

P13-2001-211

Г.Л.Глonti, А.Л.Гонгадзе, М.И.Госткин, П.Г.Евтухович,  
В.В.Журавлев, Ч.Капочиа<sup>1</sup>, Г.В.Карпенко, С.А.Котов,  
Г.Кроа<sup>2</sup>, А.Манз<sup>2</sup>, И.Н.Потрап, Р.Рихтер<sup>2</sup>,  
Н.А.Русакович, Г.Д.Столетов, Д.В.Харченко,  
Э.Г.Цхададзе, В.Ф.Чепурнов, С.Чериони<sup>1</sup>, А.В.Чирков,  
Г.А.Шелков

**КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА  
ДРЕЙФОВЫХ ТРУБОК ДЛЯ МДТ-КАМЕР  
ЭКСПЕРИМЕНТА ATLAS**

---

<sup>1</sup>Национальный институт ядерных исследований, Фраскати, Италия

<sup>2</sup>Институт физики Макса Планка, Мюнхен, Германия

## 1. ВВЕДЕНИЕ

К процессу производства дрейфовых трубок для МДТ-камер эксперимента ATLAS [1] предъявляются высокие требования. Весь цикл работ должен проводиться в чистом производственном помещении (ЧПП) с классом чистоты 10000 по федеральному стандарту США 209В (т.е. запыленность воздуха в ЧПП не должна превышать 350 частиц пыли размером 0,5 мкм и более в 1 л воздуха). Кроме этого, внутри ЧПП должна обеспечиваться стабильность температуры на уровне 21<sup>0</sup>С с точностью  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  круглосуточно [2]. Для обеспечения этих производственных параметров в ЛЯП ОИЯИ была создана ЧПП со специальной системой климатизации и очистки воздуха [3]. Размещенные внутри ЧПП датчики температуры и влажности не только мониторируют заранее определенные климатические параметры, но также включены в систему автоматического регулирования систем обогрева, кондиционирования и циркуляции внутреннего воздуха ЧПП.

На рис.1 приведена фотография внутреннего интерьера ЧПП с размещенной внутри линией для сборки дрейфовых трубок (на заднем плане). На переднем плане видна линия G-50 для измерения диаметра алюминиевой трубы.

На рис.2 показана схема расположения различного оборудования в ЧПП и компрессорной комнате.

Внизу приведены описания сборочной линии и подсистем, обеспечивающих производство дрейфовых трубок согласно требованиям условий контроля качества [2].

## 2. ОПИСАНИЕ СБОРОЧНОЙ ЛИНИИ

Основной установкой для производства дрейфовых трубок является полуавтоматическая сборочная робот-линия (рис.3).

В ЧПП для установки сборочной линии при постройке были предусмотрены и заложены бетонные фундаменты (**Ф**), не соединенные с общим фундаментом здания во избежание передачи вибрации на линию. На этих фундаментах на специально заготовленных анкерных болтах закреплены массивные ножки (**А** и **В**) с множествами прорезов для протаскивания через них кабельных и трубопроводных линий (рис.3). Ножки с верхней стороны имеют систему для крепления и юстировки несущих профилей сборочной линии.

Все элементы сборочной линии закреплены на двух несущих шестиметровых профилях, которые в свою очередь жестко зафиксированы на массивных ножках. К профилям прикреплены передвигаемые платформы, на которых собраны основные узлы для сборки детектора. На стороне **А** закреплена катушка с проволокой, блок с реверсным мотором для разматывания проволочки с катушки. На стороне **В** расположена система для натягивания проволочки, электронный блок GOYA для управления шаговыми моторами, блоки электропитания и управления связи с компьютером. На обеих сторонах расположены секции с 16 электроклапанами для управления подачи сжатого воздуха в пневматические приводы (производство фирмы FESTO, Италия). Этими приводами осуществляется проведение основных операций для сборки детектора.

На головках **А** и **В** установлены блоки для обжата алюминиевых трубок над пазами в концевых заглушках, т.н. головки высокого давления. Специальными парами

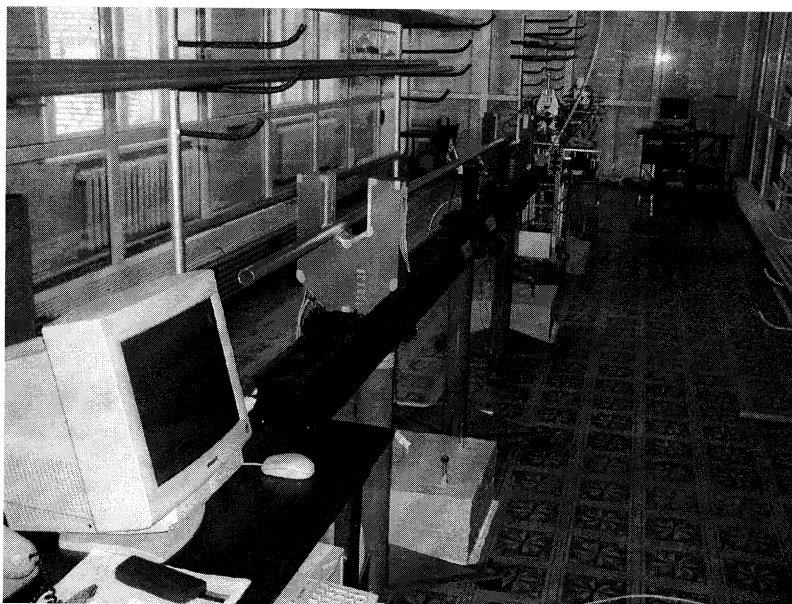


Рис.1. Фотография внутреннего интерьера ЧПП. На переднем плане – измеритель диаметра трубы G-50. В глубине комнаты видна сборочная линия. На стеллажах над линиями уложены голые алюминиевые трубы, подготовленные для сборки детектора

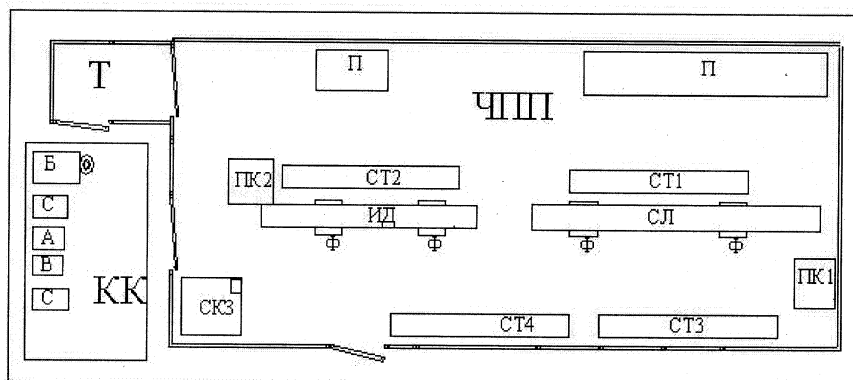


Рис. 2. Схема расположения различного оборудования в чистом производственном помещении (ЧПП) и компрессорной комнате (КК). На схеме использованы следующие обозначения: СЛ – сборочная линия дрейфовых трубок, ИД – линия для измерения диаметра алюминиевых трубок, Ф – бетонные фундаменты, ПК1 и ПК2 – компьютеры, СТ1–СТ4 – стеллажи для укладки трубок, П – места для хранения комплектующих материалов, Т – тамбур для переодевания, Б – компрессор BAUER, С – компрессоры SECCATO, А – компрессор AIRMASTER, В - вакуумный насос М4

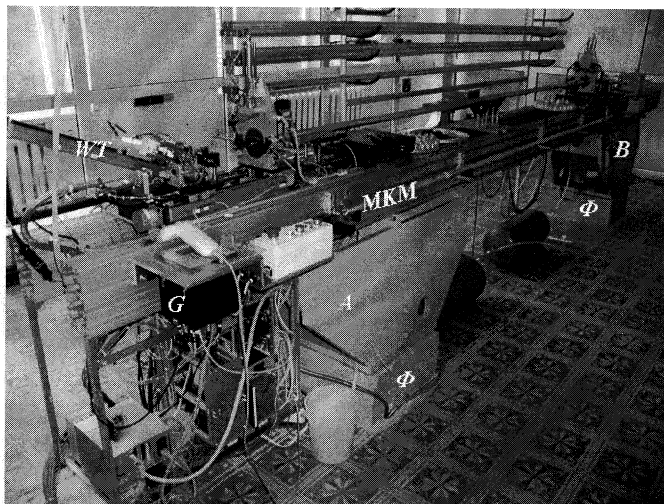


Рис.3. Линия сборки дрейфовых трубок. Ф – бетонные фундаменты, А и В – массивные опорные ножки, G – блок управления шаговыми моторами GOYA, WT – устройство для натягивания проволоки во время сборки детектора, МКМ – микрометрическая головка для измерения общей длины собранного детектора.

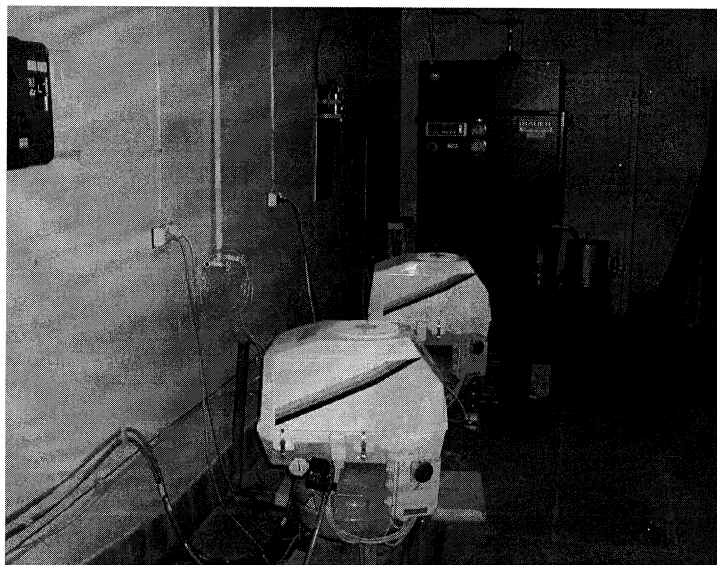


Рис.4. Компрессорная комната. На переднем плане – 2 компрессора SECCATO на 5–7 атм, на заднем плане – компрессор высокого давления BAUER.

электроклапанов происходит впуск и выпуск сжатого воздуха в зонах вдавливания концов труб. Боковыми резиновыми кольцами внутри головок обеспечивается надежная изоляция этих зон от утечки воздуха.

Сборочная линия обеспечивает нужное натяжение сигнальной проволоки (~350 г) в процессе сборки детектора. Имеется дополнительная система для определения натяжения проволоки уже после сборки [4]. Она смонтирована на линии и соединена с компьютером. Так как длина детектора должна укладываться в определенные допуски ( $\pm 100$  мкм), на сборочной линии закреплен цифровой микрометр (МКМ) и длина каждого собранного детектора измеряется с точностью 10 мкм.

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

На разных этапах производства сборочная линия использует как вакуум, так и сжатый воздух с разной степенью сжатия – 5–7, 8 и 180 атм. Вакуум для линии сборки дрейфовых трубок обеспечивается безмасляным мембранным насосом типа ME-4 (Германия). Насос с линией соединен гибким шлангом диаметрами 12/18 мм, армированным металлической арматурой. Между насосом и линией размещен демпферный объем – 20 л.

Сжатый воздух для протягивания проволоки сквозь алюминиевую трубу и концевую заглушку подается мембранным компрессором низкого давления (SECCATO, Италия). Компрессор выдает давление в области 5–7 атм. Его включение-выключение осуществляется автоматически с помощью встроенного датчика давления.

Для получения 180 атм давления используется компрессор фирмы BAUER (Германия). Сжатый воздух накапливается в промежуточном объеме (баллон с емкостью 60 л) и при помощи трубопровода из нержавеющей стали подается на сборочную линию. Для работы пневматических приводов необходимо давление ~8 атм. С баллона BAUER – компрессора ответвляется канал, и с помощью газовых редукторов давление со 180 атм. сбрасывается до 8 атм. Это давление уже с помощью гибких газопроводов доводится до сборочной линии.

Все линии низкого и высокого давления имеют систему предохранительных клапанов; размещение насоса, компрессоров и проводка газопроводов соответствуют правилам технической безопасности. На рис.4 показан общий вид компрессорной комнаты. Подводящие вакуумные и газовые каналы вводятся внутрь ЧПП через отверстия в фальшполе. Сброс воздуха в атмосферу со 180 атм канала происходит через пластиковые газопроводы вне помещения над потолком.

### 3. ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕДУРЫ ПЕРЕД СБОРКОЙ ДЕТЕКТОРА

Перед началом непосредственной сборки детектора на линии проводятся некоторые подготовительные работы. Они включают в себя следующие операции: подготовка алюминиевых труб, сборка концевых заглушек, проверка проволоки.

**Подготовка алюминиевых трубок.** Полученные с завода-изготовителя (г. Мензикен, Швейцария) алюминиевые трубы имеют высокие показатели качества: толщина стенок ( $400 \pm 30$ ) мкм, наружный диаметр ( $29970 \pm 15$ ) мкм. Перед внесением голых трубок внутри ЧПП они продуваются сжатым безмасляным воздухом (~7 атм) для

очистки внутренней поверхности труб от пыли. После этого они укладываются на стеллажи. До их применения в сборке детекторов должно пройти 3–4 часа, в течение которых обеспечивается выравнивание температуры стенок трубы до 21°C.

Предварительный контроль качества труб включает в себя как визуальный осмотр поверхности и краев, так и выборочные измерения толщины стенок и диаметра труб на 10 см расстоянии от обоих краев. Для этих измерений используется высокоточная линия G-40 (рис. 1), разработанная и созданная совместно с учеными из Института оптоэлектроники (Бухарест, Румыния) [5].

**Подготовка и сборка концевых заглушек.** Концевые заглушки в дрейфовых трубах служат для фиксации сигнальной проволоки в центре алюминиевой трубы. Кроме этого, через них производится вход/выход рабочего газа во внутренний объем детектора из отверстия центральной латунной оси.

Для обеспечения надежной высоковольтной изоляции все отдельные комплектующие детали, полученные с заводов-производителей, промываются в ультразвуковой ванне в течение 15 минут с использованием 2%-го водного раствора жидкого моющего средства R30. После промывания детали сушатся с помощью сжатого безмасляного воздуха (рис.5а). Далее происходит инсталляция в корпусе концевика «твистера» - спиральной латунной детали для фиксации проволоки строго в центре относительно базовой поверхности концевика (рис.5б). Для закрепления во время сборки детектора натянутой проволоки на кончиках центральной оси концевика используются медные трубочки. На рис.5в приведена фотография устройства для фиксации медной трубочки в концевике. Собранный концевик прополаскивается в чистом этиловом спирте и высушивается опять сжатым воздухом. На рис.5г показана фотография собранных концевиков с герметизирующими резинками и пружинками для обеспечения надежного земляного контакта алюминиевой части заглушки со стенками алюминиевой трубки.

Каждый собранный концевик проверяется на возможность инсталляции в трубу. Работы с промытыми концевиками ведутся в безворсовых перчатках.

**Проволочка.** Перед заправкой проволоки (позолоченный вольфрам, Ø50 мкм) в сборочную линию она проверяется визуально и под микроскопом. Визуально проволочка проверяется следующим образом: отматывается кусок проволочки с катушки (~50 см), и если она висит прямо, без завихрений, то проволочка пригодна к применению. Во время работы на проволочке не должны появляться изгибы или узлы. Рекомендуется просматривать отдельные куски проволочки под микроскопом на наличие отслоения золотого покрытия. В случае обнаружения дефектов проволочка непригодна к применению.

#### 4. СБОРКА ДРЕЙФОВОЙ ТРУБЫ

Сборка ДТ делится на несколько стадий (см. таблицу).

Голая труба укладывается на поддерживающие столики. Труба упирается в выдвинутый стоппер, который определяет точное положение трубы относительно головок **A** и **B**. После введения штрих-код-номера трубы в компьютер с помощью считывающего устройства (стадия 1) включаются вакуумные присоски и труба уже жестко фиксируется на поддерживающих столиках. Начинается разматывание катушки, проволочка с помощью сжатого воздуха протаскивается сквозь трубу. На головке **A** в специальном держателе устанавливается концевик. С помощью направленной струи сжатого воздуха проволочка легко проходит «твистер» и медную

трубочку. Датчик фиксирует успешное завершение этого этапа, и подача сжатого воздуха прекращается. Кончик проволоочки захватывается пальцами натягивающего устройства (стадии 2,3).

Теперь сжатый воздух подается в обратном направлении, проволоочка обрезается кусачками. Устанавливается концевик у другого конца трубы (сторона **B**). Система сжатый воздух–вакуум протаскивает проволоочку уже через этот концевик, который впоследствии устанавливается в алюминиевую трубу в нужном положении (стадии 4-7).

Пока проволоочка свободно висит в трубе. На стороне **B** пневматические приводы подводят к медной трубочке мини-плоскогубцы, и происходит вдавливание капилляра. Таким образом, на этой стороне проволоочка уже закреплена в концевик. Теперь на стороне **A** включается шаговый мотор и натягивающее устройство вытягивает проволоочку сперва с усилием 450 г (на 20 секунд, т.н. «перетяжка»), а потом отпускает и оставляет на уровне 350 г. При достижении этого усилия обжимается медный капилляр и натянутая проволоочка уже полностью фиксируется в трубе. Оператор обрезает оставшиеся кончики проволоочки у медных капилляров (стадии 7,8).

Стадии сборки дрейфовой трубки на сборочной линии. Звездочкой отмечены те операции, которые проводятся оператором частично вручную

Стадии сборки	Операции	Время (сек)
1	- Загрузка следующей алюминиевой трубки.* - Считывание штрих-кода	10–15
2	- Протягивание проволоочки через трубку. - Установка концевика (сторона <b>A</b> ).* - Подготовка стороны <b>A</b> к протягиванию	35–40
3	- Протягивание проволоочки через концевик (сторона <b>A</b> ). - Захват проволоочки на стороне <b>A</b>	10–15
4	- Подготовка стороны <b>B</b> к протягиванию	10
5	- Отрезание проволоочки от катушки. - Установка концевика (сторона <b>B</b> )*	15
6	- Протягивание проволоочки через концевик (сторона <b>B</b> )	15
7	- Установка концевиков внутрь трубки. - Кримпирование проволоочки на стороне <b>B</b>	15–20
8	- Натягивание проволоочки в трубке. - Кримпирование концевиков в трубке высоким давлением 180 атм. - Кримпирование проволоочки на стороне <b>A</b>	40–50
9	- Подготовка к загрузке следующей трубки. - Измерение натяжения проволоочки*	25–30
10	- Измерение длины трубки*	15–20

Труба освобождается от вакуумных присосок. Далее проводятся первые контрольные измерения собранного детектора. В первую очередь происходит измерение натяжения проволоочки методом возбуждения механических колебаний токовыми импульсами в магнитном поле (стадия 9). Измеряется собственная частота колебаний проволоочки, и определяется натяжение проволоочки [4].

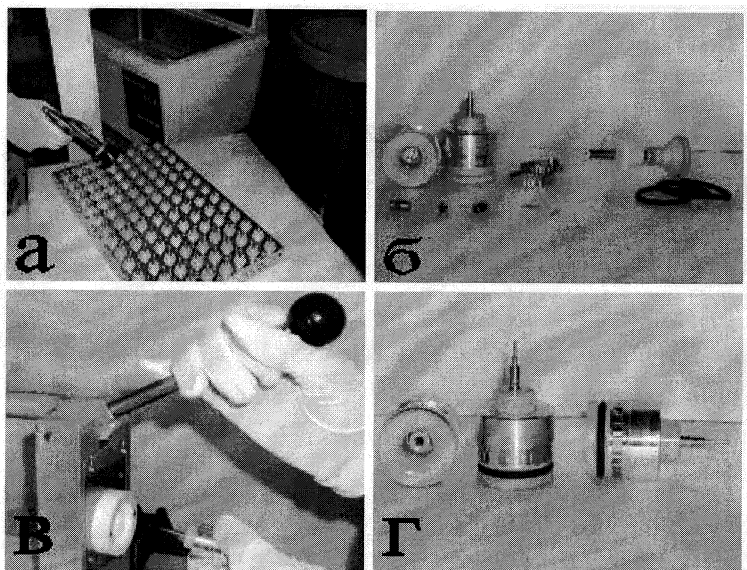


Рис.5. а – сушка промытых заглушек после мытья в ультразвуковой ванне, б – комплектующие детали для сборки концевой заглушки и приспособление для установки «твистера», в – установка медной трубочки, г – собранная концевая заглушка с герметизирующей резинкой и пружиной заземления

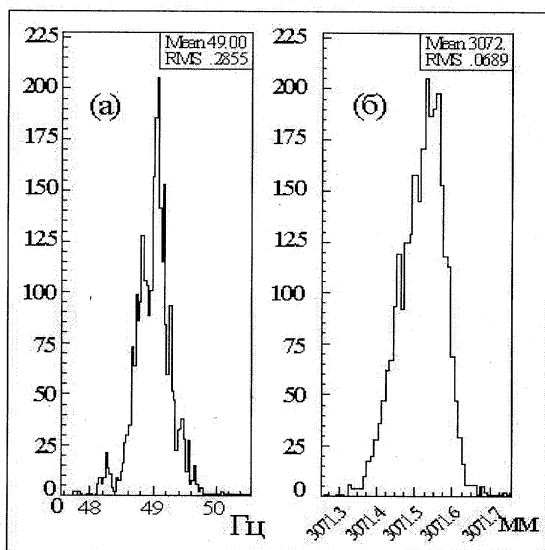


Рис.6. Гистограммы распределений натяжения проволоочки (а) и длины детектора (б)



На несущем профиле сборочной линии закреплено устройство для измерения длины собранной дрейфовой трубы. Микрометрическая головка (рис.3, МКМ) сперва приводится в нулевое положение с помощью шаблонной трубы, длина которой заранее определена специальными метрологическими приборами. Далее на месте шаблона устанавливается измеряемая труба и ее длина уже определяется относительно длины шаблона (стадия 10). Таким образом исключаются систематические ошибки, связанные с возможными колебаниями температуры воздуха внутри ЧПП.

На рис. 6 приведены гистограммы распределений измеренных частот собственных колебаний провололочек (а) и длин собранных детекторов (б). Как видно из диаграмм, сборочная линия дает довольно стабильные величины указанных параметров.

Надо отметить, что на сборочной линии платформы на стороне В имеют возможность передвижения вдоль несущих профилей. Таким образом, есть возможность для изготовления детекторов разных длин – от 500 до 5000 мм. Часть BMS-камер должны включить в себя несколько единиц более коротких труб для обеспечения прохождения лазерных лучей для юстировки камер в экспериментальной установке ATLAS. Кроме этого, на линии собираются детекторы и для BOS-камер, которые на ~700мм длиннее, чем BMS-детекторы. Переход на новую длину проводится силами обслуживающего персонала в течение 1–2 часов.

Авторы благодарят сотрудников инженерной группы ЦЕРН и муонной группы ATLAS из NIKHEF (Амстердам, Голландия) за создание сборочной линии, сотрудников муонной группы ATLAS из MPI (Мюнхен, Германия) за помощь в приобретении оборудования для систем вакуума и высокого давления.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Atlas Muon Spectrometer Technical Design Report. CERN/LHCC/97-22.  
<http://atlasinfo.cern.ch/Atlas/GROUPS/MUON/TDR/Web/TDR.html>
2. H.Kroha. Quality Assurance and Control Reference Document for ATLAS MDT Chamber Construction. ATL-MUON-2000-008.
3. Глонти Г.Л. и др. Чистое производственное помещение для сборки дрейфовых трубок. Сообщение ОИЯИ P13-2001-179, Дубна, 2001.
4. Дедович Д.В. и др. Прибор для измерения натяжения сигнальной проволоочки в дрейфовых трубках. Сообщение ОИЯИ P13-2001-201, Дубна, 2001.
5. Ванча Д. и др. Стенд для прецизионного измерения геометрических параметров алюминиевых трубок. Сообщение ОИЯИ P13-2001-202, Дубна, 2001.

---

Рукопись поступила в издательский отдел  
5 октября 2001 года.

Глonti Г.Л. и др.

P13-2001-211

Краткое описание производства дрейфовых трубок  
для МДТ-камер эксперимента ATLAS

Приводится описание процесса производства детекторов на основе тонкостенных алюминиевых трубок. Созданная полуавтоматическая линия для сборки дрейфовых трубок вместе с другими подсистемами полностью обеспечивает требуемые параметры произведенных детекторов. Линия имеет возможность изготавливать трубки разной длины — от 500 до 5000 мм, с точностью 100 мкм. Среднее время изготовления одного детектора не превышает четырех минут. Натяжение сигнальной проволоки контролируется в процессе производства, а также проверяется после его завершения и обеспечивается с точностью 1 %.

Произведенные дрейфовые трубки в дальнейшем используются для склеивания МДТ-камер мюонной системы ATLAS.

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

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2001

Перевод авторов

Glonti G.L. et al.

P13-2001-211

Short Description of the Drift Tube Production  
for MDT Chambers of ATLAS Experiment

The description of process of manufacturing detectors based on the thin-wall aluminium tubes is resulted. The created semi-automatic line for drift tubes assembly together with other subsystems completely provides required parameters of the made detectors. The line has an opportunity to make the tubes of different length — from 500 up to 5000 microns. The average time for manufacturing one detector does not exceed four minutes. Signal wire tension is supervised during manufacture and also is checked additionally after tube assembling. It is provided with 1 % accuracy.

The produced drift tubes are used further for gluing of MDT chambers of muon system of ATLAS experiment.

The investigation has been performed at the Dzhelapov 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 13.11.2001  
Формат 60 × 90/16. Офсетная печать. Уч.-изд. л. 0,7  
Тираж 335. Заказ 52949. Цена 70 к.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований  
Дубна Московской области