

P13-2001-218

Г.Л.Глonti, А.Л.Гонгадзе, М.И.Госткин, Д.В.Дедович,  
П.Г.Евтухович, А.С.Жемчугов, В.В.Журавлев,  
С.А.Котов, Г.Кроа\*, А.Манз\*, И.Н.Потрап, Р.Рихтер\*,  
Е.В.Рогалев, Н.А.Русакович, А.И.Руденко, Т.О.Руденко,  
Г.Д.Столетов, Д.В.Харченко, Э.Г.Цхададзе,  
В.Ф.Чепурнов, А.В.Чирков, Г.А.Шелков

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ЛИНИЯ СБОРКИ  
И ИСПЫТАНИЯ ДЕТЕКТОРОВ МЮОННОЙ  
СИСТЕМЫ УСТАНОВКИ ATLAS**

Направлено в журнал «Приборы и техника эксперимента»

---

\*Физический институт Макса Планка, Мюнхен, Германия

# 1 Введение

Крупнейшим международным проектом в области физики высоких энергий, реализуемым в настоящее время, является сооружение протон-протонного коллайдера LHC [1] в CERN (г. 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 создаётся универсальный детектор ATLAS [2].

Установка ATLAS включает в себя четыре крупные детектирующие подсистемы, из которых мюонная – внешняя и наиболее масштабная. Её наружный диаметр составляет 22 метра, а длина – 42 метра. Система собирается из 1200 мюонных камер общей площадью 5500 м<sup>2</sup>. Мюонная система предназначена для идентификации мюонов и измерения их импульса с высокой точностью (порядка 1%). Основными детекторами, обеспечивающими точное измерение трека мюона, являются МДТ-камеры [3]. Эти камеры собираются из отдельных дрейфовых трубок с повышенным давлением рабочего газа и снабжаются оптоэлектронной системой измерения деформаций (RASNIK) [4].

Впервые предложение о преимуществах использования дрейфовых трубок с повышенным давлением рабочего газа в качестве основного детектора мюонной системы установки ATLAS было выдвинуто и экспериментально подтверждено дубненской группой [5]. В результате проведенного научного тендера из трёх возможных вариантов, рассматриваемых коллаборацией, было выбрано предложение группы ОИЯИ.

Для сборки всех МДТ-камер мюонной системы необходимо собрать и тщательно проверить (замена отдельной трубки внутри мюонной камеры в ходе дальнейшей эксплуатации в течение не менее 7 лет будет невозможна) около 400000 отдельных дрейфовых трубок. В соответствии с распределением ответственности внутри коллаборации ATLAS группа ОИЯИ является крупнейшим производителем дрейфовых трубок. В период с 2000 по 2004 годы в ОИЯИ должно быть собрано и испытано около 65000 дрейфовых трубок и изготовлено 84 дрейфовых камеры. Для выполнения этой задачи в ЛЯП создана автоматизированная линия для сборки и испытания дрейфовых трубок и МДТ-камер. Начальная часть линии, предназначенная для сборки и проверки отдельных дрейфовых трубок, создавалась в тесной кооперации с группой Физического института Макса Планка (Мюнхен, Германия).

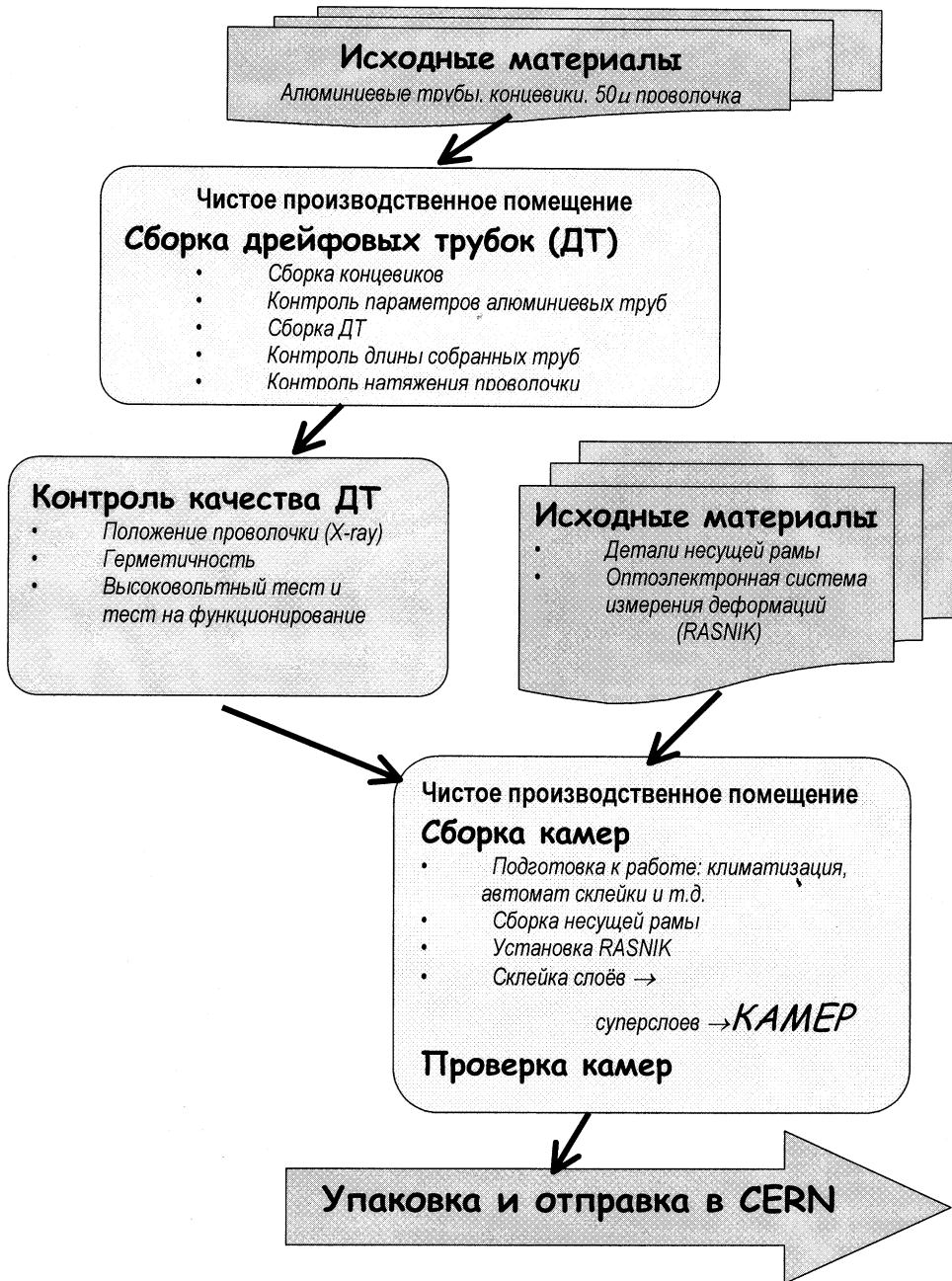


Рис. 1. Схема линии сборки мюонных камер

## 2 Структура линии сборки мюонных камер

Линия сборки МДТ-камер включает в себя (рис. 1):

- чистое производственное помещение с полуавтоматом для сборки дрейфовых трубок [6,7];
- развернутую систему контроля качества процесса сборки и проверки готовых детекторов [8 -11];
- высокоточный гранитный стол с набором прецизионных шаблонов [12,13] и специального оборудования для сборки мюонной камеры (включая оптоэлектронную систему измерения деформаций [4]);
- многокомпьютерную систему сбора информации со всех подсистем линии сборки и проверки детекторов, включая программу формирования базы данных [14].

## 3 Сборка дрейфовых трубок

Как уже указывалось ранее, основными детекторами (элементами), из которых собираются (склеиваются) МДТ-камеры, являются дрейфовые трубки (ДТ) с повышенным давлением рабочего газа. Дрейфовая трубка представляет собой алюминиевую трубу диаметром 30 мм и длиной до 6 метров, вдоль оси которой с высокой точностью (10 мкм) натянута 50 мкм позолоченная вольфрамовая нить (2,7% Re).

Конструкция ДТ приведена на рис. 2.



Рис. 2. Конструкция дрейфовой трубки

Объемы производства ДТ для мюонной системы ATLAS столь велики, что мюонная коллаборация сочла необходимым разработать специальный полуавтомат для сборки дрейфовых трубок, один из которых и функционирует на линии сборки мюонных камер в Дубне. Кроме того, для удовлетворения высоких требований к условиям производства ДТ (содержание пыли в воздухе, стабильность температуры, влажность) для размещения указанного полуавтомата специально было создано чистое производственное помещение (ЧПП).

### 3.1 Чистое производственное помещение

Чистое производственное помещение предназначено для обеспечения необходимых климатических условий и уровня чистоты воздуха в зоне работы полуавтомата для сборки дрейфовых трубок. Согласно требованиям предъявляемым к помещениям для сборки указанных детекторов мюонной системы ATLAS [2], ЧПП должно обеспечивать постоянство следующих параметров среды: температура ( $21 \pm 1$ ) °С, относительная влажность ( $45 \pm 10$ ) %, уровень чистоты воздуха, соответствующий классу 10000 по федеральному стандарту США 209В<sup>1</sup>.

Выполнение этих требований обеспечивается конструкцией ЧПП, возможностями используемых в ЧПП устройств для очистки воздуха и контроля климатических параметров, а также рядом дополнительных мер (вход персонала в ЧПП производится только через тамбур, для работы в ЧПП используется безворсовая спецодежда, пол перехода из тамбура в ЧПП имеет пылезакрывающее покрытие и т.д.).

Результаты долговременного контроля параметров воздуха внутри ЧПП (рис. 3,4) подтвердили правильность расчетных характеристик установленной аппаратуры в системе климатизации. Большой рабочий объем помещения (~190 м<sup>3</sup>) позволяет производить сборку детекторов длиной до 5 м, а мощная, гибкая и простая в обслуживании система управления климатом обеспечивает возможность долговременной многосменной работы при полном соблюдении спецификации.

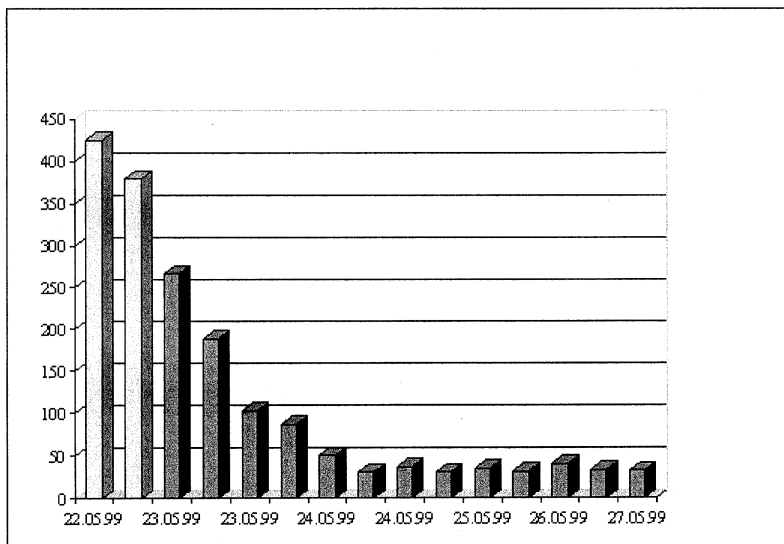


Рис. 3. Результаты контроля числа частиц пыли в 1 литре воздуха в ЧПП после включения системы очистки воздуха. Измерения, помеченные темным, удовлетворяют спецификации

<sup>1</sup> В одном литре воздуха не должно быть более 350 частиц пыли размером больше 0,5 мкм.

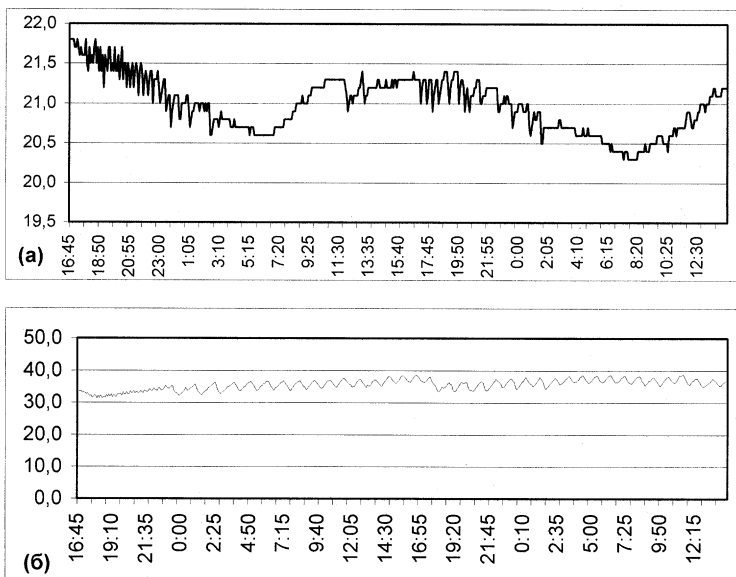


Рис. 4. Суточная стабильность температуры (а) и влажности (б) в ЧПП

### 3.2 Полуавтомат для сборки дрейфовых трубок

Сборка дрейфовых трубок в ОИЯИ производится с помощью специализированного полуавтомата, разработанного и изготовленного при ведущем участии специалистов CERN и NIKHEF (Амстердам). Полуавтомат (рис. 5) был смонтирован в чистом производственном помещении, отлажен и запущен в постоянную эксплуатацию для массового (свыше 100 детекторов в день) производства специалистами ОИЯИ.

Исходными материалами для сборки дрейфовых трубок являются:

- высокоточная алюминиевая труба с наружным диаметром ( $29,970 \pm 0,020$ ) мм и толщиной стенки ( $400 \pm 30$ ) мкм (производитель фирма Menziken, Швейцария);
- 50-мкм позолоченная проволока из вольфрам-ренийевого сплава (2,7% Re);
- концевые заглушки, с помощью которых происходит герметизация внутреннего объема ДТ, точное позиционирование сигнальной проволоочки и её изоляция от корпуса ДТ по высокому (до 4 кВ) напряжению.

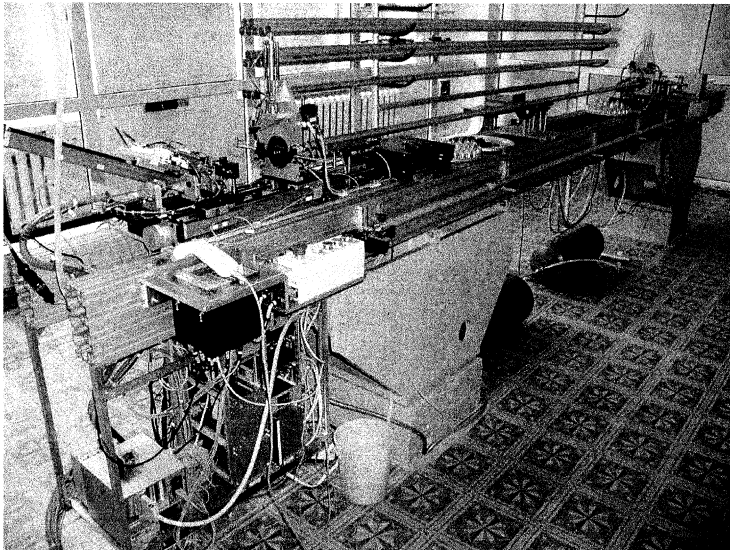


Рис. 5. Полуавтомат для сборки дрейфовых трубок

Процесс работы полуавтомата управляется и контролируется с персонального компьютера. Программное обеспечение осуществлено с помощью системы LabVIEW. Вся информация о процессе сборки, и данные разных измерений записываются в базу данных (ACCESS).

Сборка дрейфовых трубок на полуавтомате состоит из нескольких операций, которые подробно описаны в [7]. Минимальное время сборки одной трубки составляет 3,5 минуты. Необходимо отметить, что автомат может быть настроен на производство детекторов любой длины – от 500 до 5000 мм. Время перехода на производство детекторов другой длины не превышает 1 – 2 часов.

#### **4 Процедура проверки и контроля качества собранных дрейфовых трубок**

К качеству и надёжности работы мюонных камер эксперимента ATLAS предъявляются повышенные требования, что определяется, во-первых, спецификой их эксплуатации на глубине около 100 метров в шахте, где будет установлен детектор ATLAS и, во-вторых, невозможностью ремонта или замены отдельной трубки внутри мюонной камеры в ходе всей дальнейшей эксплуатации детектора (не менее 7 лет). Для обеспечения столь высокой надёжности в мюонной группе ATLAS была разработана и утверждена единая для всех линий сборки мюонных камер система тщательного контроля и проверки качества в ходе всего процесса производства камер [15]. Она предусматривает как контроль качества исходных материалов и

комплекующих, так и многоступенчатую процедуру проверок соответствия параметров собранной ДТ спецификации. Следует отметить, что на линии, созданной в ОИЯИ, помимо обязательных проверок, требуемых коллаборацией, проводится дополнительное тестирование производимых ДТ. Это было официально признано летом 2000 года в ходе проведения комиссией мюонной группы ATLAS проверки готовности дубненской линии по производству мюонных камер к началу массового производства и её соответствия спецификациям.

Для выполнения указанной процедуры проверки собранных дрейфовых трубок в ОИЯИ были разработаны и установлены следующие приборы и стенды:

- устройство для измерения натяжения сигнальной нити;
- стенд для измерения положения сигнальной нити методом рентгеновской томографии;
- стенд для проверки герметичности;
- стенд для комплексной проверки характеристик детектора в рабочих условиях.

#### **4.1 Устройство для измерения натяжения сигнальной нити**

Одним из ключевых параметров, без знания которого невозможно точное определение координат в дрейфовой трубке, является натяжение анодной проволоки. Натяжение определяет электростатическую устойчивость и поправки к положению проволочек, обусловленные их электростатическим отклонением и гравитационным провисом. Вследствие этого соответствие натяжения заданной величине и его неизменность со временем являются важным критерием качества изготовления высокоточных проволочных детекторов.

В группе ОИЯИ для использования на линии по производству мюонных камер был разработан и создан прибор для измерения натяжения проволоки в проволочных детекторах [11]. Принцип его работы состоит в возбуждении колебаний сигнальной проволоки импульсами тока в постоянном магнитном поле и определении основной частоты ее свободных колебаний путем фурье-анализа. Прибор позволяет измерять натяжение проволоки как в отдельных трубках, так и в собранных из них камерах. Точность прибора лучше 0,05 %, время измерения не более 5 секунд.

Уже более полутора лет описываемый прибор используется для проверки натяжения проволоки в дрейфовых трубках, производимых для мюонной системы детектора ATLAS в ОИЯИ, а также на аналогичных участках в Салониках (Греция) и Фрайбурге (Германия). На рис. 6 показаны результаты измерения натяжения проволоки в более чем 13500 дрейфовых трубках, сделанных в ОИЯИ (разброс по натяжению в 0,5 % обусловлен не погрешностями прибора, а точностью, с которой полуавтомат по сборке ДТ натягивает проволочку, и тем, что проволочка на разных катушках имеет слегка различающуюся линейную плотность).

Измерение натяжения проволоки в готовой ДТ производится сразу после завершения процесса её сборки непосредственно на полуавтомате по сборке ДТ и затем повторяется непосредственно перед сборкой мюонной камеры. Это позволяет не только оперативно контролировать качество и



стабильность натяжения проволоочки полуавтоматом для сборки, но и исключить случаи брака, вызванного недостаточным фиксированием сигнальной проволоочки в концевых заглушках. Вследствие этого трудно идентифицируемого дефекта натяжение сигнальной проволоочки медленно уменьшается со временем.

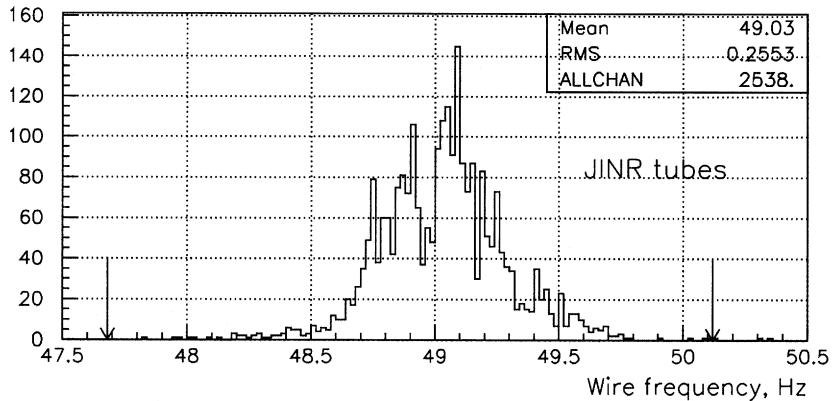
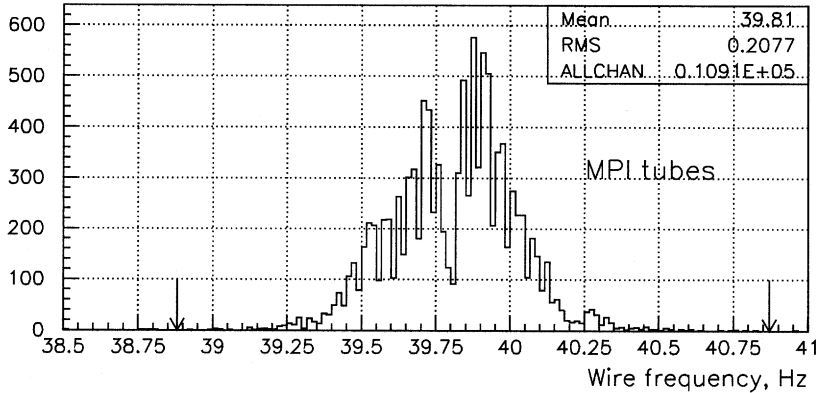


Рис. 6. Результаты измерения натяжения проволоочки в дрейфовых трубках, произведенных в Дубне

#### 4.2 Стенд для измерения положения сигнальной нити

В соответствии с требованиями к ДТ мюонной системы ATLAS допустимое максимальное отклонение положения сигнальной проволоочки на концах детектора относительно оси опорной поверхности концевика составляет 25 мкм. Столь высокие требования к точности сборки ДТ в сочетании с почти промышленным масштабом их производства требуют не

только разработки новой технологии массового производства прецизионных детекторов, но и создания специальной процедуры контроля их качества. Ключевым, с точки зрения обеспечения адекватного контроля механической точности детекторов, стало создание и включение в цикл массового производства специализированного стенда для определения положения сигнальной проволоочки в собранном детекторе с точностью в несколько микрон [8].

В данном стенде для определения положения сигнальной проволоочки в собранной ДТ используется «тенеграмма», получающаяся после прохождения через тело детектора потока рентгеновских лучей. Сигнальная проволоочка, изготовленная из вольфрам-рениевого сплава, интенсивно поглощает рентгеновские лучи и хорошо идентифицируется на тенеграмме, получаемой с помощью стандартной ПЗС-матрицы. На рис. 7 приведена фотография важнейшей части стенда – узла, где размещены две рентгеновские трубки, V-образный блок, в который встроены дополнительные (референсные) вольфрамовые проволоочки с известным местоположением, и регистрирующие ПЗС-матрицы. На рис. 8 представлены результаты измерения отклонения позиции проволоочки от центра трубки для набора из 650 трубок. Только одна трубка не соответствует критерию отбора, что говорит о высоком качестве как компонентов, используемых при сборке трубки, так и самой процедуры сборки.

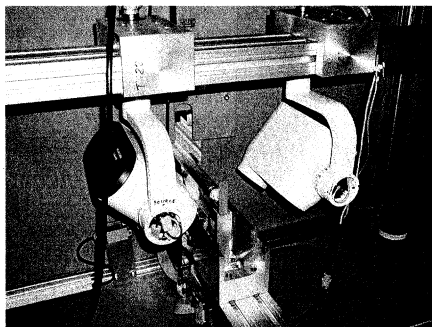


Рис. 7. Измерительный узел рентгеновского стенда

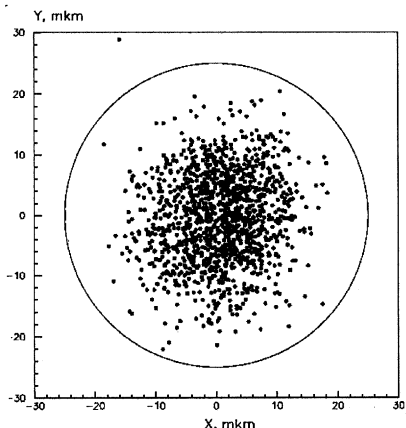


Рис. 8. Отклонение позиции проволоочки от центра трубки. Окружность – критерий выбраковки трубок ( $R = 25$  мкм)

#### 4.3 Стенд для проверки герметичности

Стенд проверки дрейфовых трубок на герметичность [9] специально разрабатывался в ОИЯИ совместно со специалистами из института INOE-2000 (Румыния) для линии сборки мюонных камер ATLAS. Согласно спецификации ATLAS величина течи каждой дрейфовой трубки в рабочих

условиях (количество газа, выходящего из трубки в единицу времени) не должна превышать  $10^{-8}$  бар-л/с. Таким образом, при создании стенда требовалось выполнить следующие условия:

- максимальная чувствительность порядка  $2 \cdot 10^{-9}$  бар-л/с при точности измерения около 20 %;
- пригодность для работы в условиях массового производства (скорость тестирования свыше 100 ДТ в день) при максимальной надежности и простоте обращения.

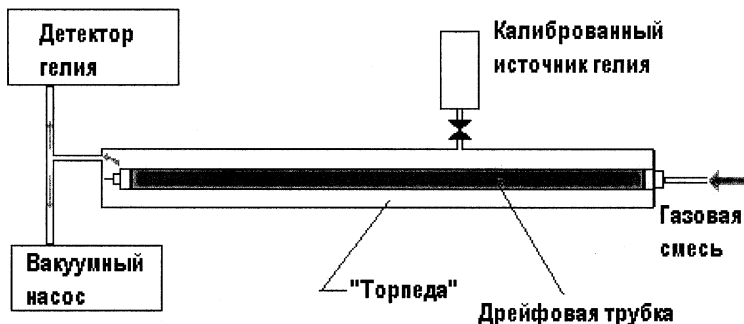


Рис. 9. Принципиальная схема проверки герметичности трубок

При разработке была принята схема определения уровня течи путём непосредственного измерения количества газа (гелия), вытекающего из трубки, с помощью высокочувствительного детектора данного газа. На рис. 9 приведена схема, иллюстрирующая принцип работы стенда. Для измерения величины течи дрейфовая трубка заполняется газовой смесью, содержащей гелий, и помещается в откачиваемый объем - «торпеду», соединенный с чувствительным детектором гелия (рис. 10). В системе устанавливается равновесная концентрация гелия, которая измеряется детектором. Эта концентрация пропорциональна величине течи. В качестве детектора гелия используется радиочастотный масс-спектрометр RGA-100 производства фирмы Stanford Research Systems.

Для обеспечения требуемой производительности (не менее 100 ДТ в день) в стенде используется 3 независимые «торпеды». На рис. 11 приведены результаты измерения уровня течи для 9 тысяч детекторов. Небольшой процент брака (0,9 %) свидетельствует о высоком качестве процедуры сборки ДТ.

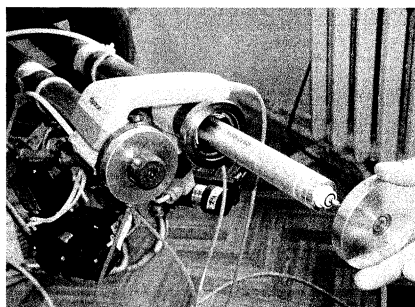


Рис. 10. Установка ДТ в “торпеду” для проверки на герметичность

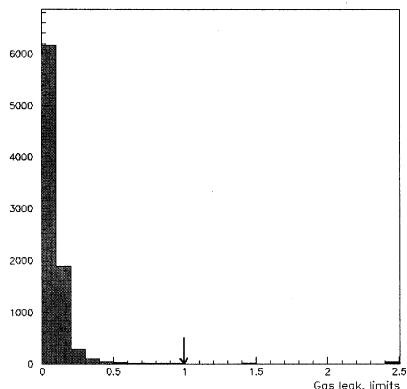


Рис. 11. Результаты испытаний ДТ на герметичность. Единица соответствует предельной течи  $10^{-8}$  бар·л/с

#### 4.4 Стенд для комплексной проверки характеристик детектора в рабочих условиях

Последней проверкой готовых детекторов, по результатам которой определяется окончательная возможность использования данного детектора для сборки мюонной камеры, является высоковольтное тестирование детектора в рабочих условиях [10]. В процессе теста исследуется зависимость величины темнового тока и скорости счёта фонового излучения детектором, заполненным рабочей газовой смесью, от величины высоковольтного напряжения (до 3,5 кВ), подаваемого на детектор.

Основные компоненты стенда для высоковольтного тестирования детектора (рис. 12):

- механическая конструкция (“стеллаж”) для размещения ДТ;
- система заполнения рабочим газом
- высоковольтный источник напряжения С.А.Е.Н.;
- электроника для обработки сигналов;
- управляющий ПК с программным обеспечением.



Рис. 12. Принципиальная схема стенда для высоковольтного тестирования дрейфовых трубок

Механическая конструкция, изображенная на рис. 13, позволяет размещать одновременно до 96 дрейфовых трубок длиной 3100 или 3800 мм. На ней установлены блоки с электроникой считывания и блоки для подвода высокого напряжения. Система заполнения предназначена для приготовления рабочей газовой смеси (93% Ar и 7% CO<sub>2</sub>), откачивания трубок и их заполнения до давления 3 атм.

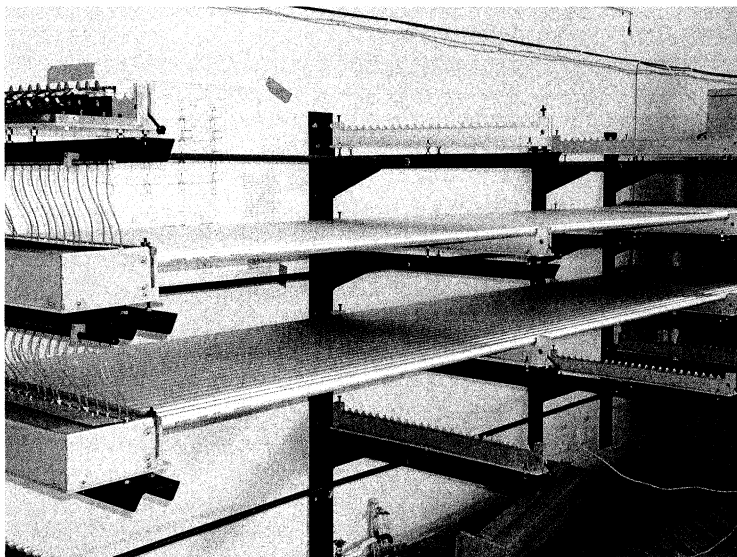


Рис. 13. Внешний вид стенда для высоковольтных испытаний ДТ

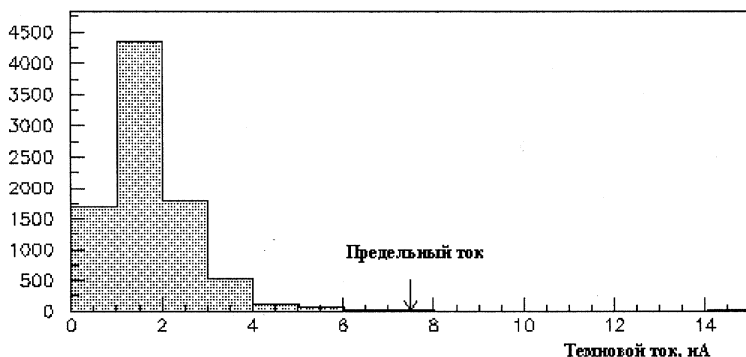


Рис. 14. Результаты измерения темнового тока в ДТ

При проведении тестирования дрейфовые трубки вручную укладываются на "стеллаж" и подключаются к источникам газа и высокого

напряжения. Дальнейшая часть теста проводится автоматически. Напряжение на трубках ступенями поднимается до 3500 В, при этом постоянно контролируются ток и скорость счета трубки. Если контролируемые параметры выходят за допустимые пределы, программа проводит “тренировку” ДТ, снижая и вновь поднимая напряжение. Большое число каналов установки позволяет проводить длительное (по 12 – 24 часа) тестирование всех произведенных ДТ, что весьма важно для проверки их функциональности.

На рис. 14 приведены результаты измерения темнового тока для 10 тысяч детекторов. Небольшой процент брака (0,5 %) вновь свидетельствует о высоком качестве процедуры сборки ДТ.

## **5 Сборка мюонных камер**

### **5.1 Конструкция мюонной камеры**

Мюонная камера (рис. 15) собирается из отдельных дрейфовых трубок и несущей рамы. Дрейфовые трубки склеиваются между собой в два “суперслоя”, каждый из которых, в свою очередь, склеивается из трёх слоев ДТ. Количество трубок в отдельном слое варьируется от 32 до 72, в зависимости от типоразмера камеры. Таким образом, количество ДТ в мюонной камере BMS/BMF типа, производство которых есть обязательство ОИЯИ, меняется от 192 до 432. С помощью специальных узлов крепления, установленных на несущей раме (так называемой кинематической подвески), мюонная камера транспортируется, складывается и устанавливается в рабочее положение в шахте эксперимента ATLAS.

Согласно спецификации основные геометрические параметры<sup>2</sup> камеры должны быть выдержаны с точностью 20 мкм. Очевидно, что обеспечить постоянство этих размеров для камеры размером в несколько квадратных метров, состоящей из алюминиевых деталей, невозможно, в первую очередь, из-за эффекта температурного расширения – алюминиевая деталь длиной 4 метра при изменении температуры на один градус изменяет свою длину на 100 микрон. Для решения этой проблемы каждая мюонная камера снабжается развёрнутой оптоэлектронной системой измерения деформаций (RASNIK), которая также устанавливается на несущей раме. После завершения склейки камеры, в положении, когда камера ещё находится на гарантированной плоской гранитной плите, в базу данных заносятся так называемые “нулевые” показания RASNIK, что позволит контролировать деформации камеры во время работы детектора. Описанный метод контроля (мониторинга) механических деформаций мюонной камеры столь важен, что нашел свое отражение даже в названии мюонной камеры ATLAS – мониторируемая камера на основе дрейфовых трубок (МДТ-камера).

---

<sup>2</sup> Этими параметрами являются: шаг по горизонтали и вертикали между сигнальными проволочками отдельных ДТ; расстояние между первой в слое ДТ и точной маркой специальной платформы, приклеиваемой на внутренней поверхности первого слоя для дальнейшего взаимного позиционирования камер в мюонной системе ATLAS; расстояние между суперслоями.

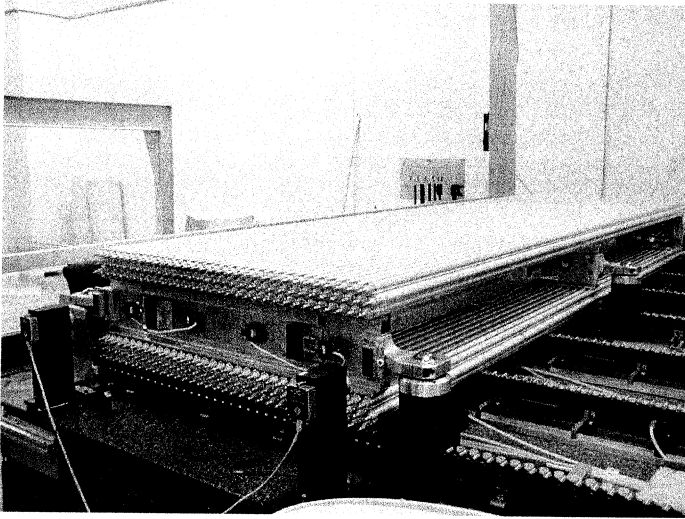


Рис. 15. Собранная МДТ-камера

## 5.2 Оборудование для сборки мюонной камеры

Для проведения сборки МДТ-камер для мюонной системы детектора ATLAS в ЛЯП ОИЯИ:

1. Создано изолированное помещение объёмом свыше  $350 \text{ м}^3$  с системой контроля температуры и влажности и необходимой инфраструктурой (подъёмное устройство, вакуумная система, компьютерная связь).
2. Установлена высокоточная (плоскостность не хуже  $7 \text{ мкм}$  по всей поверхности) гранитная плита размером  $3250 \times 2600 \times 500 \text{ мм}$ .
3. Изготовлена, собрана и измерена с точностью  $2 \text{ мкм}$  система из семи опорных линий для укладки ДТ [12,13]. Система снабжена системой вакуумных присосок для фиксирования до 75 дрейфовых трубок в процессе склейки индивидуального слоя мюонной камеры.
4. Разработана, изготовлена и промерена с точностью  $2 \text{ мкм}$  система из шести опорных башен регулируемой высоты, необходимая для склейки отдельных слоёв ДТ в суперслои [16].
5. Разработана и изготовлена система компенсации гравитационного провиса камеры в процессе склейки, состоящая из восьми пневмоцилиндров и датчиков механического напряжения и управляемая от ПЭВМ [17].
6. Изготовлена оптоэлектронная система измерения (с точностью порядка  $5 \text{ мкм}$ ) деформаций мюонной камер в процессе склейки [4].
7. Разработано и изготовлено устройство для автоматического нанесения эпоксидного клея в процессе склейки камеры [18].

### 5.3 Процедура сборки и проверки мюонной камеры

Детально процедура сборки камеры изложена в работе [15]. Поэтому приведем лишь последовательность основных шагов:

1. Проверка и юстировка (если необходимо) взаимного расположения системы опорных линий и системы опорных башен на гранитной плите.
2. Сборка и склейка несущей рамы.
3. Установка и калибровка оптоэлектронных систем контроля процесса сборки камеры, включая систему измерения деформаций камеры.
4. Склейка первого слоя ДТ на опорных линиях.
5. Приклеивание точных платформ для внешней (осевой и проективной) юстировки камер в шахте ATLAS.
6. Точная установка несущей рамы на опорных башнях и склейка её с первым слоем ДТ.
7. Повтор шагов 4 и 6 для приклеивания оставшихся пяти слоев ДТ.
8. Запись показаний оптоэлектронной системы измерения деформаций мюонной камеры в базу данных ("нулевое" показание).
9. Перенос собранной камеры в место временного хранения.
10. Оснащение камеры системой подвода рабочего газа.
11. Проверка камеры на герметичность.
12. Оснащение камеры системой разводки высоковольтного питания и электроникой считывания.
13. Комплексная проверка функциональности готовой камеры на частицах космических лучей.
14. Упаковка камеры и отправка на склад.

## 6 Система сбора информации и формирования базы данных

Детально описание структуры, процесса формирования базы данных, обработки и хранения информации приведено в работе [14]. Поэтому вновь ограничимся изложением только основных принципов.

### 6.1 Локальная компьютерная сеть для линии сборки мюонных камер

Из предыдущего должно быть ясно, что чёткая работа участка в целом может быть достигнута при использовании современной системы сбора, учёта, проверки и хранения данных, возникающих на разных этапах процесса. Уместно указать, что для обслуживания всего описанного выше процесса сборки на линии по производству мюонных камер используется семь персональных компьютеров. Для обеспечения бесперебойного и не зависящего от состояния внешней сети обмена данными между указанными компьютерами в помещениях для сборки и проверки ДТ и МДТ-камер была создана локальная компьютерная сеть с локальным сервером. Сервер используется как центральная машина для сбора и хранения всех накапливаемых на других компьютерах данных.



## 6.2 Программное обеспечение процесса формирования базы данных

Мюонная группа коллаборации ATLAS решила использовать стандартный пакет программ Microsoft Access в качестве глобальной базы данных (БД) для хранения информации по производству и тестированию ДТ и МДТ-камер. Это означает, что все институты – участники мюонной группы должны придерживаться формата Microsoft Access для своих локальных баз данных. Что касается способа занесения информации в локальную базу данных ОИЯИ, то на описываемой линии применяются все методы: чисто ручной, полуавтоматический и полностью автоматический. Вручную в БД заносится только информация о компонентах ДТ и МДТ-камер, такая, как: серийный номер партии, количество и производитель компонентов, параметры партии (например, линейная плотность проволочки на данной катушке). Часть информации вводится полуавтоматически – например, введение индивидуального номера трубки путем считывания её штрих-кода с помощью ручного штрих-код сканера. Основной объём информации о ходе и результатах тестов вводится автоматически программным путём.

## 6.3 Общая схема сбора и хранения данных

Как следует из вышеизложенного, производственный цикл сборки мюонной камеры состоит из двух параллельных и сдвинутых по времени процессов: 1 - сборка и тестирование дрейфовых трубок ; 2 - склеивание из этих трубок МДТ-камер и последующее их тестирование. С учётом этой специфики были сформулированы принципы организации базы данных:

- данные, относящиеся к сборке и тестированию дрейфовых трубок, и данные, относящиеся к склеиванию и тестированию МДТ-камер, хранятся в разных БД;
- результаты отдельных тестов заносятся в БД в процессе тестирования (сборки) автоматически;
- каждому тесту в БД соответствует отдельная таблица, в которую заносится вся необходимая информация: как сами результаты тестирования, так и параметры тестового стенда при данном тестировании;
- основная масса программ для работы с базой данных пишется на языке LabVIEW, поскольку он совмещает удобный графический интерфейс и развитую поддержку SQL;
- периодически (как правило, раз в месяц) с помощью специальной программы из информации по сборке и тестированию ДТ и МДТ-камер собираются сводные таблицы основных данных, которые затем пересылаются в INFN (Рим), где формируется Глобальная база данных мюонной системы ATLAS.

Общая схема сбора и хранения данных приведена на рис. 16.

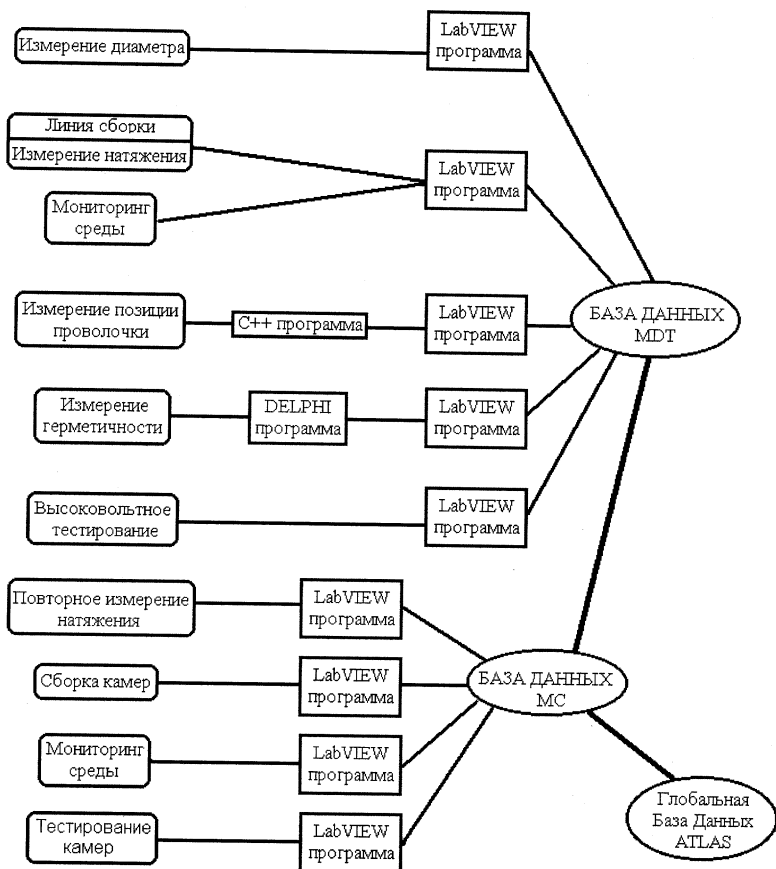


Рис. 16. Схема организации сбора и хранения данных на линии по производству мюонных камер ATLAS в ОИЯИ

## 7 Заключение

В течение 1995 – 2000 гг. в ЛЯП ОИЯИ создана современная линия по сборке высокоточных дрейфовых камер для мюонной системы установки ATLAS, удовлетворяющая всем предъявляемым требованиям. Сооружение линии происходило «с нуля» в помещении, где ранее располагались базовые ЭВМ вычислительного комплекса ОИЯИ. Было разработано и создано:

- чистое производственное помещение с полуавтоматом для сборки дрейфовых трубок;
- развернутая система контроля сборки детекторов и проверки их качества (комплекс тестовых стендов);

- производственное помещение для сборки МДТ-камер с установленной в нем системой климатизации;
- высокоточный гранитный стол с набором прецизионных шаблонов и специального оборудования для сборки МДТ-камер (включая оптоэлектронную систему измерения деформаций);
- многокомпьютерная система, включающая в себя локальную компьютерную сеть и систему сбора информации и формирования базы данных.

Линия успешно работает с весны 2000 года. Темп производства и испытания детекторов стабилен и превышает первоначально запланированный. За первые 18 месяцев произведено и испытано свыше 15000 дрейфовых трубок (на рис. 17 приведен график производства ДТ только за 2001 год). Начата сборка мюонных камер. Собрано и проверено на рентгеновском томографе в CERN уже две камеры. Выход на режим массового производства камер с темпом сборки – одна камера за 12 дней должен быть осуществлён в 2001 – 2002 гг.

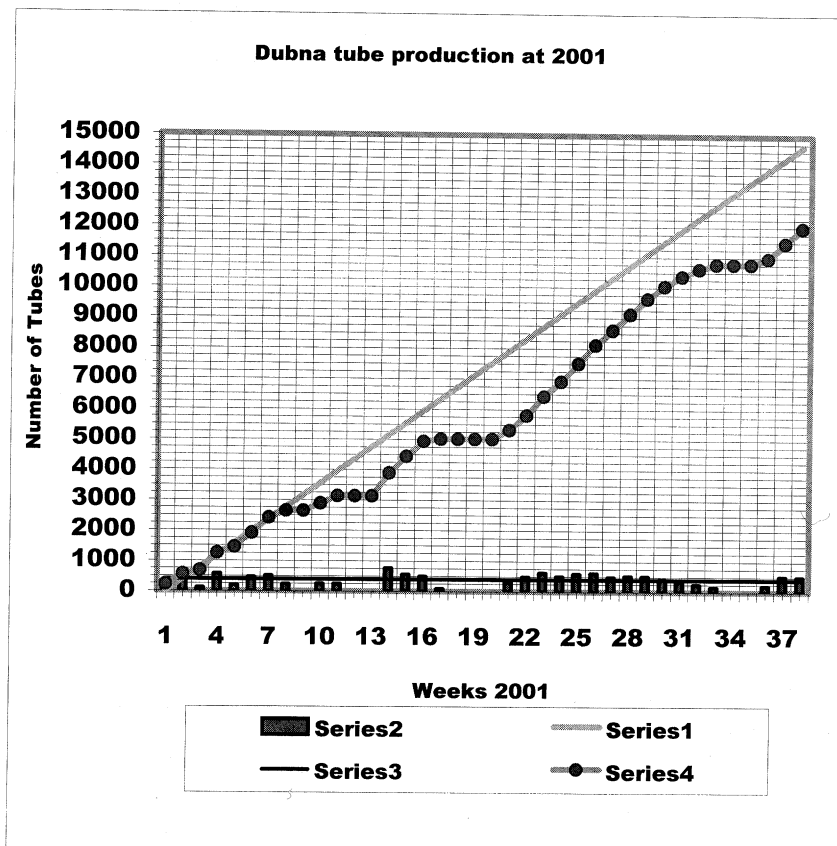


Рис. 17. Темпы производства и испытания ДТ на линии сборки в Дубне

## Список литературы

- [1] *LHC Conceptual Design Report*, CERN/AC/95-05.
- [2] *ATLAS Collaboration, Technical Proposal for a General Purpose pp Experiment at Large Hadron Collider at CERN*, CERN/LHCC/94-43, LHCC/P2, 1994.
- [3] *ATLAS Muon Spectrometer Technical Design Report*, p. 117: CERN/LHCC 97-22, 1997.
- [4] H. van der Graaf *et al.*, *RasNiK, an Alignment System for the ATLAS MDT Barrel Muon Chambers Technical System Description*: Amsterdam, February 2000.
- [5] Алексеев Г.Д. и др. *Изучение дрейфовых трубок повышенного давления в качестве точного детектора для мюонных систем*: Краткие сообщения ОИЯИ №5 [56] – 92 с. 45-50.
- [6] Глonti Г.Л. и др. *Чистое производственное помещение для сборки дрейфовых трубок*: Сообщение ОИЯИ, P13-2001-179.
- [7] Глonti Г.Л., и др. *Краткое описание производства дрейфовых трубок для МДТ-камер эксперимента ATLAS*: Сообщение ОИЯИ, P13-2001-211.
- [8] Госткин М.И. и др. *Измерение позиции сигнальной проволочки в дрейфовых трубках мюонной системы установки ATLAS с помощью рентгеновского излучения*: Сообщение ОИЯИ, P13-2001-197.
- [9] Брайк В.Т. и др. *Высококочувствительный стенд контроля герметичности дрейфовых трубок*: Сообщение ОИЯИ, P13-2001-200.
- [10] Госткин М.И. и др. *Стенд для высоковольтного тестирования дрейфовых трубок мюонной системы установки ATLAS*: Сообщение ОИЯИ, P13-2001-212.
- [11] Дедович Д.В. и др. *Прибор для измерения натяжения сигнальной проволочки в дрейфовых трубках*: Сообщение ОИЯИ, P13-2001-201.
- [12] Глonti Г.Л. и др. *Опорные линии для сборки МДТ-камер эксперимента ATLAS*: Сообщение ОИЯИ, P13-2001-219.
- [13] Глonti Г.Л. и др. *Методика юстировки опорных линии для сборки МДТ-камер эксперимента ATLAS*: Сообщение ОИЯИ, P13-2001-220.
- [14] Госткин М.И. и др. *Сбор и хранение данных в процессе производства и тестирования дрейфовых трубок и МДТ-камер эксперимента ATLAS на производственном участке ЛЯП ОИЯИ*: Сообщение ОИЯИ, P13-2001-210.
- [15] H. Kroha *Quality Assurance and Control Reference Document for ATLAS MDT Chamber Construction*, CERN/ATL-MUON-2000-008.
- [16] V.Comanescu *et al.* *High precision towers for support of an optoelectronic detector*: 6th Symposium on Optoelectronics SIOEL-99, 22-24 Sep 1999, Bucharest, Romania. Proceeding of SPIE. Volume 4068, p.172-177.
- [17] V.Comanescu *et al.* *Method for calculus of the sag of frame of an optoelectronic detector*: 6th Symposium on Optoelectronics SIOEL-99, 22-24 Sep 1999, Bucharest, Romania. Proceeding of SPIE. Volume 4068, p. 676-683.
- [18] V.Comanescu *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. Volume 4068, p. 669-675.

Рукопись поступила в издательский отдел  
19 октября 2001 года.

Глonti Г.Л. и др.

P13-2001-218

Автоматизированная линия сборки и испытания детекторов  
мюонной системы установки ATLAS

В 1995 – 2000 гг. в ЛЯП ОИЯИ создана современная линия по сборке высокоточных дрейфовых камер для мюонной системы установки ATLAS. Было сооружено чистое производственное помещение с полуавтоматом для сборки дрейфовых трубок; разработан и установлен комплекс тестовых стендов для проверки качества готовых детекторов. В другом рабочем помещении с системой контроля климата был установлен высокоточный гранитный стол с набором прецизионных шаблонов и специального оборудования для сборки мюонных камер.

Линия успешно работает с весны 2000 г. Темп производства и испытания детекторов стабилен и превышает запланированный первоначально. За первые 18 месяцев произведено и испытано свыше 15000 дрейфовых трубок, а также начата сборка мюонных камер. Выход на режим массового производства камер будет осуществлен в 2001 – 2002 гг.

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

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2001

Перевод авторов

Glonti G.L. et al.

P13-2001-218

Semiautomatic Line for Assembling and Testing Detectors  
for the Muon System of the ATLAS Experiment

During the period of 1995 – 2000 in JINR LNP a semiautomatic line for assembling high precision drift chambers for the muon system of the ATLAS experiment. A clean production room was constructed where a semiautomatic wiring machine for drift tube assembly was installed. A set of testing stations for quality control of the produced detectors was designed and constructed. In another clean production room with climatization system a high precision granite table was installed, on which a set of precise tools and special equipment for muon chamber assembly was positioned.

The production line has been operating successfully since spring of 2000. The rate of detector production and testing is stable and exceeds initially planned. For the first 18 months more than 15000 of drift tubes were produced and tested, and assembly of the muon chambers was commenced. The series production of muon chambers will be started in 2001 – 2002.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2001

Редактор М.И.Зарубина. Макет Н.А.Киселевой

Подписано в печать 07.12.2001  
Формат 60 × 90/16. Офсетная печать. Уч.-изд. л. 1,6  
Тираж 360. Заказ 52996. Цена 1 р. 60 к.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований  
Дубна Московской области