

P13-2001-200

Д. В. Дедович, П. Г. Евтухович, А. С. Жемчугов,
Э. Г. Цхададзе, А. Г. Шелков, В. Т. Брайк*,
М. Т. Брайк*, К. Н. Зойта*, А. Е. Кисс*

**ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ СТЕНД КОНТРОЛЯ
ГЕРМЕТИЧНОСТИ ДРЕЙФОВЫХ ТРУБОК**

*Национальный институт оптоэлектроники, Бухарест

Введение

Стенд проверки дрейфовых трубок (ДТ) на герметичность создавался для участка по производству дрейфовых трубок для мюонной системы эксперимента ATLAS [1,2] в Объединенном институте ядерных исследований (Дубна). Согласно спецификации [2] величина течи каждой трубки (количество газа, вытекающего из ДТ в единицу времени) в рабочих условиях (аргон 3 бар в трубке) не должна превышать 10^{-8} бар-л/с. Столь жесткие ограничения определяются высокими требованиями к пространственному разрешению (80 мкм). Для сохранения постоянства дрейфовой характеристики ДТ примесь воздуха в рабочем газе не должна превышать 100 ppm [3]. При этом из-за большого суммарного объема детекторов мюонной системы экономически и технически нецелесообразно увеличивать скорость обновления рабочего газа свыше 1 объема за сутки, что определяет максимально допустимый уровень течи [4].

Таким образом, при создании стенда планировалось выполнить следующие условия:

- 1) Максимальная чувствительность порядка $2 \cdot 10^{-9}$ бар-л/с при точности измерения около 20%;
- 2) Стенд должен быть пригоден для работы в условиях массового производства – он должен обеспечивать скорость тестирования свыше 100 ДТ/день при максимальной надежности и простоте в работе со стендом.

Описание установки

1. Физические принципы измерения течи

Самыми простым и надежным методом регистрации течи является прямой – по изменению давления в тестируемом объеме. Главные его недостатки – ограниченная чувствительность и большая длительность теста. Внутренний объем ДТ, производимых в ОИЯИ, равен 2–2,8 л. При максимально допустимом уровне течи (10^{-8} бар-л/с) падение давления составит 0,3–0,5 мбар в сутки. Учитывая, что перепад давления из-за изменения температуры всего на $0,1^{\circ}\text{C}$ составляет около 1 мбар, становится понятной невозможность (или, по крайней мере, техническая трудность) использования такого теста в процессе массового производства.

Исходя из этого была принята схема определения уровня течи путём непосредственного измерения количества газа (гелия), вытекающего из трубки в вакуум. На рис.1 приведена принципиальная физическая схема проверки ДТ на герметичность.

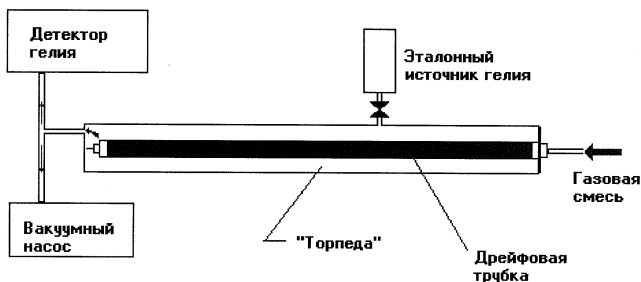


Рис.1. Принципиальная схема измерения уровня течи

Для измерения величины течи дрейфовая трубка заполняется газовой смесью с добавлением гелия и помещается в откачиваемый объем – "торпеду", – соединенный с чувствительным детектором гелия.

В системе устанавливается равновесная концентрация гелия, которая измеряется детектором. Эта концентрация пропорциональна величине течи.

$$L = K \cdot P_{\text{He}},$$

где L – величина течи, P_{He} – парциальное давление гелия, K – коэффициент пропорциональности. Для определения коэффициента пропорциональности K к "торпед" подключается эталонный источник гелия известной производительности.

Формально, для тестов может использоваться любой газ, в том числе воздух. В этом случае детектором может служить чувствительный манометр. Но использование гелия имеет важные преимущества:

- Снижаются требования к герметичности установки – так как в атмосфере практически нет гелия, даже значительная течь "торпеды" не искажает измерений.

- В вакууме поверхность трубки освобождает адсорбированный ранее газ ("outgasing"), имитируя течь. Величина такой "виртуальной" течи может быть в десятки раз больше предельно допустимой [5], поэтому, опять же, требуется газ, содержание которого в атмосфере мало.

Таким образом, главное преимущество гелия как пробного газа – значительно лучшие условия по фону и меньшие требования к установке.

2. Устройство и функционирование стенда для измерения течи

Схема установки приведена на рис.2

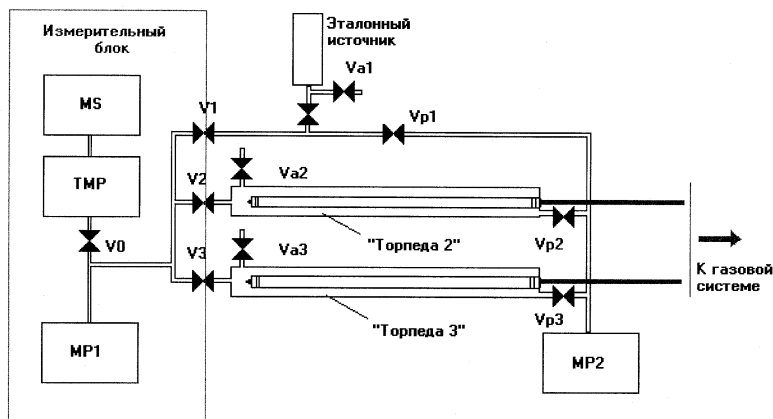


Рис.2. Схема установки

В качестве детектора гелия используется радиочастотный масс-спектрометр (MS) RGA100 производства фирмы "Stanford Research Systems". В рабочем объеме масс-спектрометра постоянно поддерживается высокий вакуум ($\sim 10^{-6}$ мбар) с помощью турбомолекулярного насоса (TMP) и форвакуумного насоса (MP1). Вместе они образуют измерительный блок стенда. Остальная часть стенда – 3 идентичных канала – служит для быстрого подключения к измерительному блоку проверяемых трубок или эталонного источника гелия без нарушения условий работы блока по вакууму.

Проверяемая трубка помещается в одну из "торпед", подсоединяется к газовой системе, откачивается и заполняется газовой смесью, содержащей гелий. Вентили V1-3, Va1-2, V4-6 при этом закрыты. Затем "торпеда" предварительно откачивается с помощью форвакуумного насоса MP2 до давления 0,1–1 мбар, и с помощью вентилей V1 подключается к измерительному блоку, реализуя таким образом принципиальную схему измерений (рис.1). MS и TMP являются детектором гелия, а MP1 – насосом. "Торпеда" подключается к масс-спектрометру по схеме "противотока", и гелий попадает в масс-спектрометр, проходя турбомолекулярный насос против нормального направления потока. При этом давление гелия снижается в 10^3 раз, а давление более тяжелых газов (азота и кислорода) – более чем в 10^6 раз, в результате чего условия работы масс-спектрометра практически не зависят от условий в "торпедах". Вместе с выбором гелия в качестве пробного газа это обеспечивает высокую надежность и достоверность измерений в условиях массового производства: результаты тестов меняются менее, чем на 10%, даже при искусственном создании течи в "торпеду" из атмосферы величиной до 0,1 мбар·лс.

Пока одна из "торпед" подключена к измерительному блоку, другую можно готовить к измерениям – устанавливать трубку, заполнять ее и проводить предварительную откачку. Таким образом реализуются "конвейерные" условия теста. Давление в разных частях стенда автоматически контролируется вакууметрами. Стенд и масс-спектрометр управляются программно с помощью персонального компьютера. Программа работы с масс-спектрометром поставляется производителем. Программа управления стендом, реализующая алгоритм работы и защиту от случайных повреждений, написана при разработке стенда.

Скорость измерения определяется производительностью насосов и объемом системы. Давление в системе определяется уравнением

$$P = P_0 * e^{-t/\tau} + P_{eq} * e^{-t/\tau}, \text{ где } P_{eq} = L/S, \tau = V/S.$$

Здесь P – давление; t – время; P_{eq} – равновесное давление; L – величина течи; S – производительность насоса MP1; τ – характерное время, равное ~ 30 с для данной системы. Таким образом, минимальное время измерения для данного стенда 1,5–2 мин. Для подготовки следующей "торпеды" (трубки) требуется 2–3 минуты. Реальная скорость проверки ДТ – 15–20 трубок в час.

Давление гелия в течение работы установки непрерывно измеряется масс-спектрометром. На рис.3 показан отклик масс-спектрометра при калибровке – подключении

источника гелия производительностью $0,25 \cdot 10^{-8}$ бар-л/с. По оси X отложено время, Y – давление гелия. Одна клетка соответствует 10^{-9} мбар. Диапазон измерений масс-спектрометра – 10^{-9} – 10^{-4} мбар. Видно, что чувствительность установки превышает $0,05 \cdot 10^{-8}$ бар-л/с (5% от максимальной течи). Точность измерений определяется точностью эталонного источника гелия и составляет 15%.

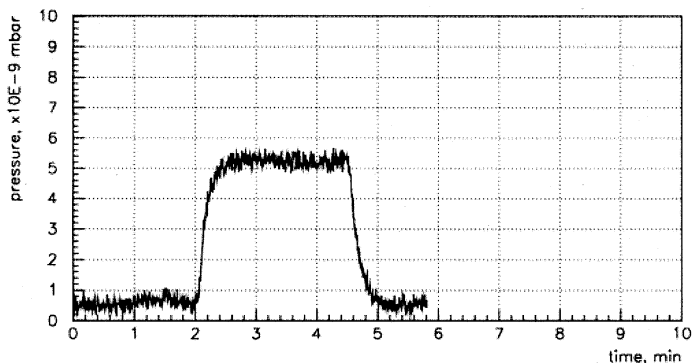


Рис.3. Сигнал на выходе MS при калибровке

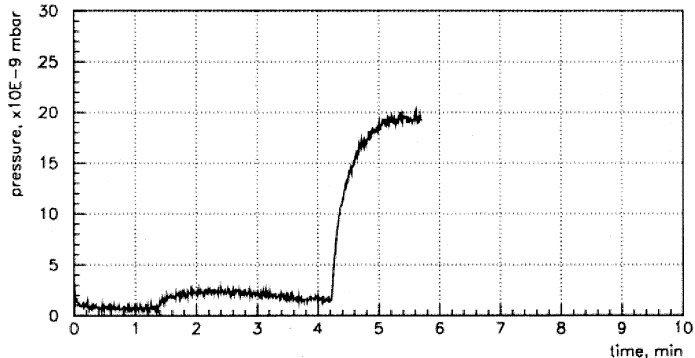


Рис.4. Сигнал на выходе MS при реальных измерениях

Показания масс-спектрометра при подключении реальной ДТ приведены на рис.4. Видны моменты подключения двух трубок – с очень малой течью и с явной течью чуть меньше

предельной. Результаты измерений автоматически записываются в базу данных в формате MS Access и добавляются к общей базе данных мюонной системы эксперимента ATLAS.

Результаты проверки дрейфовых трубок мюонной системы эксперимента ATLAS

В период с октября 2000 г. по июнь 2001г. было проверенно 8660 дрейфовых трубок, произведенных в ОИЯИ для мюонного спектрометра эксперимента ATLAS. Результаты измерений приведены на рис.5

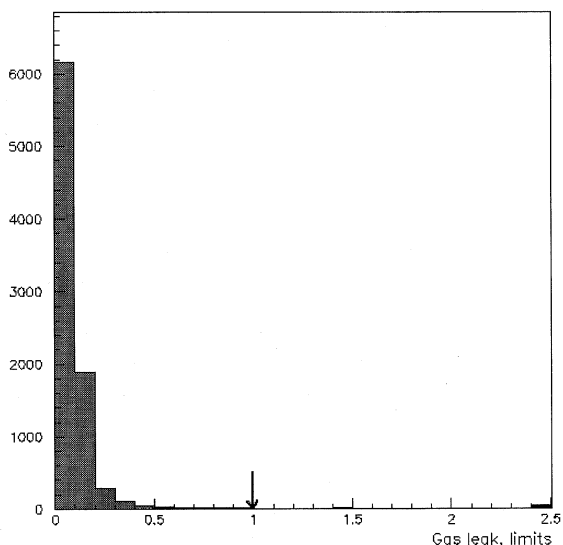


Рис.5. Распределение уровней течи для дрейфовых трубок. Единица соответствует предельной течи (10^8 бар-л/сек). Трубки с величиной течи свыше 2.5 предельной просуммированы в последний канал

Как видно, распределение имеет характерный вид "распределения дефектов". Большинство трубок имеет практически нулевую течь, трубки с дефектами имеют течь

значительно выше предела. Ширина пика указывает на реальную чувствительность. Она несколько ниже предельной, так как для упрощения работы при тестах не учитывается фон (нет необходимости в точном определении величины течи трубок, достаточно отбраковать плохие). Из 8660 проверенных трубок 74 идентифицированы как текущие. Процент брака за счёт негерметичности детектора составляет около 0,9%.

Литература

- [1] ATLAS Collaboration, Technical Proposal for a General Purpose pp Experiment at Large Hadron Collider at CERN, CERN/LHCC/94-43, LHCC/P2, 1994.
- [2] ATLAS Collaboration, Muon Spectrometer Technical Design Report, CERN/LHCC/97-22, 1997.
- [3] Influence of aqueous vapour on drift properties of MDT gases, S.Kircher *et al.*, ATLAS Internal Note MUON-NO-214, 1997.
- [4] Diffusion and Impurities in the MDT Gas System, N.P.Hessey *et al.* ATLAS Internal Note MUON-NO-235, 1998.
- [5] Theory and Practice of Vacuum Technology, M.Wutz *et al.*, Vieweg&Sogh Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig, 1987.

Рукопись поступила в издательский отдел
28 сентября 2001 года.

Дедович Д. В. и др.

P13-2001-200

Высокочувствительный стенд контроля герметичности дрейфовых трубок

Представлено описание полуавтоматического стенда для тестирования герметичности дрейфовых трубок мюонного спектрометра эксперимента ATLAS. Высокие требования, предъявляемые к произведенным детекторам (максимальная течь не более 10^{-8} бар·л/с), и большие объемы производства (свыше 100 трубок в день) привели к созданию специализированного стенда, обладающего высокой чувствительностью и простого в использовании. Приведены характеристики стенда и результаты, полученные в течение года эксплуатации.

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

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2001

Перевод авторов

Dedovitch D. V. et al.

P13-2001-200

High Sensitive Gas Leak Detection Station

The description of the semi-automatic gas leak detection station is presented. Station was designed to test drift tubes (DT) of the ATLAS muon spectrometer for gas leak. Strong requirements for DT-gas tightness (maximum accepted leak is 10^{-8} bar·l/s) and high production rate demanded building of a specialized testing station. Station performance and results from the first year of mass production are presented.

The investigation has been performed at the Dzhelepov 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 18.12.2001
Формат 60 × 90/16. Офсетная печать. Уч.-изд. л. 0,65
Тираж 330. Заказ 53016. Цена 65 к.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований
Дубна Московской области