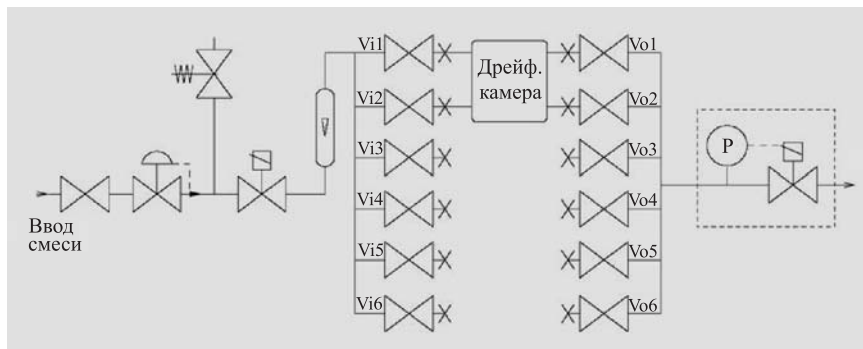


Рис. 5. Схема стенда. Vi1–Vi6 — входные вентили; Vo1–Vo6 — выходные вентили; P — измерительный узел

Одновременно тестировалось до трех камер (шесть суперслоев). Камеры заполнялись рабочей смесью (93% Ar+7%CO<sub>2</sub>) до давления 3 бар и продувались для проверки работоспособности, входные (Vi1–Vi6) и выходные (Vo1–Vo6) вентили закрывались, регулятор потока фиксировался в закрытом состоянии. Затем поочередно выходными вентилями V<sub>o</sub> суперслоя тестируемых камер подключались к датчику давления и в течение ~ 30 мин фиксировалось абсолютное давление в слое и его температура. За время теста (1,5 сут и более) делалось не менее трех таких измерений. Температурная поправка к давлению определялась уравнением идеального газа. На рис. 6 приведен график измерения давления второго мультислоя камеры BMS1C02 (JNR074), на стенде ЦЕРНа. Введение температурной поправки на величину давления газа сильно меняет картину (графики 1 и 2), хотя полного сглаживания этим методом при сильных перепадах температур не достигнуто. На горизонтальной оси указаны даты и время проведения измерений. Линейная аппроксимация данных за ~2 сут показала уровень утечки  $L \approx 2,5 \cdot 10^{-8} \text{ бар} \cdot \text{с}^{-1}$ , что вполне соответствовало критериям.

Распределение результатов тестов для всех камер приведено на рис. 7. Наличие отрицательных значений течи объясняется ограниченной точностью теста, и прежде всего, неидеальной температурной коррекцией. Это проявля-



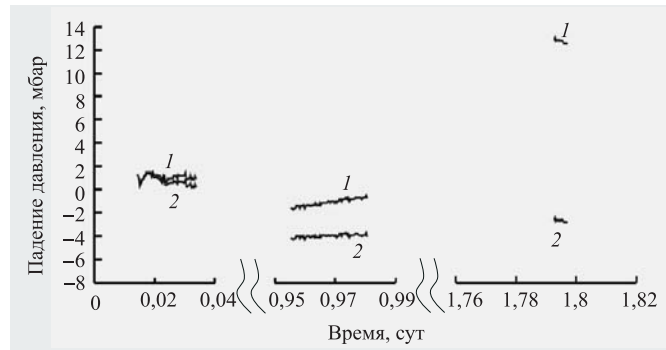


Рис. 6. Данные измерений давления без поправки на температуру (1) и с поправкой (2) на стенде ЦЕРНа для камеры BMS1C02 (JNR074)

ется также в значительных разбросах отдельных измерений (рис. 6). Реальная точность теста может быть «оценена сверху» по ширине распределения на рис. 7 как  $\sigma \approx 2,5$  мбар/сут.

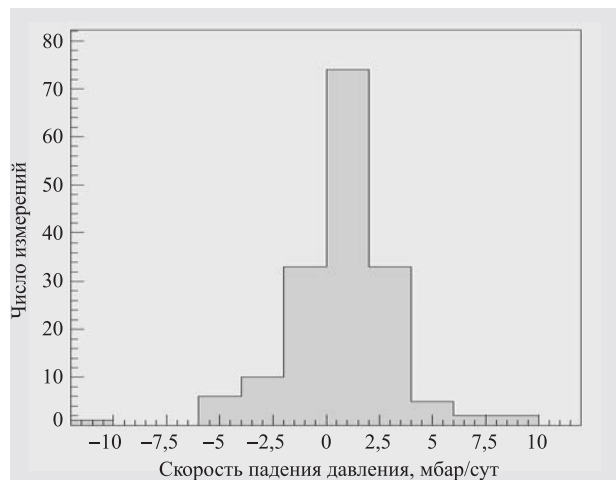


Рис. 7. Распределение величины течи по измерениям на стенде ЦЕРНа

Все данные измерений на стендах ЦЕРНа, а также идентификационные номера использованных электронных блоков записывались в базу данных [8] мюонной системы.

Камеры, произведенные в ОИЯИ, успешно прошли все тесты, предусмотренные процедурой проверочных мероприятий перед инсталляцией в экспериментальную установку [5]. В настоящее время все они установлены на штатные места мюонного спектрометра.

Работа выполнена при поддержке гранта INTAS-CERN 2003-52-4382.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Muon Spectrometer Technical Design Report. CERN/LHCC/97-22.
2. *Барашков А. В. и др.* Краткое описание производства BMS/BMF MDT-камер для мюонного спектрометра эксперимента ATLAS. Сообщение ОИЯИ P13-2005-212. Дубна, 2005.
3. *Глонти Г. Л. и др.* Краткое описание производства дрейфовых трубок для MDT-камер эксперимента ATLAS. Сообщение ОИЯИ P13-2001-211. Дубна, 2001.
4. *Kroha H.* Quality Assurance and Control Reference Document for ATLAS MDT Chamber Construction. ATLAS-MUON-2000-008.
5. *Baretta M. et al.* MDT commissioning procedures. Guidelines for certifying RFI chambers. ATLAS-MUON-2004-022.
6. *Braic V. et al.* Leak Detection System for Mass-production of DT Detectors. ATLAS Internal Note MUON-NO-225, 1998.
7. *Брайк В. и др.* Высокочувствительный стенд контроля герметичности дрейфовых трубок. Сообщение ОИЯИ P13-2001-200. Дубна, 2001.
8. [http://atlas.web.cern.ch/Atlas/GROUPS/MUON/Logistics/MDT\\_LogisticsFrame.html](http://atlas.web.cern.ch/Atlas/GROUPS/MUON/Logistics/MDT_LogisticsFrame.html)

Получено 23 декабря 2005 г.

Редактор *М. И. Зарубина*

Подписано в печать 10.03.2006.

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

Усл. печ. л. 0,5. Уч.-изд. л. 0,57. Тираж 325 экз. Заказ № 55256.

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/)