

Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный научный центр Российской Федерации – Институт физики высоких энергий»
(ФГБУ ГНЦ ИФВЭ)

№ госрегистрации 01201256124.

Инв.№ 2/6029

УТВЕРЖДАЮ

Директор ФГБУ ГНЦ ИФВЭ

д-р физ.-мат. наук, проф.



Н.Е. Тюрин

15 ноября 2012 г.

ОТЧЕТ

о научно-исследовательской работе

по теме:

Разработка аппаратуры для исследований фундаментальных взаимодействий при повышенной светимости протон-протонных столкновений в международном проекте АТЛАС.

Промежуточный, этап 2.

Моделирование и макетирование образцов, разработка технологий.

Государственный контракт от 14.03.2012 № 11.519.11.6029 с дополнительным соглашением № 1 от 17 мая 2012 г.

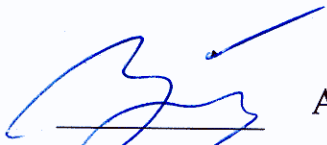
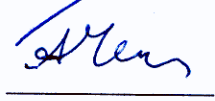

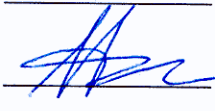
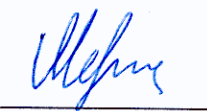
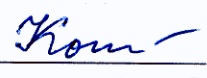
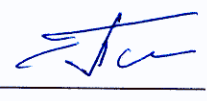
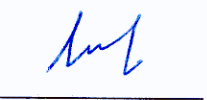



Руководитель работы,
Зам. директора института,
д-р физ.-мат. наук, профессор

А.М.Зайцев

подпись, дата

Протвино, 2012

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Зам. директора института, д-р физ.- мат. наук, профессор	 <hr style="width: 100%;"/>	А.М. Зайцев	(весь отчёт)
Начальник сектора, д-р физ.-мат. наук, профессор	 <hr style="width: 100%;"/>	А.П.Чеплаков	(1, 7)
Руководитель группы кандидат физ.-мат. наук, ст. научн. сотрудник	 <hr style="width: 100%;"/>	А.С.Романюк	(2)
Ст. научн. сотрудник Начальник лаборатории, кандидат физ.-мат. наук, ст. научн. сотрудник	 <hr style="width: 100%;"/>	А.Л. Масленников	(3, 10)
Ст. научн. сотрудник, кандидат физ.-мат. наук, ст. научн. сотрудник	 <hr style="width: 100%;"/>	О.Л.Федин	(4)
Ст. научн. сотрудник, кандидат физ.-мат. наук, ст. научн. сотрудник	 <hr style="width: 100%;"/>	А.С.Кожин	(5, 9)
Ведущий инженер	 <hr style="width: 100%;"/>	А.А.Снесарев	(6)
Вед. научн. сотрудник кандидат физ.-мат. наук, ст. научн. сотрудник	 <hr style="width: 100%;"/>	А.В.Козелов	(8)
Мл. научн. сотрудник	 <hr style="width: 100%;"/>	Е.В.Черёмушкина	(5)
Мл. научн. сотрудник	 <hr style="width: 100%;"/>	И.С.Плотников	(5)
Научный сотрудник	 <hr style="width: 100%;"/>	А.В.Ивашин	(5)

РЕФЕРАТ

Отчет 95 стр., 49 рис., 3 таблицы, 25 источников, 4 приложения.

ФИЗИКА ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ, БОЛЬШОЙ АДРОННЫЙ КОЛЛАЙДЕР, УСТАНОВКА АТЛАС, ЖИДКОАРГОНОВЫЙ КАЛОРИМЕТР, АДРОННЫЙ КАЛОРИМЕТР, ДЕТЕКТОР ПЕРЕХОДНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ, РАДИАЦИОННАЯ СТОЙКОСТЬ МАТЕРИАЛОВ, ГАЗОВЫЕ ДЕТЕКТОРЫ, ПИКсельНЫЕ ДЕТЕКТОРЫ, ДРЕЙФОВЫЕ ТРУБКИ, ТРИГГЕР ВЫСОКОГО УРОВНЯ, СЕТЬ ГРИД

Объектом научно-исследовательской работы являются детекторы установки АТЛАС на Большом адронном коллайдере (БАК) в ЦЕРНе и программное обеспечение для сбора и обработки данных с этой установки.

Цель работы – модернизация детекторов и программного обеспечения установки АТЛАС для обеспечения её эффективной работы в условиях планируемой повышенной светимости протон – протонных столкновений на ускорителе БАК.

Работы выполняются совместно с зарубежными институтами, участниками сотрудничества АТЛАС.

Представлен анализ данных по зависимости характеристик систем установки АТЛАС от светимости БАК.

Представлены результаты испытаний и описание процедуры моделирования микроканальных детекторов.

Представлены результаты моделирования отклика жидкоаргоновых калориметров при различных светимостях и величинах напряжения на электродах.

Приведены данные измерений параметров сигнала с дрейфовой трубки в стримерном режиме и результаты моделирование отклика электроники детектора TRT.

Описана технология изготовления детекторов для «малых колес».

Изготовлены тестовые образцы из перспективных материалов для высоковольтных (HV) тестов.

Изготовлен стенд для проведения тестовых радиационных исследований.

Разработана электроника для регистрации сигналов с макетов жидкоаргоновых калориметров.

Разработана конструкция детектирующих элементов трековых детекторов для комплектации новых «малых колес» мюонного спектрометра АТЛАС.

Разработана версия программного обеспечения AGIS.

СОДЕРЖАНИЕ

	Определения, обозначения и сокращения	7
	Введение	8
	Основная часть	10
1	Анализ данных по зависимости характеристик систем установки АТЛАС от светимости коллайдера БАК.....	10
1.1	Моделирование изменения характеристик жидко-аргонового калориметра АТЛАС в результате радиационных повреждений.....	14
2	Проведение тестовых испытаний прототипов микроканальных детекторов, подготовка программы моделирования параметров газовых микроканальных детекторов.....	18
2.1	Создание алгоритмов для считывающей электроники газовых микроканальных детекторов.....	18
2.2	Оптимизация формата данных с платы считывающей электроники, разрабатываемой для микроканальных газовых детекторов, и ее тестирование.....	29
2.3	Разработка алгоритмов для моделирования работы детекторов и визуализации данных.....	
3	Моделирование отклика жидкоаргоновых калориметров при различных светимостях и величинах напряжения на электродах.....	49
4	Измерение параметров сигнала с дрейфовой трубки в стриммерном режиме и моделирование отклика электроники детектора TRT.....	52
4.1	Измерения.....	52
4.2	Моделирование отклика электроники TRT	60
5	Разработка технологии изготовления детекторов для «малых колес».....	62
6	Изготовление тестовых образцов из перспективных материалов для высоковольтных (HV) тестов.....	65
7	Создание стенда для проведения тестовых радиационных исследований.....	66

8	Разработка электроники для регистрации сигналов с макетов жидкоаргоновых калориметров (выполнено иностранным партнёром).....	67
9	Разработка конструкции детектирующих элементов трековых детекторов для комплектации новых «малых колес» мюонного спектрометра АТЛАС (выполнено иностранным партнёром)...	70
10	Разработка программного обеспечения AGIS (выполнено иностранным партнёром).....	74
10.1	Проектирование и разработка пользовательского интерфейса для контроля и управления данными информационной системы.....	74
10.2	Выбор и разработка механизмов аутентификации (контроля доступа) пользователей необходимых для редактирования и обновления данных информационной системы.....	76
10.3	Разработка службы сервиса для эффективного управления ресурсами на основе информации о доступности или простое данного вычислительного узла системы распределенных вычислений АТЛАС (календарь простоев).....	77
	Заключение	79
	Список использованных источников	80
	Приложение А.....	82
	Приложение Б.....	109
	Приложение В.....	111
	Приложение Г.....	113

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

БАК (LHC)	Большой адронный коллайдер. Ускоритель встречных пучков протонов Европейской организации ядерных исследований (ЦЕРН).
ЦЕРН (CERN)	Европейская организация ядерных исследований в Женеве, Швейцария.
Светимость	Параметр ускорителя, характеризующий количество первичных взаимодействий частиц из встречных пучков, в единицу времени.
АТЛАС (ATLAS)	Универсальная установка для проведения исследований на БАК.
Калориметр	Прибор для измерения энергии частиц.
Триггер	Процедура для выделения из потока информации, регистрируемой детекторами, событий с заданными характеристиками для последующей записи и анализа.
Флюэнс	Полное число нейтронов, прошедших через площадку в 1 см ² в 1 сек.
AGIS	(ATLAS Grid Information System), Информационная система для сетевых вычислений АТЛАС

ВВЕДЕНИЕ

Целью работы является модернизация детекторов и программного обеспечения установки АТЛАС[1,2] на ускорителе встречных пучков БАК в Европейской организации ядерных исследований (ЦЕРН) в Женеве для работы в условиях повышенной до 10^{35} см⁻²с⁻¹ светимости протон - протонных столкновений.

Работы выполняются в сотрудничестве с зарубежными институтами, участвующими в экспериментах на установке АТЛАС.

ФГБУ ГНЦ ИФВЭ участвует в работах по модернизации установки АТЛАС в соответствии со следующими документами:

- Протокол об участии в реализации программы проведения экспериментов на большом адронном коллайдере (БАК) к соглашению 1993 года между Правительством Российской Федерации и Европейской организацией ядерных исследований, подписанный 19 декабря 2003 г.
- Письмо F.Gianotti и M.Nordberg (руководство АТЛАС) С.В.Иванцу (заместителю министра образования и науки РФ) от 26 января 2012 г. о тематике и финансировании совместных работ Российских и зарубежных институтов по модернизации АТЛАС;

Основными задачами контракта являются:

- Создание инновационных технологий для детекторов элементарных частиц. Разрабатываемые детекторы обеспечат прецизионное измерение координат частиц, калориметрию, восстановление вектора движения частицы в реальном времени в условиях высокой светимости и больших потоков данных.
- Проработка способов модернизации существующих детекторов и программного обеспечения установки АТЛАС с целью обеспечения её

эффективной работоспособности в условиях повышенной загрузки частицами.

- Стимулирование развития международных интеграционных процессов в науке и содействие формированию устойчивых кооперационных связей российских и иностранных научно-исследовательских организаций и университетов, направленных на создание технологий, соответствующих мировому уровню, либо превосходящих его.
- Привлечение молодых ученых и специалистов к исследованиям, направленным на проведение проблемно-ориентированных поисковых исследований и созданию научно-технического задела в кооперации с научно-исследовательскими организациями-участниками проектов ЦЕРН.

Основными задачами второго этапа являются:

- Анализ данных по зависимости характеристик систем установки АТЛАС от светимости коллайдера БАК.
- Проведение тестовых испытаний прототипов микроканальных детекторов, подготовка программы моделирования параметров газовых микроканальных детекторов.
- Моделирование отклика жидкоаргоновых калориметров при различных светимостях и величинах напряжения на электродах.
- Измерение параметров сигнала с дрейфовой трубки в стриммерном режиме и моделирование отклика электроники детектора TRT.
- Разработка технологии изготовления детекторов для «малых колес».
- Изготовление тестовых образцов из перспективных материалов для высоковольтных (HV) тестов.
- Создание стенда для проведения тестовых радиационных исследований.

Кроме того, иностранный партнер выполнил следующие работы:

- Разработка электроники для регистрации сигналов с макетов жидкоаргоновых калориметров.
- Разработка конструкции детектирующих элементов трековых детекторов для комплектации новых «малых колес» мюонного спектрометра АТЛАС.
- Разработка версии программного обеспечения AGIS.

Более детально общий план модернизации установки АТЛАС [1] для работы при повышенной светимости и энергии БАК представлен в работах [2-4] и во введении к отчету по первому этапу контракта.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1 Анализ данных по зависимости характеристик систем установки АТЛАС от светимости БАК

Во введении к отчету за первый этап работы отмечалась важность правильного выбора материалов, которые могут быть использованы для разработки и создания детекторов и электроники к ним для установки АТЛАС. Многолетние исследования в области ядерной физики убедительно продемонстрировали неотвратимость изменений свойств материалов при воздействии на них радиации.

При планировании исследований задачей является выбор таких материалов и технологий, которые бы как можно дольше и в заданных пределах сохраняли бы характеристики и эффективность работы приборов. Первоначально требовалось, чтобы детекторы АТЛАС, в частности, жидкоаргоновые калориметры, работали в течение 10 лет при расчетной светимости около 10^{34} см⁻²сек⁻¹ [1]. Выполнение этого условия потребовало длительных исследований радиационных свойств, как используемых материалов, так и изготовленных из них детекторов и электроники. Поскольку БАК длительное время не работал, и пока не достиг номинальных уровней светимости и

энергии сталкивающихся пучков, накопленная к настоящему времени радиационная доза и ее влияние на функционирование детекторов и электроники установки АТЛАС выглядят, по сравнению с планировавшимися, - несущественными.

Стабильная работа БАК сейчас происходит при полной энергии в системе центра масс пучков сталкивающихся протонов 8 ТэВ и светимости $7 \times 10^{33} \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$. По планам ЦЕРН БАК будет работать при номинальных, т.е. предполагавшихся изначально значениях полной энергии в системе центра масс сталкивающихся протонов 14 ТэВ и светимости $10^{34} \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$ с 2014 по 2017 годы включительно, после чего светимость будет увеличена в 2-3 раза при той же энергии сталкивающихся пучков. Из этого следует, что в течение ближайших лет радиационные нагрузки на системы установки АТЛАС не достигнут тех величин, при которых могут произойти изменения их параметров из-за радиационного воздействия. При стабильной работе ускорительного комплекса до 2018 года общая радиационная нагрузка на системы установки АТЛАС составит лишь шестую часть величины, предусмотренной в проекте. Поэтому не ожидается каких-либо изменений характеристик детекторов, обусловленных воздействием радиации, что подтверждает анализ накапливаемой детектором АТЛАС соответствующей информации.

Приведенный ниже рисунок 1 демонстрирует разрешение по X-координате, восстановленной с помощью внутреннего трекера вершины взаимодействия протонов при энергии в системе центра масс 7 ТэВ в зависимости от числа образовавших вершину треков заряженных частиц [2].

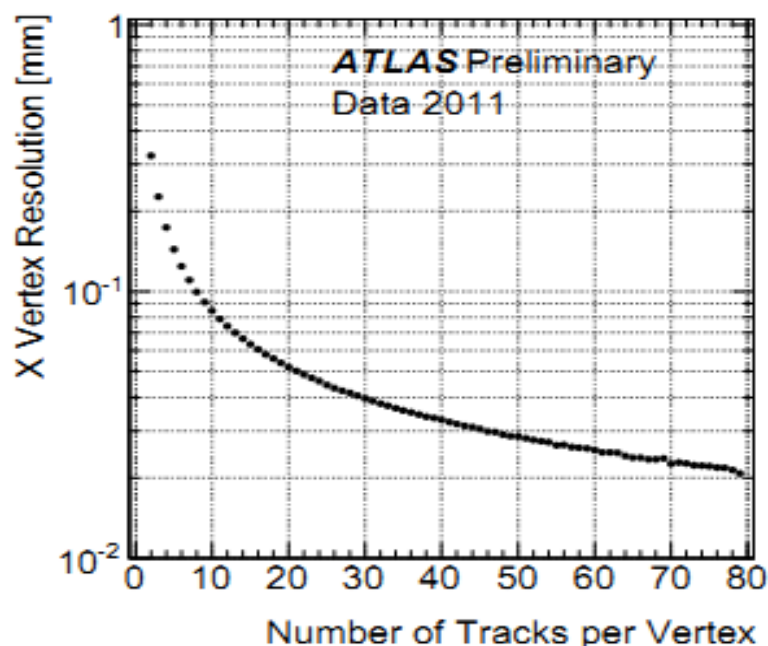


Рисунок 1 - Точность восстановления X-координаты вершины во внутреннем детекторе при разном числе участвующих треков после года работы БАК [5].

Количество треков определяется конкретным физическим состоянием, образовавшимся в результате столкновения протонов. Для целей данного отчета важно отметить, что после года работы внутреннего детектора АТЛАС, который в наибольшей (среди прочих систем установки) степени подвержен радиационному воздействию, измеренные в эксперименте величины разрешения находятся в диапазоне от 20 до 50 микрон и не отличаются от значений, предусмотренных при разработке установки АТЛАС [6].

На следующем рисунке 2 представлено распределение по эффективной массе двух электронов от распада промежуточного Z-бозона, зарегистрированных торцевым электромагнитным калориметром [6].

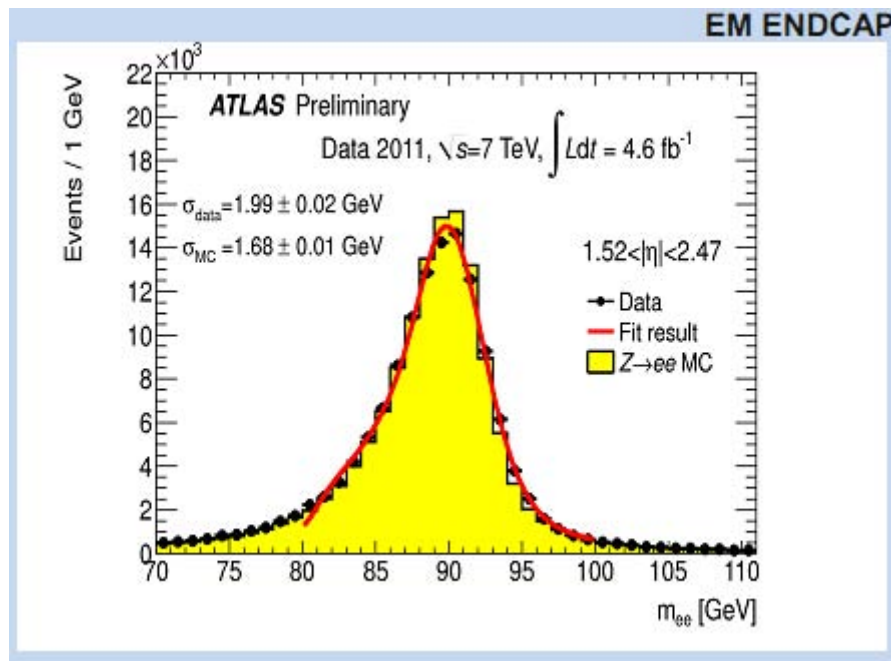


Рисунок 2 - Распределение по эффективной массе двух электронов от распада Z-бозона, зарегистрированных торцевым электромагнитным калориметром после 2 лет работы БАК.

Точками показаны экспериментальные данные, накопленные в 2011 году после 2 лет работы БАК и установки АТЛАС, гистограмма демонстрирует расчеты методом Монте-Карло. В расчеты НЕ вводились какие-либо поправки, учитывающие радиационное воздействие на детектор. Рисунок демонстрирует хорошее совпадение экспериментального и Монте-Карло распределений и соответствие положения их максимумов с табличным значением массы Z-бозона.

Приведенные в настоящем отчете экспериментальные данные, полученные через один год работы БАК (внутренний трекер) и через два года его работы (электромагнитный калориметр), не обнаружили какой-либо зависимости характеристик детектора ни от увеличивающейся по мере функционирования БАК светимости, ни от накапливаемого уровня радиационного воздействия.

Таким образом, анализ экспериментальных данных, полученных на установке АТЛАС за все время работы БАК, убедительно демонстрирует стабильность характеристик систем установки и отсутствие каких-либо

заметных изменений. Однако величина радиационной нагрузки на детекторы ещё очень далека от того значения, которое рассматривалось при их разработке. Поэтому изучение свойств детекторов и мониторингирование их параметров следует продолжать и в дальнейшем.

1.2 Моделирование изменения характеристик жидко-аргонового калориметра АТЛАС в результате радиационных повреждений

Для оценки изменений характеристик калориметров установки АТЛАС после 10 лет их работы на БАК с увеличенной в 5 раз по сравнению с номинальной светимостью была применена стратегия, использованная на ранних этапах планирования эксперимента. Сейчас эти расчеты опираются на известные распределения вещества, входящего в состав различных систем детектора АТЛАС. Помимо этого, используются результаты проведенных на реакторе ИБР-2 [7] исследований деградации характеристик предусилителей сигналов жидко-аргонового адронного калориметра (НЕС).

Часть электроники считывания сигналов с электродов адронного калориметра, которая обеспечивает предварительное их усиление и суммирование, расположена внутри криостата на внешней поверхности адронного калориметра [8]. В наших расчетах влияния радиационного воздействия на изменение характеристик калориметра были использованы оценки потоков нейтронов в зоне расположения электроники калориметра. Адронный калориметр представляет собой цилиндрическую структуру размерами как по радиусу в перпендикулярном к пучкам направлении, так и по протяженности вдоль сталкивающихся пучков - около 2-х метров. Конструктивно и по организации считывания информации калориметр в продольном направлении вдоль пучков разделен на 4 слоя. По мере удаления в поперечном направлении от зоны пересечения пучков радиационная нагрузка ослабевает.

В таблице 1 приведены расчетные значения суммарных потоков – флюэнсов нейтронов для каждого из упомянутых слоев в зоне расположения электроники после 10 лет работы БАК при светимости $5 \times 10^{34} \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$.

Таблица 1. Расчетные значения нейтронных флюэнсов для четырех зон расположения электроники НЕС после 10 лет работы БАК при высокой светимости $5 \times 10^{34} \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$.

Номер слоя калориметра	0	1	2	3
Суммарный поток нейтронов $\times 10^{15} \text{ н/см}^2$	1,637	1,356	1,273	0,1885

Следующий рисунок 3 демонстрирует измеренную зависимость коэффициента усиления предусилителей от радиационной нагрузки (флюэнса нейтронов) на элементы электроники усилителей [8].

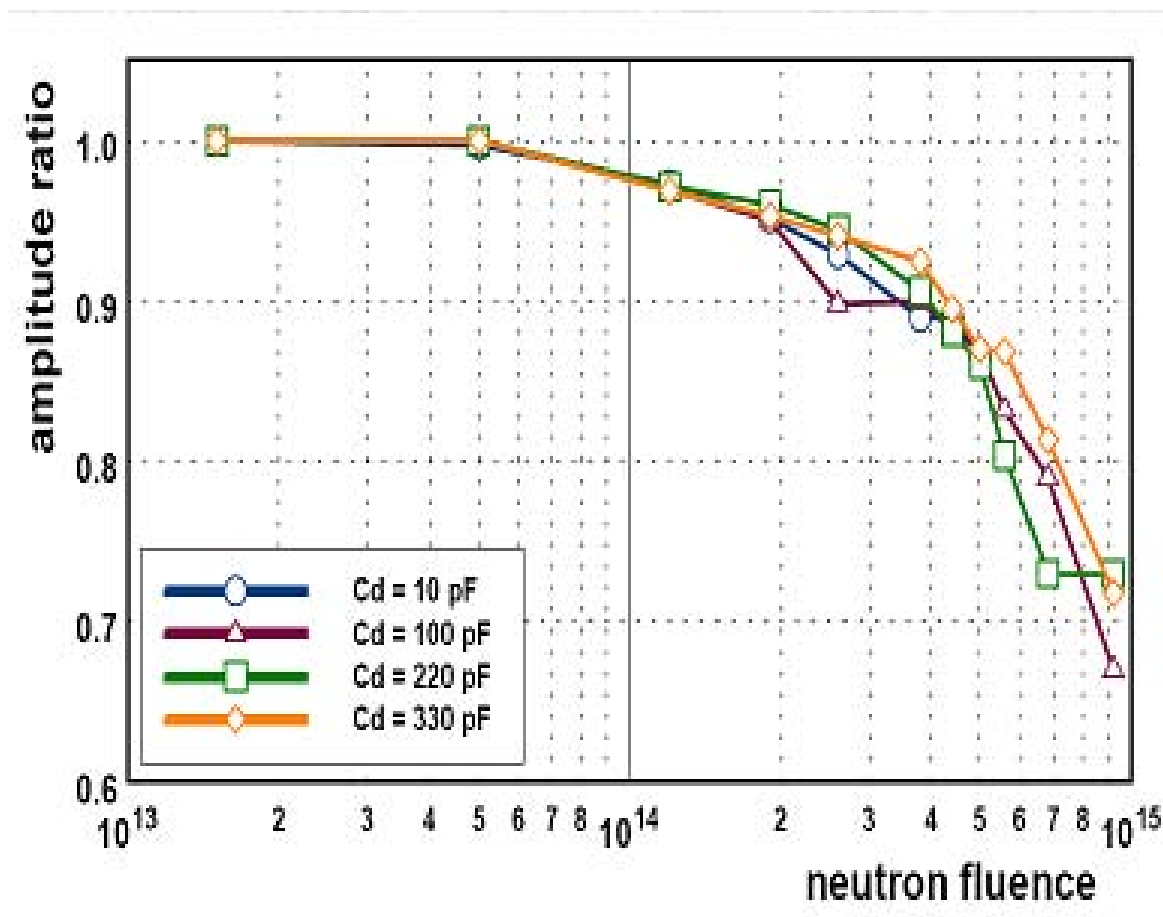


Рисунок 3 - Относительная деградация коэффициента усиления предусилителей с возрастанием радиационной нагрузки на элементы электроники НЕС.

Оценка деградации предусилителей при указанных в таблице значениях потоков была проведена экстраполяцией имеющихся данных в интересующую область. Полученные оценки относительных значений коэффициентов усиления (среднее и разброс) показаны в Таблице 2.

Таблица 2. Ожидаемые уровни (и их разброс) деградации предусилителей.

Номер слоя калориметра	0	1	2	3
Коэффициент деградации	0,1 +/- 0,3	0,45 +/- 0.25	0,7 +/- 0,2	0,97 +/- 0,02

Эти коэффициенты использовались в программе Монте-Карло при коррекции энерговыделения в жидко-аргоновом торцевом калориметре в событиях с образованием двух струй в pp – взаимодействиях. Двухструйные процессы генерировались с помощью программы RUTHIA, при этом были выбраны такие параметры процесса, которые бы обеспечивали рождение струй промежуточных энергий (130 -250 ГэВ) в области псевдобыстрот, соответствующей расположению модулей адронного калориметра. Реконструкция калориметрической информации проводилась с помощью стандартного программного обеспечения эксперимента АТЛАС, включающего детальное описание геометрии детектора.

Алгоритм учета деградации разыгрывал конкретные значения случайным образом в соответствии с Гауссовым распределением с указанными в таблице средними значениями и разбросом среднего для каждого слоя калориметра. Новые значения коэффициентов усиления предусилителей уменьшали амплитуды регистрируемых сигналов.

На рисунке 4 показаны распределения по величине энергии, зарегистрированной в активных зазорах первого (нулевого) слоя адронного калориметра, который наиболее подвержен радиационному воздействию.

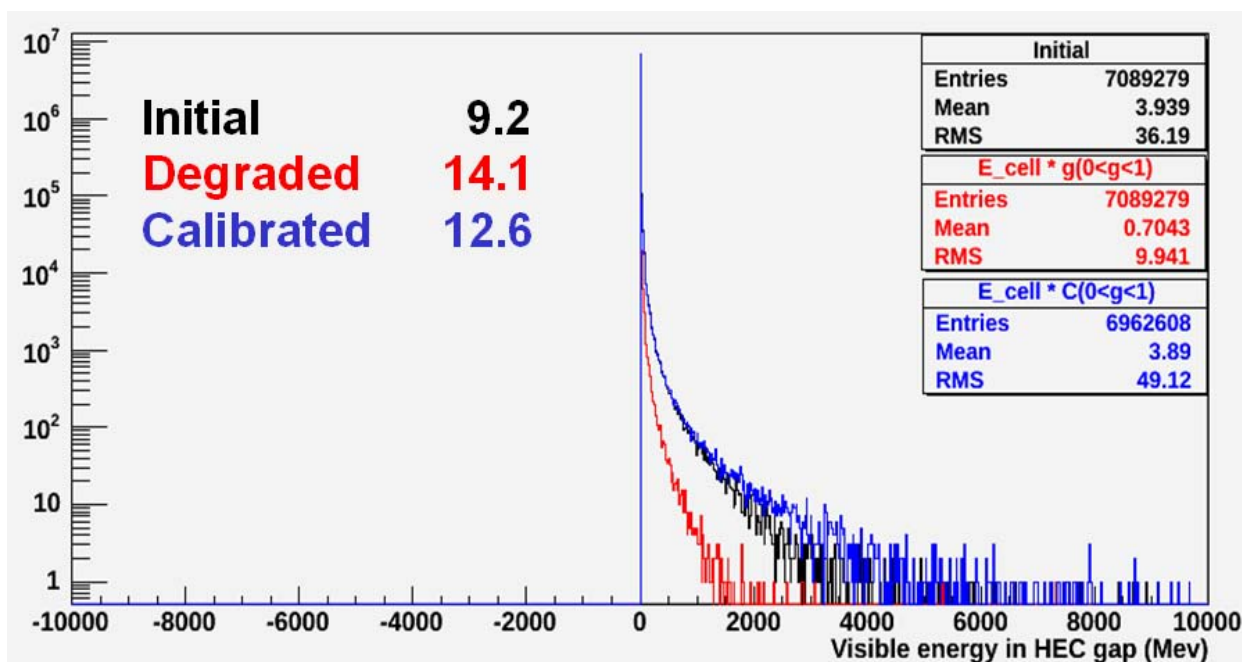


Рисунок 4 - Распределения по величине полной энергии, зарегистрированной в активных зазорах переднего слоя НЕС. Черным цветом показано исходное распределение, красным – после радиационной нагрузки, а синим – после работы алгоритма учета поправок и калибровки.

Черным цветом отмечено начальное распределение сгенерированной энергии в калориметре (в его переднем слое) до радиационного воздействия. Красным цветом показано распределение по энергии, которое регистрируется калориметром, испытавшим воздействие флюенса свыше 1.6×10^{15} н/см².

Приведенные на рисунке 4 значения средних величин распределений показывают заметное уменьшение регистрируемой энергии. По нашим оценкам потери энергии из-за радиационных повреждений предусилителей могут составить до 20%, что означает изменение калибровочных характеристик калориметра. Относительная ширина нового распределения увеличивается, т.е. ухудшается точность определения энергии регистрируемого ливня частиц. Процедура калибровки, введенная в

программу реконструкции энергии в деградировавшем калориметре, позволяет достаточно хорошо восстанавливать выделившуюся в активной среде энергию, но точность измерений ухудшается по мере накопления радиационных повреждений.

Современное понимание процессов, происходящих в детекторах установки АТЛАС, позволяет уверенно получать надежные данные об их свойствах и характеристиках, используя методику случайного розыгрыша. Но ни один Монте-Карло расчет не заменит экспериментальных данных, которые могут быть получены для решения возникающих вопросов. Например, в наших оценках важным исходным параметром является величина, характеризующая степень деградации коэффициента усиления предусилителя, которая могла быть получена только экстраполяцией имеющихся измерений в область больших флюенсов. Для получения обоснованных оценок следует создать установку, позволяющую изучать свойства детекторов и электроники под воздействием потоков нейтронов на модернизированном реакторе ИБР-2М.

- 2 Проведение тестовых испытаний прототипов микроканальных детекторов, подготовка программы моделирования параметров газовых микроканальных детекторов
- 2.1 Создание алгоритмов для считывающей электроники газовых микроканальных детекторов.

Сотрудничество МАММА (Muon ATLAS MicroMega Activity) с 2008 проводит исследования по разработке новой электроники для sTGC и детекторов Микромегас в составе Нового Малого Мюонного Кольца Мюонного Спектрометра АТЛАС. Дизайн электроники предусматривает её использование для чтения данных и других детекторов, таких как Катодно-Стриповые Камеры (CSC), GEM, RPC и другие.

Оба типа детекторов Нового Мюонного Кольца требуют высокой точности измерения амплитуды сигнала, причём точность определения координаты мюонов определяется посредством интерполяции зарядов, считываемых с соседних стрипов камер.

В целях компенсации деградации разрешения мюонной системы для треков с большими углами (от 10 до 40 градусов) по отношению к рабочей поверхности детектора, проект мюонной камеры Микромерас предусматривает работу детектора в режиме так называемой *micro-TPC*. В данном режиме трек заряженной частицы восстанавливается посредством измерения времени дрейфа зарядов достигших отдельных стрипов, как это реализовано в больших время-проекционных камерах, например в TPC эксперимента STAR в БНЛ, где сотрудники МИФИ отвечают за главный детектор STAR - TPC с 1994 года.

В качестве первого прототипа электроники группа разработчиков МИФИ и БНЛ заимствовала концепцию микросхемы ASIC IC85, применённую при разработке время-проекционной камеры, созданной по технологии GEM для эксперимента на Light Source в БНЛ. Чип IC85 выдаёт пиковое значение амплитуды сигнала и время достижения пика относительно блока ускорителя или иного другого триггерного сигнала в data-driven режиме. Также рассматриваемый чип не предназначен для работы в условиях повышенной радиации АТЛАС.

Основные характеристики микросхемы IC85:

- Технология: CMOS 0,25mm – 2,5 В;
- Мощность 43 мВт;
- Количество каналов в чипе 32;
- Встроенный предусилитель заряда;
- Встроенный усилитель формы сигнала;
- Детектор пика сигнала;

- Детектор времени соответствующий пику сигнала;
- Интегрированная калибровочная емкость 250 фК ($s=0,1\%$);
- Время формирования сигнала (Shaping time) 600 нс;
- Выход сигнала в канале электроники (Gain) 15мВ/фК, 32мВ/фК;

Принцип работы чипа IC85 следующий. Каждый канал электроники оборудован быстрым компаратором уровня сигнала и для каждого канала может быть установлен свой собственный предел срабатывания. В момент, когда уровень сигнала превышает этот заранее определённый предел, срабатывает алгоритм определения пика сигнала. По достижению максимума максимальное значение амплитуды и время оцифровываются и сохраняются в дерандомизированном буфере обмена.

Для всех события сохраняется уникальный идентификатор события – номер триггера в каждом сеансе сбора данных. Одновременно для каждого сработавшего канала в буфере сохраняются данные и для прилежащих к нему соседних каналов. Последнее было сделано для использования алгоритма взвешивания зарядов с целью более точного определения координаты прохождения искомого мюона, как это было ранее реализовано в Катодно-Стриповых Камерах оригинального Малого Мюонного Кольца.

Аппаратура сбора данных (Read-Out Driver, ROD) считывает только каналы с существенной информации о событии, именно пиковые значения амплитуды и времени для сработавших в событии каналов и их соседей, что кардинально сокращает объём прокачиваемых данных и упрощает архитектуру ROD.

Первая версия электроники IC85 была протестирована на лабораторном стенде с помощью космических лучей, а также на пучке пионов 120 ГэВ в ЦЕРН в тестовой зоне ускорителя SPS в точке Н6 с целью проверки принципиальной возможности использования детектора Микромегас в режиме микро ТРС. Работа чипа ASIC IC 85 пояснена на рисунке 5.

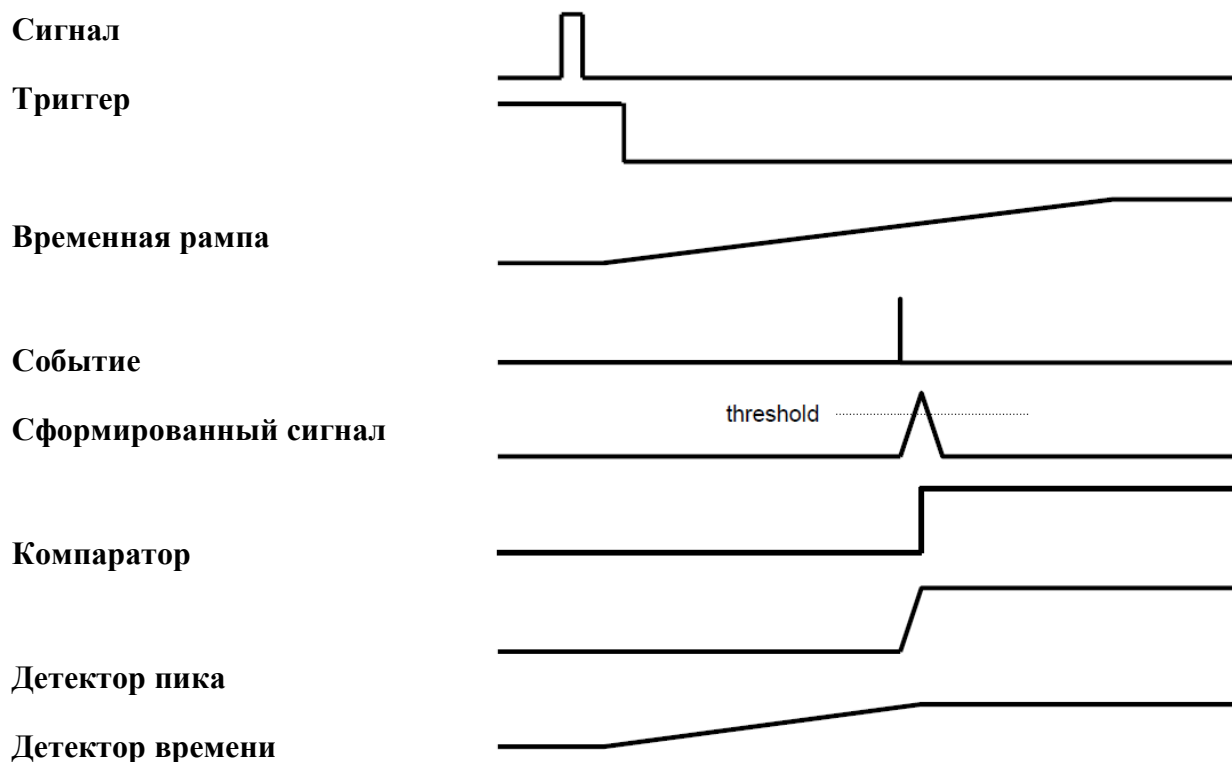


Рисунок 5 - Схема работы чипа ASIC IC 85.

Для данного теста использовался классический детектор Микромегас (см. рисунок 6) с $E_{\text{drift}} = 300 \text{ В/см}$ и $V_{\text{mesh}} = 570 \text{ В}$, что соответствует уровню выхода $\text{Gain} = 4 \times 10^3$.

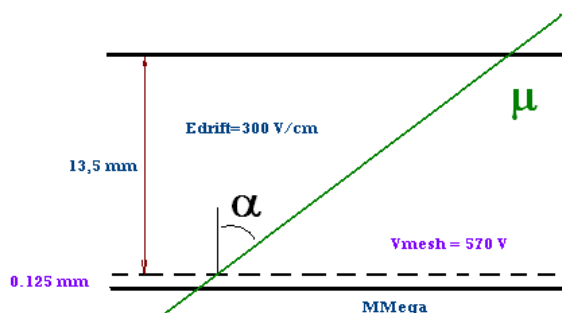


Рисунок 6 - Схема детектора Микромегас, использовавшегося для тестов электроники IC85 в ЦЕРН.

Для анализа данных нашей группой были разработаны три пакета программ с использованием стандартного программного обеспечения ROOT с элементами манипулирования трёхмерными объектами.

Первый пакет *mmEventDisplay* обладает простым интуитивным интерфейсом и предназначен для визуализации в 3-мерном пространстве сырых событий с возможностями быстрого трекинга (линейный фит), а также для отображения событий по номеру триггера в событии (см. рисунок 7).

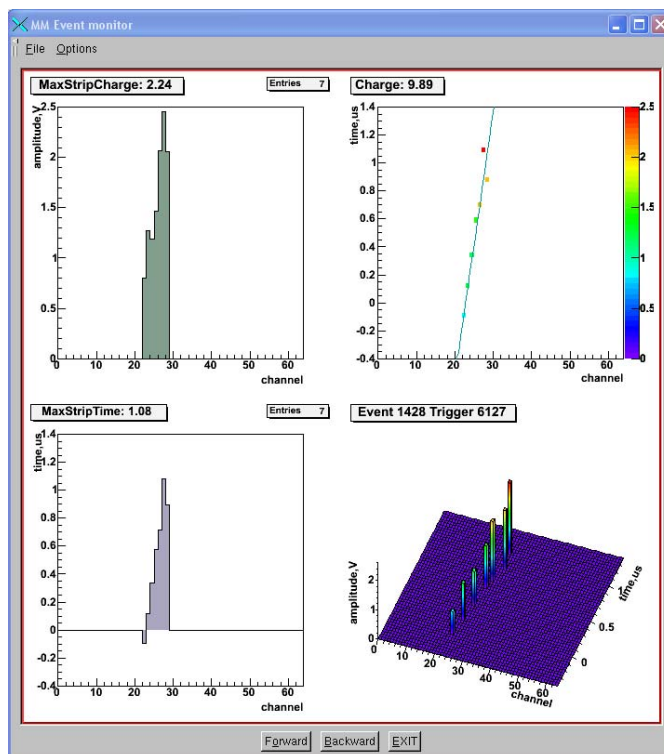


Рисунок 7 - Скриншот программы просмотра сырых данных чипа IC85. Трекинг осуществляется автоматически для событий с одной заряженной частицей.

В ходе тестовых испытаний детектор продемонстрировал хорошие способности для различения 2 трековых событий, что важно для выбраковывания фантомов (см. рисунок 8).

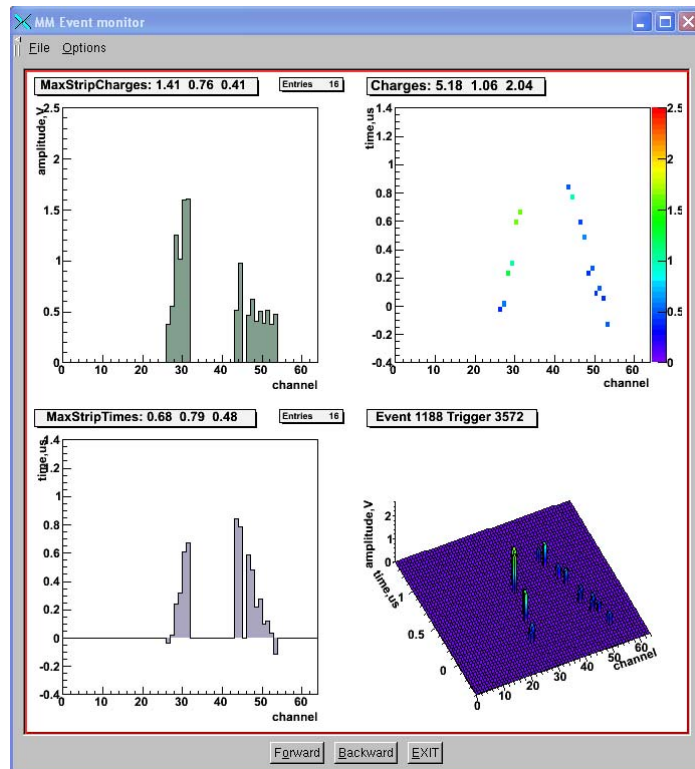


Рисунок 8 - Двукластерное событие, полученное с помощью программы mmEventDisplay, в котором зарегистрированы 2 космических мюона одновременно.

Второй пакет программ *mmcalib* предназначен для точной калибровки электроники с целью повышения эффективности работы всего прибора как целого. Процесс калибровки довольно сложная и рутинная процедура, поскольку каждый канал электроники должен быть прокалиброван с помощью линии задержки сигнала по времени (см рисунок 9), а также с помощью внешнего генератора по амплитуде сигнала. При этом остальные каналы должны быть выключены. Поскольку электроника срабатывает только при наличии заметного сигнала в канале, пьедестал в канале определяется как точка пересечения линейного фита с осью ординат (см рисунок 10). Обнаружено, что встроенная рампа IC85 непригодна для работы с Микромегас, не обеспечивает необходимого динамического диапазона времён в Микромегас. Поэтому для измерений использовали внешний генератор с изменяющимся наклоном рампы.

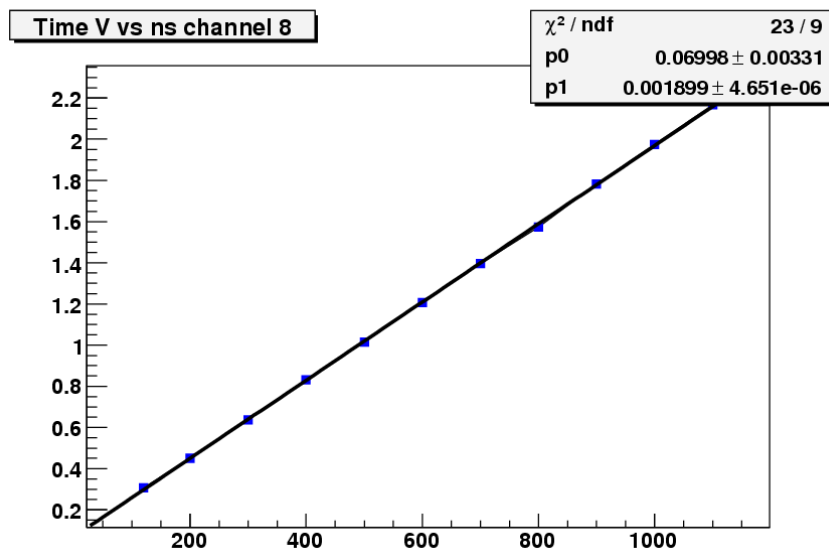


Рисунок 9 - Калибровочный график по времени канал №8.

1 мВ соответствует 0,52 нс

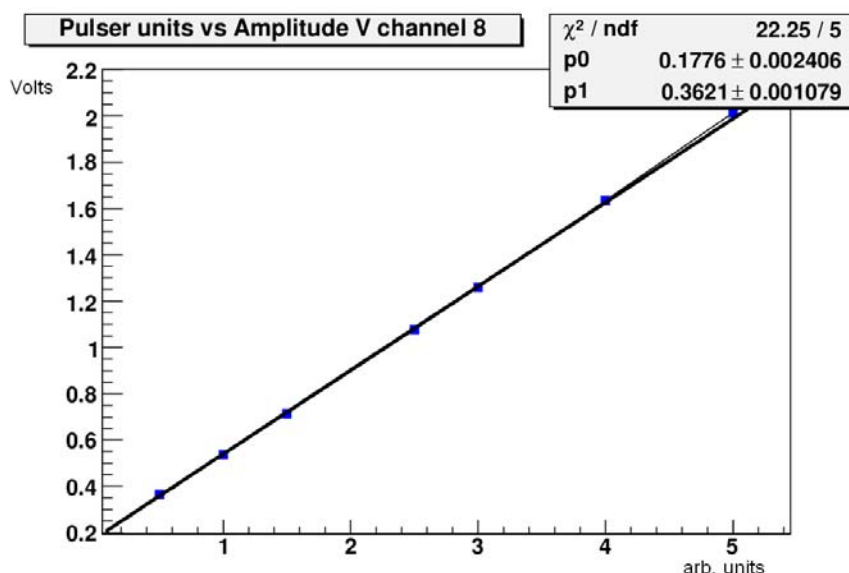


Рисунок 10 - Калибровочный график амплитуды сигнала в канале №8.

Уровень шума определяется точкой пересечения кривой с осью ординат и составляет 0,25 В

Калибровочные константы оказались устойчивы во времени, и использовались для анализа данных, как в лабораторных условиях, так и на пучке.

В результате исследований калибровочных данных также обнаружены незначительные корреляции между сырыми величинами времени и

амплитуды. Поскольку процедура слишком продолжительная по времени (2 рабочих дня) и трудоемкая, а также, что поставленная задача оказалась выполненной (см. ниже), применение 2-мерного фита в пространстве время-амплитуда в качестве калибровочной поверхности в анализе данных не применялось. Однако мы планируем рассмотреть возможность использования 2-мерной калибровочной поверхности в пространстве амплитуда-время при разработке процедур калибровки следующей версий электроники VMM1, разрабатываемых специально для детекторов *Микромегас* и *sTGC* Нового Малого Мюонного Кольца, если возникнет такая необходимость.

Анализ данных осуществлялся с помощью третьей нашей программы, программы реконструкции *mmresco*, которая использует калибровочные константы *mmcalib*.

В анализе данных космических мюонов применялся следующий подход. Отбирались одотрековые события с минимумом 8 хитов на трек и амплитудами, величины которых превышают пьедестал на 3 величины шума электроники. Также исключаются хиты соответствующие величинам амплитуды и времени в динамическом диапазоне электроники, близком к насыщению.

По результатам анализа данных тестов на космических лучах и тестовых испытаний на SPS можно заключить, что детектор Микромегас экипированный электроникой с чипом IC85 обеспечивает разрешение в определении координаты мюона 40-80 мкм в широком диапазоне углов наклона (рисунки 11 и 12).

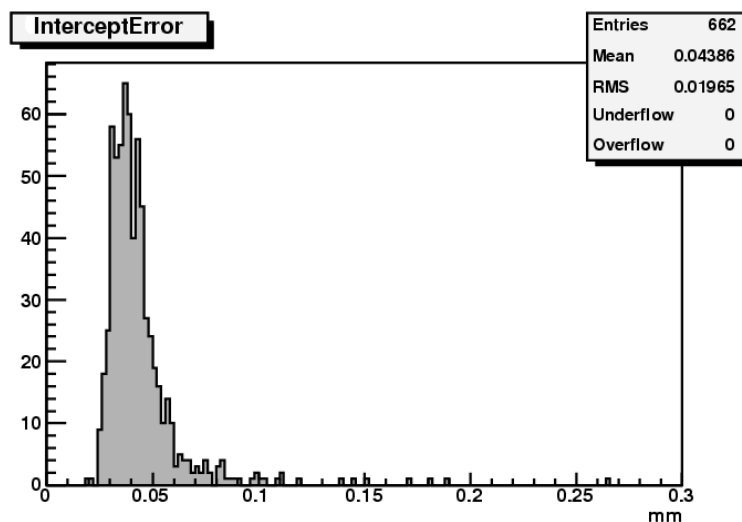


Рисунок 11 - Распределение ошибок в определении координаты мюонного трека.

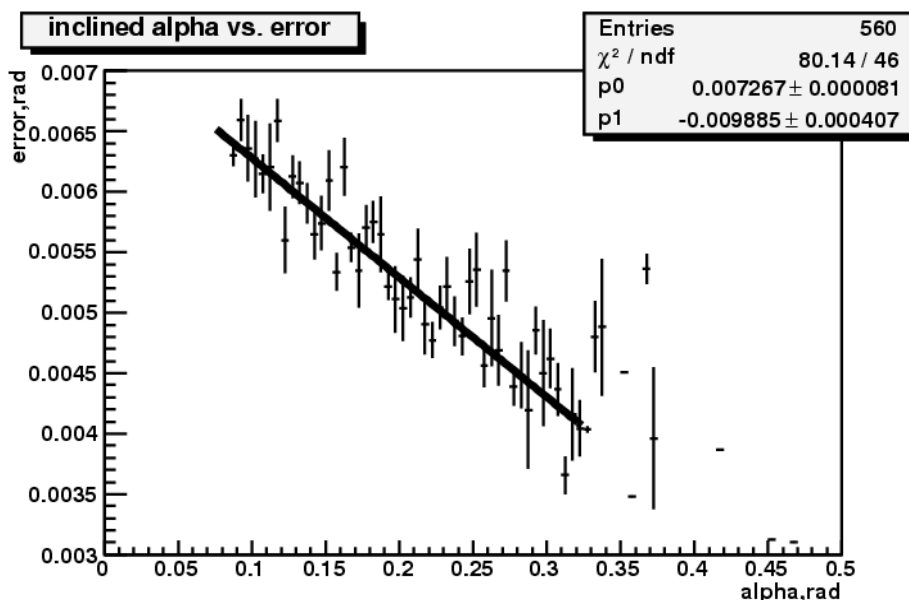


Рисунок 12 - Точность определения угла трека в зависимости от угла наклона трека.

Нами было показано, что для успешной работы АТЛАС Микромегас в режиме микро-ТРС требуется точность определения времени дрейфа 2 нс.

Новая версия электроники VMM1 разработанная в БНЛ заимствовала концепцию дизайна чипа IC85, в тоже время обладает целым рядом уникальных характеристик, необходимых для её использования, как для высокоточной регистрации мюонов камерами Микромегас, так и для работы в режиме триггера первого уровня в качестве электроники sTGC. Новый чип

имеет уже 64 канала, что значительно способствует созданию многотысячной системы считывания данных с Малого Мюонного Кольца. Для формирования триггера в качестве выхода дискриминатора для sTGC используются дифференцированные сигналы LVDS, а также 6-ти разрядный адрес стрипа Микромегас, на котором высадился самый ранний заряд, превышающий предустановленный уровень. Сам чип изготовлен по технологии IBM 130 нм, что должно гарантировать работу электроники в условиях повышенной радиации в области Малого Мюонного Кольца.

Дополнительно разработчики учли наши рекомендации по обеспечению гибкости в настройках режимов работы электроники, обеспечивающие совместимость с разными детекторными технологиями, именно следующие возможности:

- изменение полярность сигнала;
- выбор электронного выхода (gain 0.5, 1.0, 3.0, 9.0 мВ/фК);
- выбор время формирования сигнала (integration time 25, 50, 100, 200 нс);
- выбор динамического предела измерения времени дрейфа (150, 250, 500, 1000 нс);
- установка своего собственного порога срабатывания в каждом канале электроники;
- встроенные калибровочные емкости;
- встроенный калибровочный генератор сигналов.
- подавление каналов без информации в режиме он-лайн (zero suppression)
- одновременное чтение и запись в дерандомизированные буферы
- технология CMOS 130nm 1.2V From IBM (8RF);
- размер прибора: $5,934 \times 8,433 = 50,033 \text{ mm}^2$;
- частота работы 500k MOSFETs;
- мониторинг состояния чипа (каналы для чтения температуры, аналоговых сигналов избранных каналов, порогов, DAC и пр.
- потребление энергии: $1,2 \text{ V} \times 300 \text{ mA} = \sim 360 \text{ mW}$ ($\sim 5,5 \text{ mW/channel}$)

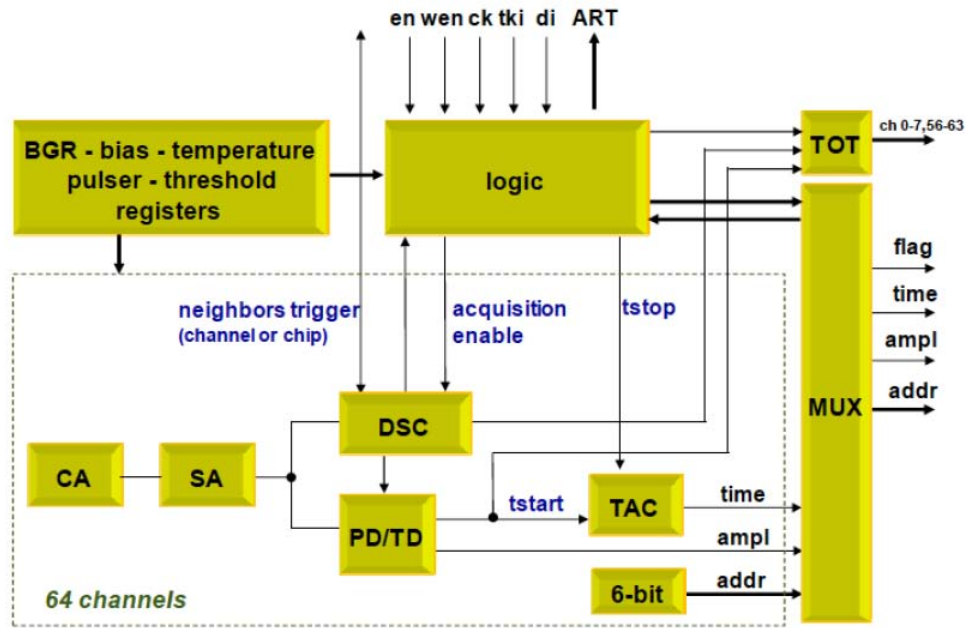


Рисунок 13 - Схема первого специально разработанного чипа для детекторов Нового Мюонного Кольца Атлас.

Новый чип VMM1 работает в трёх основных режимах (см. рисунок 13):

- Сбор и компоновка данных: события зарегистрированы и оцифрованы (амплитуда и время)
- усиление заряда, дискриминатор, определение пика амплитуды и времени
- адресация в реальном времени (**ART**) инициации триггера
- реальное измерение времени (**ToT** or **TtP**) в каналах 0-7 и 56-63
- Чтение данных: предварительный отбор, подавление нулей (амплитуда, время и адрес стрипа)
- Конфигурация: доступ к глобальным регистрам и регистрам отдельных каналов.

2.2 Оптимизация формата данных с платы считывающей электроники, разрабатываемой для микроканальных газовых детекторов, и ее тестирование

Первые тестовые испытания нового чипа VMM1 проходили на пучке пионов в период с 26 июля по 8 августа. На рисунке 14 показана конфигурация электроники, использовавшаяся в период первого теста.

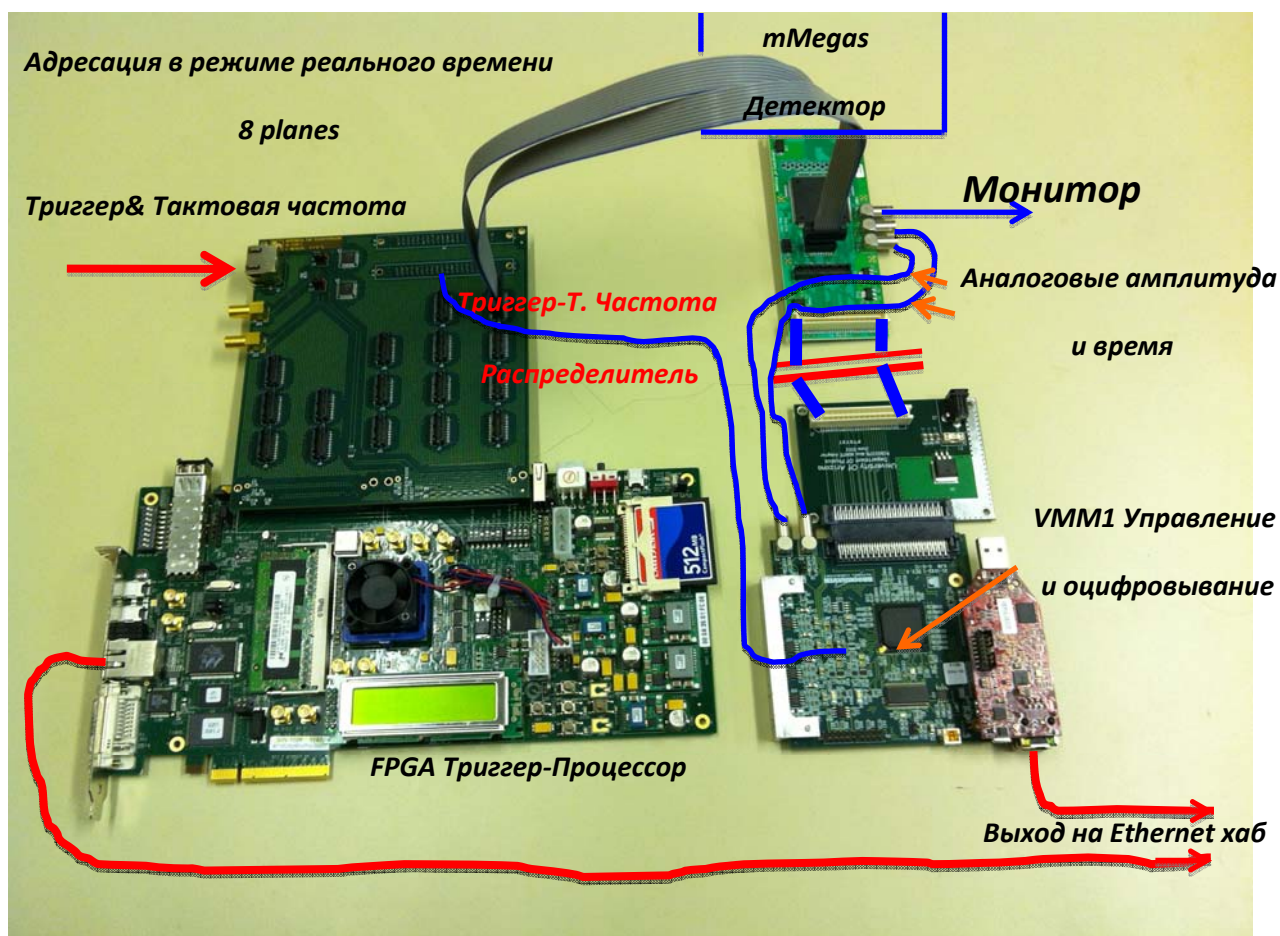


Рисунок 14 - Система системы считывания, используемая в тестовых испытаниях в августе и сентябре 2012 года.

На рисунке 15 схематически показано расположение детекторов Микромегас.

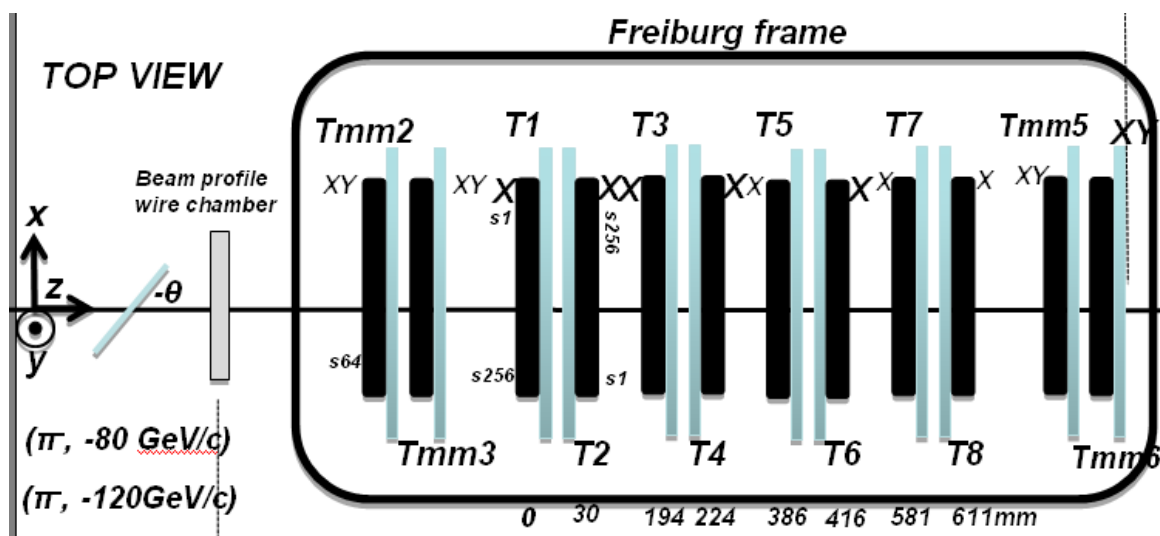


Рисунок 15 - Схема эксперимента в ЦЕРН на ускорителе SPS в зоне Н6, август 2012 года

Восемь камер Микромегас Т1-Т8 закреплены на экспериментальном столе, созданным коллегами из Фрайбурга (Германия) (см рисунок 16). Главное назначение данного стола является возможность одновременного изменения угла пучка пионов относительно детекторов Микромегас.

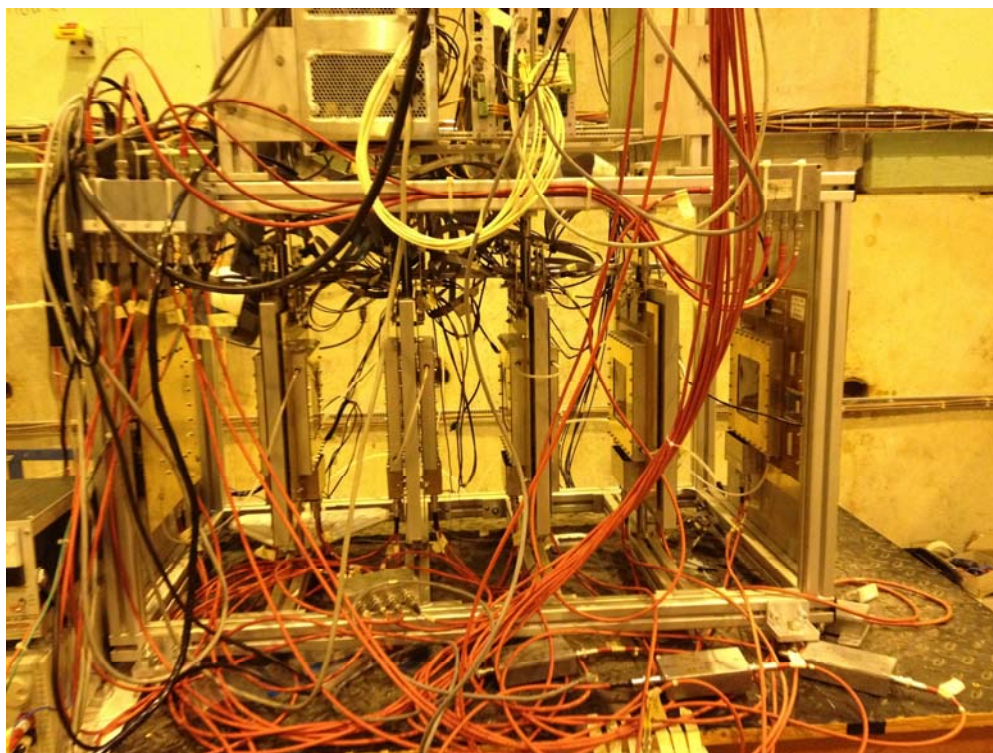


Рисунок 16 - Экспериментальная установка МАММА на пучке ускорителя SPS в зоне Н6 ЦЕРН.

Главное назначение данного стола является возможность одновременного изменения угла пучка пионов относительно детекторов Микромегас.

В рамках данного отчёта мы представляем самые первые результаты исследования эффективности работы функции адресации в VMM1 в реальном времени. Функция ART критически важна для отработки возможности использования камер Микромегас в качестве системы триггера первого уровня АТЛАС. Каждый из 8 детекторов оборудован двумя чипами VMM1, которые считывают по 128 каналов каждого детектора. Все выходы ART каждого чипа подключаются к специальной карте-интерфейсу мезонинного типа, которые в свою очередь подключаются к карте промышленного образца FPGA Xilinx ML605.

Высокоточная амплитуда и аналоговое время оцифровываются посредством специальных карт из расчета 1 карта на один чип VMM1. Компьютер системы сбора данных DAQ получает данные по Ethernet от всех 17 карт (16 для 16 чипов VMM1 плюс 1 карта триггера).

Порядок работы системы таков. Все каналы работают асинхронно в соответствии с их дискриминаторами. При появлении отклика детектора (хита) включается соответствующий флаг. DAQ система начинает определять в течении определённого фиксированного времени был ли ассоциирован триггер с флагом. В случае отрицательного ответа, чип перегружается и возвращается в режим сбора данных. Если же флаг был замечен, в этом случае адрес ART, счётчик триггера и временем относительно триггера, все эти величины записываются. В тоже самое время чтение высокоточных каналов Микромегас инициируется и подобные данные со всех задействованных каналов, не только с самого раннего по времени, записываются. На рисунке 17 изображены 2 события, записанные триггером FPGA.

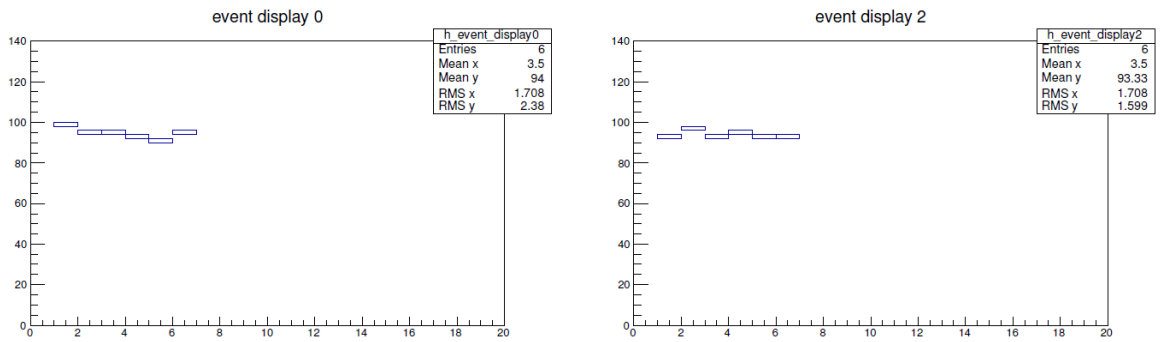


Рисунок 17 - Временные каналы в режиме триггера, автоматическое срабатывание самого первого канала чипа по достижении накопленным зарядом величины порога срабатывания.

Адреса стрипов, сработавших в первую очередь, показаны для шести детекторов, задействованных в этих событиях. Отметим, что номера стрипов практически совпадают для всех поверхностей детекторов. Камеры были повернуты на 30 градусов. В среднем при таком угле между поверхностью детектора и пучком примерно 5 стрипов имеют ненулевой сигнал. На рисунке 18 представлен предварительный результат обработки полученных экспериментальных данных по угловому разрешению реконструированного трека в зависимости от угла наклона реального трека частицы.

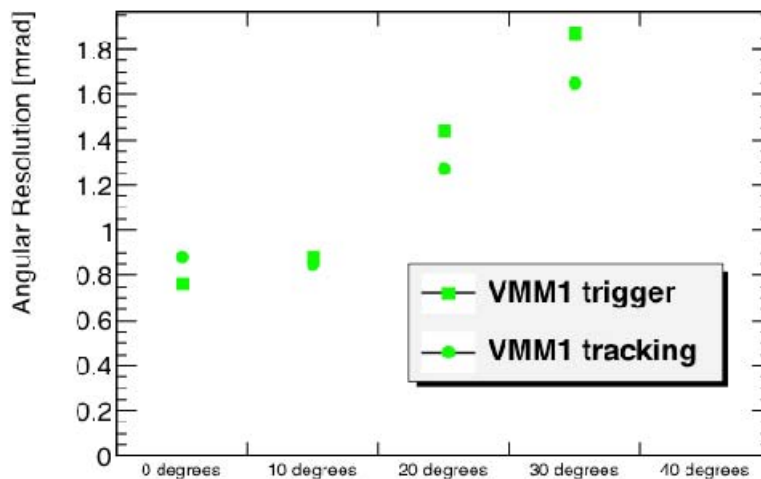


Рисунок 18 - Предварительный результат. Разрешение наклона трека в зависимости от угла трека.

Первые выводы, сделанные после испытаний VMM1:

- первоначальная версия чипа VMM1 полностью работоспособна и функционирует как ожидалось;
- в испытываемой версии уже имеются 64 канала, а также все основные требуемые функции уже включены в дизайн;
- аналогово-цифровой преобразователь ADC, цифровые буферы и др., избыточная логика для коррекции одиночных ошибок будут реализованы в версии VMM2.

Основные проблемы на данный момент обусловлены следующим:

- Большой ток утечки от системы защиты ввода увеличивает шум (примерно 400 e^-) и выводит из строя схему обработки положительных зарядов. Необходимо реализовать внешнюю компенсацию токов, например посредством резистора;
- Функция автоматической перезагрузки не перегружает дискриминатор;
- Аналоговый генератор испытывает цифровые наводки;
- Наблюдается зависимость выхода электронного от величины времени формирования сигнала.

Следующая версия чипа VMM2 будет оборудована ADC для амплитуды и времени; выявленные недостатки будут устранены, так же как и другие недостатки, которые могут проявиться в ходе дальнейших испытаний.

Целый ряд предложений по повышению эффективности и оптимизации работы электроники готовится и будет реализован в следующей версии.

Наиболее актуальными из них являются совмещение триггерных функций для 2 разных технологий. В случае Микромегас желательно увеличить электронный выход, поскольку есть необходимость понизить порог, и, возможно, удастся добиться порога в один первоначальный

электрон, что позволит эксплуатировать детекторы при наименьшем выходе электронов. Также в следующей версии предполагается больший выбор установок электронного выхода.

В случае sTGC мы исследуем возможность обеспечения линейного представления амплитуды. TOT как функции амплитуды является нелинейной, лучшее разрешение достигается в случае малых амплитуд, но степень разрешения падает в верхней части диапазона.

Использование аналогии с концепцией TAC о том, что нужно разрядить пиковую амплитуду до уровня предустановленного шума. Этим способом можно получить линейную амплитуду. Одним из следствий такого подхода является то обстоятельство, что если необходим 6-ти битовый диапазон, и временное разрешение 2 нс, то потребуется временная рампа 128 нс и временной интервал, соответствующий 5 пересечениям протонных сгустков в LHC.

Внедрение 6-ти битового флэш-ADC, который бы обеспечивал оцифровывание линейной амплитуды сигнала к моменту времени пика этого сигнала.

Также в рабочем порядке осуществляется анализ данных тестовых испытаний августа и сентября 2012. Мы планируем принять участие в тестовых испытаниях в ноябре 2012 и внедрить ранее разработанные алгоритмы точной калибровки электроники VMM1.

2.3 Разработка алгоритмов для моделирования работы детекторов и визуализации данных

Для моделирования работы газо-пиксельных детекторов и обработки данных с них ведется разработка соответствующего программного обеспечения. Такое программное обеспечение должно:

- обеспечить возможность реалистичного моделирования детекторов, включающего в себя моделирование физических процессов в детекторе и отклик электроники;
- иметь удобный формат хранения данных, по-возможности – единый для смоделированных и реальных экспериментальных данных;
- включать в себя алгоритмы обработки данных, как смоделированных, так и экспериментальных;
- иметь удобный пользовательский интерфейс, возможность графического представления событий (Event Display), а также гистограммирования анализируемых физических величин.

Разрабатываемое программное обеспечение состоит из двух основных частей: программ моделирования детекторов с помощью метода Монте-Карло (MC), а также программ для обработки и анализа. Программа моделирования основана на пакете GEANT3 [9], предназначенного для описания геометрии детектора и основных физических процессов, происходящих в нем при прохождении регистрируемой частицы. Программа позволяет задавать основные параметры газо-пиксельных детекторов: размеры, состав и параметры газовой смеси, размеры и число пикселей и т.д. Кроме собственно газо-пиксельного детектора, в программе задаются параметры проходящей через детектор регистрируемой частицы – ее сорт, энергию, координаты и углы прохождения через детектор. Поскольку одной из возможностей применения разрабатываемых газо-пиксельных детекторов является их использование для регистрации переходного излучения (ПИ), в программе предусмотрен блок для описания радиаторов ПИ – как регулярных, на основе чередующихся полипропиленовых пленок, так и нерегулярных, на основе фибровых волокон. Физический процесс генерации ПИ не входит в состав пакета GEANT3, поэтому для его описания используется специальный код [10], разработанный для эксперимента ATLAS на БАК.

На рисунке 19 показана схема установки для испытания газо-пиксельного детектора в пучке ускорителя, полученная с помощью моделирующей программы.

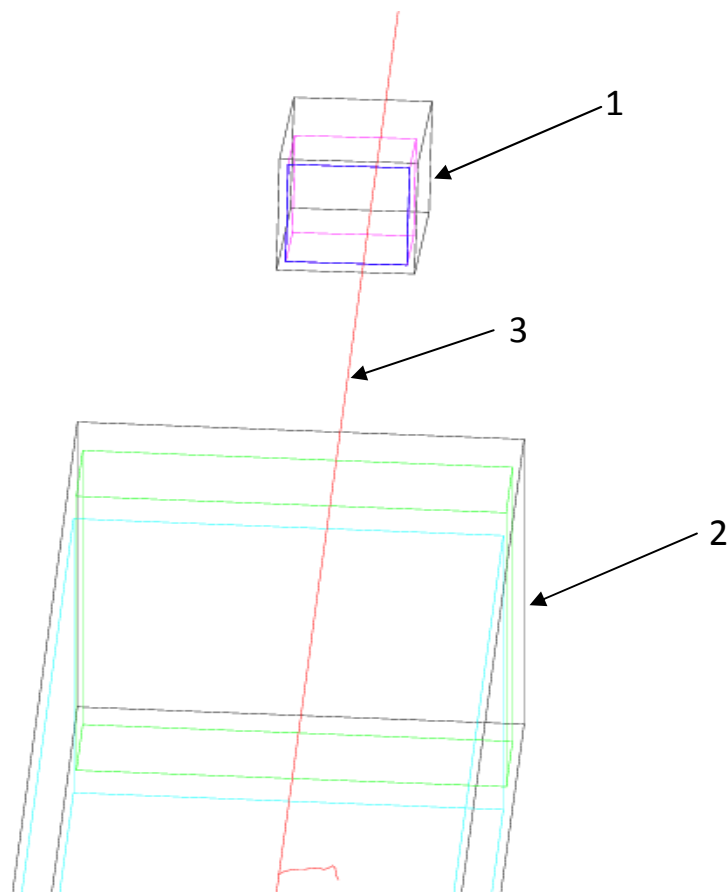


Рисунок 19 - Изображение одного события, полученное с помощью программы моделирования. 1 – газо-пиксельный детектор, 2 – радиатор переходного излучения, 3 – регистрируемая частица, проходящая через установку.

Упомянутая выше часть программного кода позволяет детально описывать процесс прохождения регистрируемой частицы через детектор, ионизацию в газе, при необходимости – процессы рождения и поглощения квантов переходного излучения. Затем следует моделирование процессов дрейфа электронов ионизации в газе, их размножение вблизи сетки, и регистрации. Для процесса дрейфа учитываются продольная и поперечная диффузия, а также время дрейфа от точки ионизации до сетки. Учитывается

эффективность регистрации кластера ионизации, амплитуда и длительность снимаемого с пикселя сигнала.

На рисунке 20 приведен пример смоделированного события для газопиксельного детектора с размерами пикселей $50 \times 50 \text{ мкм}^2$, величиной газового дрейфового промежутка 16 мм, газовой смесью 70%Xe+30%CO₂ и порогом срабатывания пикселя 1,35 первичных электронов ионизации.

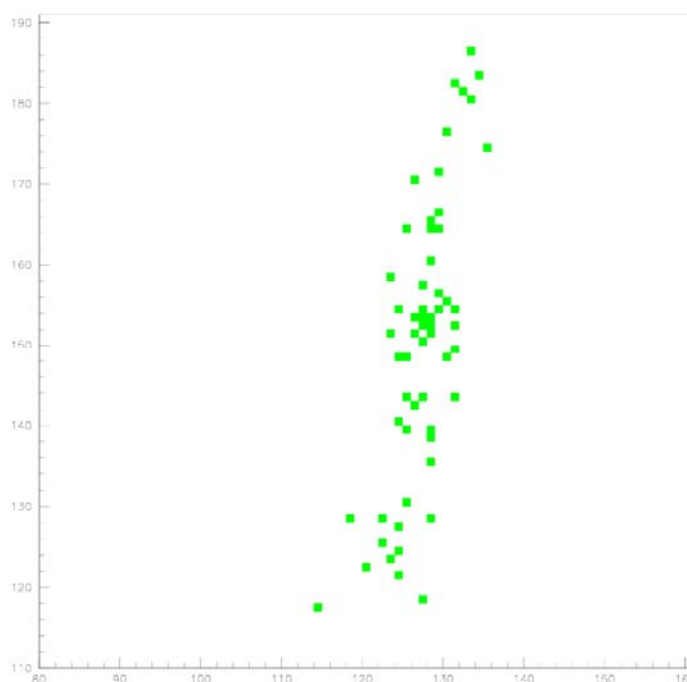


Рисунок 20 - Пример смоделированного события в газопиксельном детекторе – проекция на плоскость чипа. Зелеными квадратами показаны сработавшие пиксели. По осям отложены номера рядов пикселей в чипе.

Существует возможность подстройки упомянутых значений через задание соответствующих параметров во входном конфигурационном файле моделирующей программы. В настоящее время предусмотрено задание следующих основных входных параметров в моделирующей части программы:

- число и размер пикселей вдоль осей X и Y;

- толщина газового дрейфового промежутка детектора, состав газовой смеси, процентный состав ее компонент и давление;
- сорт регистрируемой частицы, ее энергия, углы падения на детектор
- параметры радиатора переходного излучения: материал радиатора, длина по направлению падающей частицы, толщина пленок в радиаторе и шаг между ними, эффективность радиатора
- скорость дрейфа электронов ионизации в газе, коэффициенты продольной и поперечной диффузии
- режим съема информации с пикселей: а) измерение времени дрейфа или б) времени превышения порога.
- параметры сигнала электроники: время переднего и заднего фронтов, форма сигнала, величина временного бина оцифровки
- эффективность регистрации электронов ионизации, порог регистрации.

Информация, полученная программой моделирования, сохраняется в виде гистограмм, а также в файле с данными, предназначенном для дальнейшей обработки. При выборе формата файла с моделируемыми данными было желательно обеспечить совместимость с форматом, используемом в системе сбора данных DAQ при съеме информации с реального чипа. Однако последний имеет существенный недостаток: в нем применяется хранение информации о каждом событии в отдельном файле. Это крайне неудобно, поскольку приводит к созданию очень большого числа файлов. Кроме того, программы моделирования и обработки тратят слишком много времени на открытие и закрытие этих файлов, что сильно замедляет их работу. Поэтому было решено разработать более удобный формат хранения данных, а для совместимости со старым форматом, применяемом в системе DAQ, создать соответствующие процедуры конвертации.

В новом формате данные хранятся в текстовом файле, хранящем все события одного сеанса (смоделированного или реального эксперимента). Начало файла до специальной ключевой последовательности представляет собой комментарий, который игнорируется при обработке. Комментарий может содержать любую текстовую информация, которая представляется полезной пользователю: пояснение к формату файла, время его создания, имя компьютера, на котором были смоделированы входящие в файл данные и т.п. При генерации моделированных данных, а также при конвертации файла с экспериментальными данными из старого формата в новый, такой комментарий генерируется программой автоматически.

Следующим за комментарием блоком в файл с данными записываются некоторые параметры, которые в дальнейшем могут использоваться при обработке: тип данных (смоделированные или экспериментальные), размеры камеры и пиксельной матрицы, состав газа, величина временного бина оцифровки и т.п. Это освобождает от необходимости указывать значения таких параметров при запуске обработочной части программы и страхует от возможных ошибок: программа обработки просто считывает эти параметры из файла с данными.

Основной блок файла содержит собственно данные в простом текстовом формате. Для каждого события в файл записываются несколько строк по числу сработавших пикселей. Строка содержит X и Y номера пикселей, время срабатывания, число хитов, время превышения сигналом порога, длительность превышения порога и время достижения сигналом максимума. В случае если какая-то информация отсутствует (например, порог не был превышен), в соответствующем поле файла ставится отрицательное число. Здесь для примера приведен фрагмент файла с моделированными данными:

```
*** MC generated gaspixel data ***
```

```
File format v.2 (since May-2012):
```

All lines in the file header before first appearance of "<>DataFormatVersion" key are considered as a comments.

.....

Some system variables:

date: Sat Jul 14 23:11:04 MSK 2012

hostname: pascal25

uname -a: Linux pascal25 2.6.32-220.4.1.el6.x86_64 #1 SMP Mon Jan

.....

```
<>DataFormatVersion      2
<>ExpMC                   1
<>NPixX                   256
<>NPixY                   256
<>PixX                    0.00550
<>PixY                    0.00550
<>DriftGap                1.600
<>Vdrift                  5.000
<>Tdiffusion              240.000
<>Ldiffusion              220.000
<>GasMixture              1
<>CO2concentration        0.300
<>GasPressure             1.000
<>ClockTime               10.000
<>ShutterTime             4000.000
<>Event number           1
154 200 391 1 384 15 378
155 98 369 1 361 17 355
155 119 370 1 -1 -1 -1
155 137 377 1 371 23 363
155 141 379 2 371 16 365
155 143 377 1 -1 -1 -1
```



```
155 146 379 3 373 31 364
```

```
.....
```

```
<>Event number      2
```

```
143 28 371 1 -1 -1 -1
```

```
143 32 370 1 360 9 356
```

```
143 33 370 1 -1 -1 -1
```

```
143 38 370 1 -1 -1 -1
```

```
143 42 371 1 366 33 357
```

```
.....
```

Экспериментальные или смоделированные данные поступают на вход программы обработки. Программа обработки написана на языке C++ на основе пакета ROOT [11]. Программа имеет графический пользовательский интерфейс (GUI) показанный на рисунке 21. При запуске программы указываются имя файла с обрабатываемыми данными, а также имя файла с параметрами обработки, если их значения отличны от используемых по умолчанию.

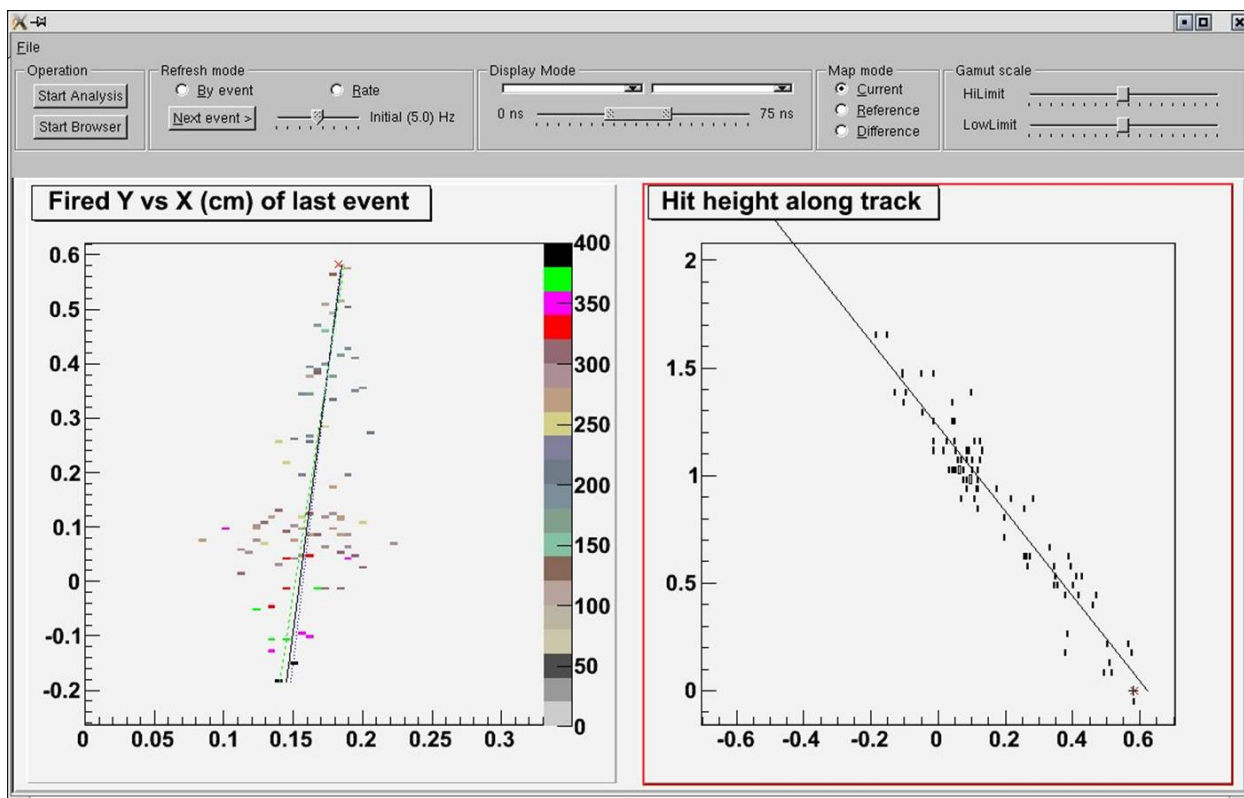


Рисунок 21 - Пользовательский интерфейс программы обработки.

В настоящий момент предусмотрены два режима обработки данных: ручной и непрерывный, когда обрабатываются все данные до конца. Ручной режим предназначен главным образом для целей отладки процедур обработки. Он позволяет просмотреть отдельное событие, оценить точность восстановления траектории регистрируемой частицы. На рисунке 17 (см. выше) снизу представлен пример графического отображения одного обработанного события. Слева – в проекции на плоскость чипа, здесь квадратиками нарисованы сработавшие пиксели. Справа – в плоскости дрейфа, перпендикулярной плоскости чипа. Здесь координата по горизонтальной оси есть координата зажженного пикселя, а по вертикальной – вычислена, исходя из измеренного времени дрейфа. На обоих рисунках прямые линии представляют реконструированный трек, а крестиком обозначена истинная точка пересечения частицы с плоскостью чипа, заданная при моделировании.

Результаты обработки хранятся в ROOT гистограммах. Пользователь может открыть окно для просмотра накопленных гистограмм во время обработки (см. рисунок 22). По окончании обработки гистограммы сохраняются на диске в ROOT файле и могут затем при необходимости использоваться для просмотра или дальнейшего анализа.

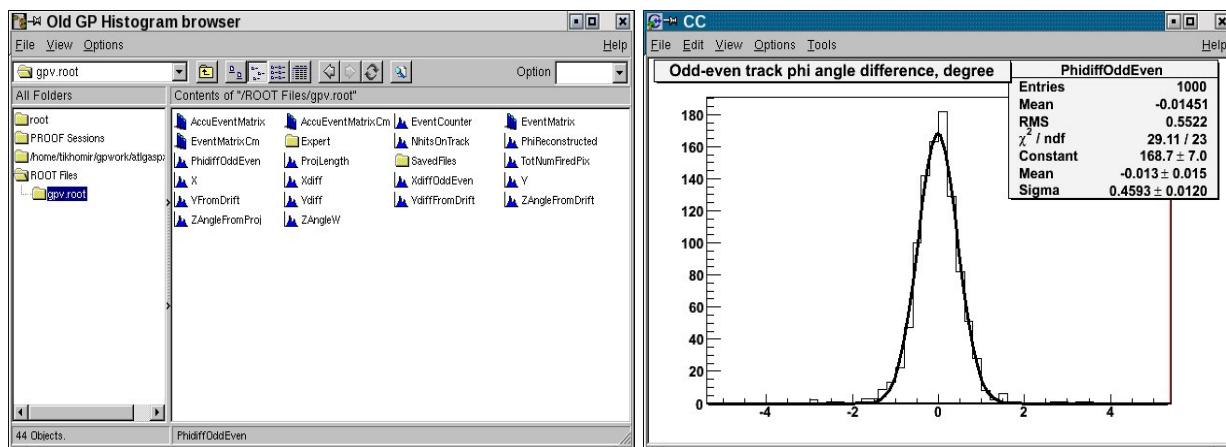


Рисунок 22 - Слева – окно просмотрщика гистограмм, справа – гистограмма одной из анализируемой величин вместе с результатом фитирования.

Собственно обработка заключается в процедуре восстановления траектории регистрируемой частицы на основе информации, полученной с пиксельного детектора. Процедура состоит в проведении трека и определения его параметров: углов наклона по отношению к детектору и точки пересечения с плоскостью чипа. Рисунок 23 иллюстрирует смысл восстанавливаемых параметров трека в проекции на плоскость чипа.

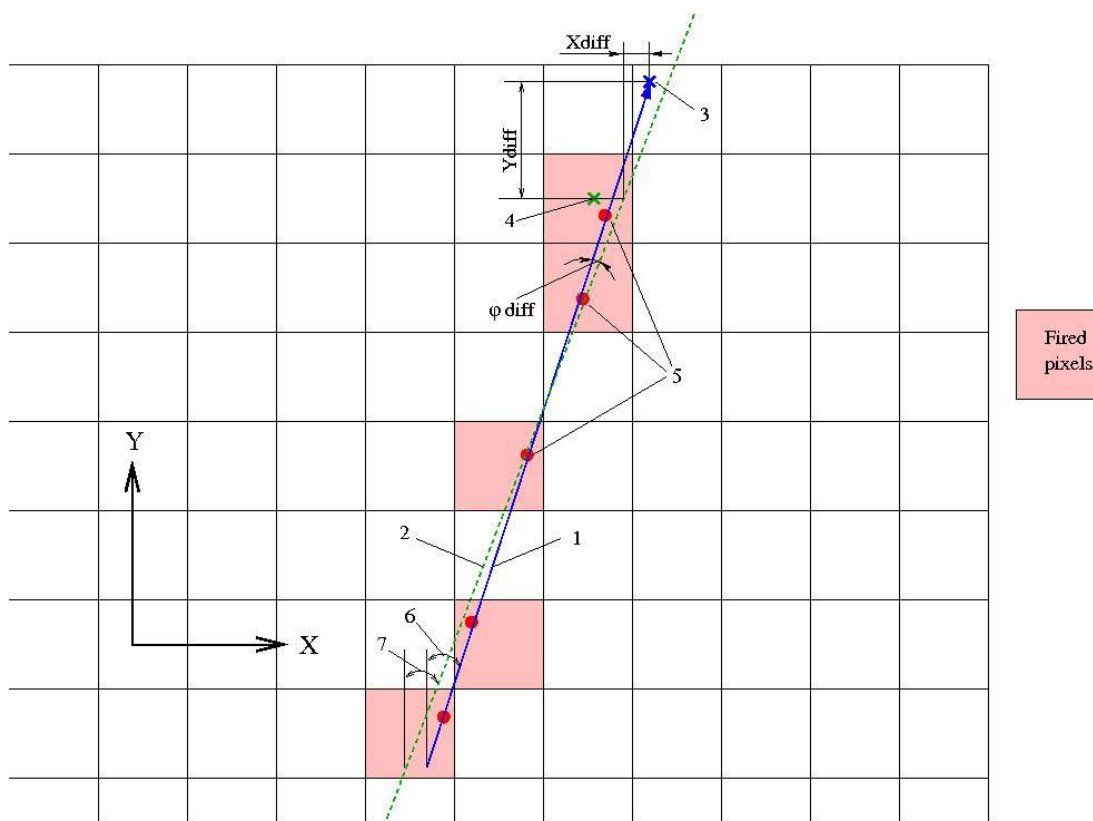


Рисунок 23. Восстановление проекции трека в плоскости чипа. Здесь обозначены: 1 – истинная проекция трека на плоскость чипа; 2 – реконструированный трек; 3 – точка пересечения истинного трека с чипом; 4 – центр последнего по треку «зажженного» пикселя; 5 – проекция кластеров ионизации на плоскость чипа; 6 – истинный азимутальный угол проекции трека; 7 – восстановленный азимутальный угол; φ_{diff} – разность восстановленного и истинного азимутального угла; X_{diff} – разность восстановленной и истинной X координаты конца трека; Y_{diff} – разность восстановленной и истинной Y координаты конца трека.

Здесь для поиска трека и определения его параметров используются координаты центров сработавших пикселей. При фитировании трека прямой линией применяются разные веса для пикселей в зависимости от их положения вдоль трека: чем дальше от точки пересечения трека с плоскостью чипа находится пиксель, тем с меньшим весом учитывается его координата. Таким образом, учитывается разное «размытие» участков трека из-за поперечной диффузии в процессе дрейфа кластеров ионизации к чипу.

Используя информацию о времени дрейфа кластеров первичной ионизации к чипу, возможно восстановить и проекцию трека в плоскости дрейфа, которая перпендикулярна плоскости чипа (см. рисунок 24). Здесь при

фитировании прямой линией одной из координат служит координата сработавшего чипа, а другая (Z на рисунке 24) вычисляется, исходя из измеренного времени дрейфа и известной в данных условиях скорости дрейфа. Одновременное восстановление двух проекций трека дает его полное 3D изображение.

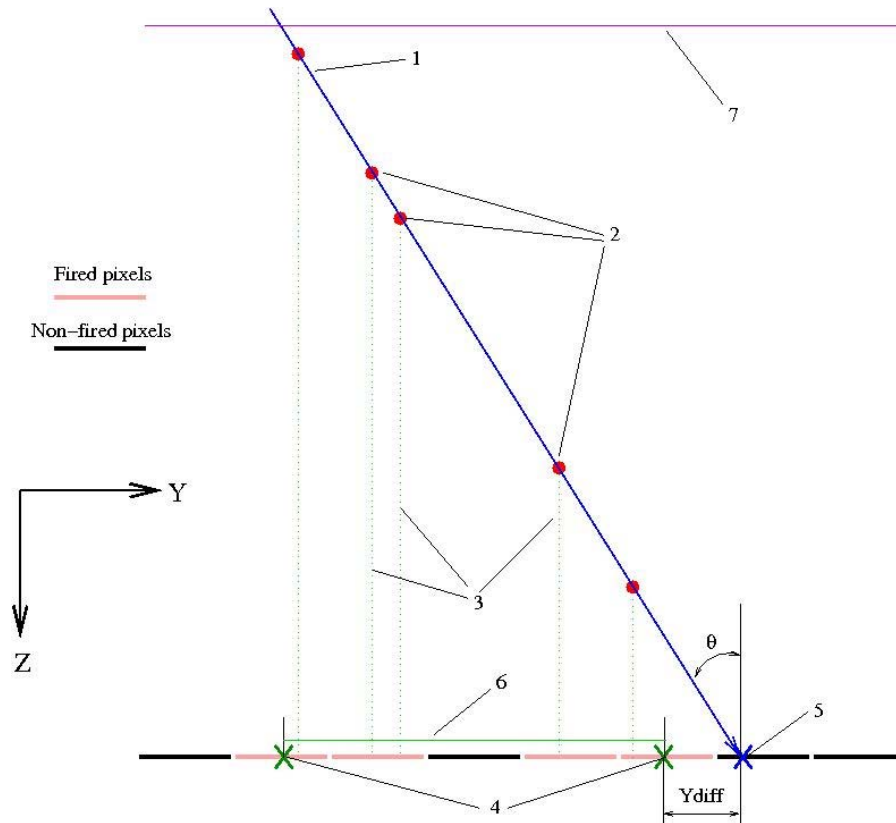


Рисунок 24 - Восстановление трека в плоскости дрейфа. Здесь обозначены: 1 – истинный трек в газовом дрейфовом объеме; 2 – хиты первичной ионизации на треке; 3 – траектории дрейфа хитов к плоскости чипа; 4 – центры первого и последнего по треку «зажженных» пикселей; 5 – точка пересечения истинного трека с чипом; 6 – восстановленная в плоскости чипа проекция трека; 7 – граница газового дрейфового объема; θ – истинный полярный угол трека; Y_{diff} – разность восстановленной и истинной Y координаты конца трека.

Заметим, что прямым образом точность восстановления трека может быть вычислена только для смоделированных событий путем сравнения с известными истинными параметрами трека. Для реальных событий ситуация сложнее. В тестовых измерениях в пучке мы можем не иметь внешних детекторов, которые определяли бы истинное положение регистрируемой частицы с точностью, намного лучшей точности испытуемого газо-

пиксельного детектора. Таким образом, у нас может не быть образца для сравнения. В этом случае предлагается использовать т.н. технику четно-нечетного трека. В данной процедуре предполагается определение параметров двух треков. В реконструкции одного из них принимает участие только половина из сработавших пикселей (скажем, лежащих в четных рядах матрицы), а при реконструкции второго трека – другая половина пикселей, лежащих в нечетных рядах. Оценкой точности является разность соответствующих углов или координат этих двух реконструированных треков, деленная на два. Сказанное иллюстрирует рисунок 25.

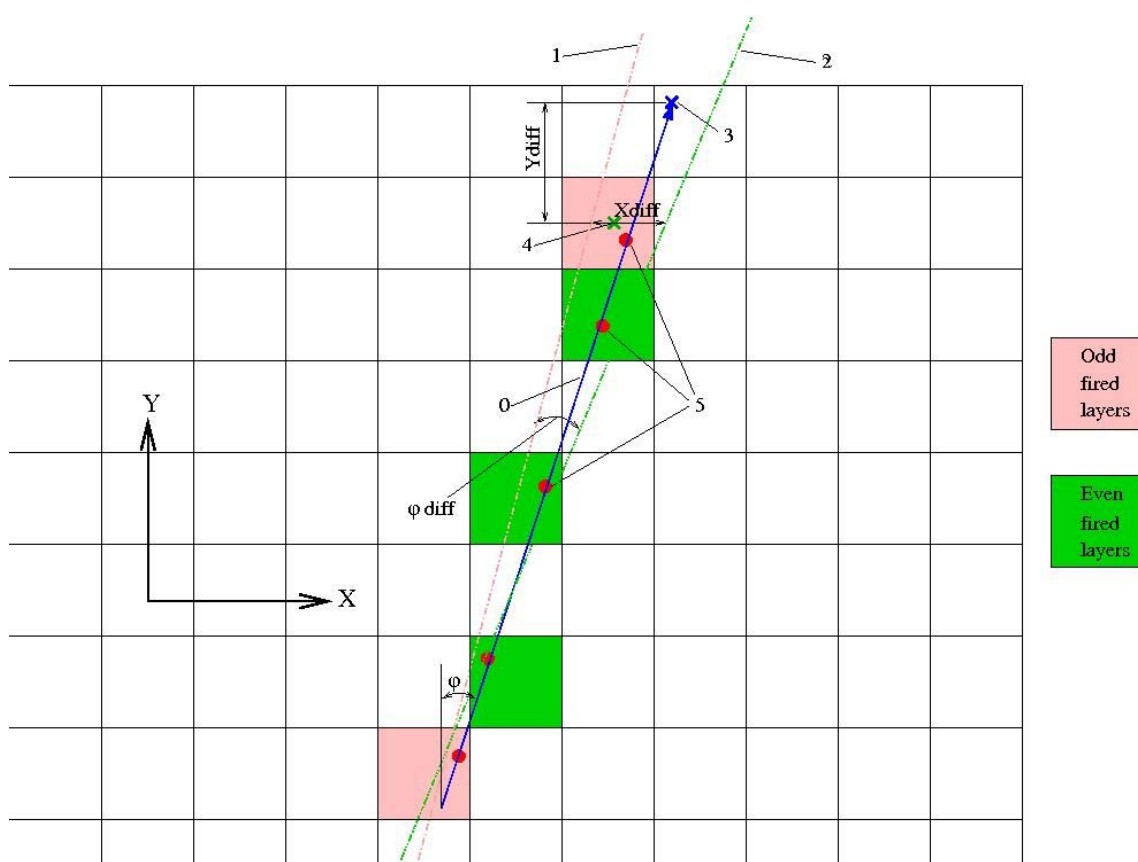


Рисунок 25 - Здесь обозначены: 0 – истинная проекция трека на плоскость чипа; 1 – трек, реконструированный по нечетным слоям пикселей; 2 – трек, реконструированный по четным слоям; 3 – точка пересечения истинного трека с чипом; 4 – центр последнего по треку «зажженного» пикселя; 5 – проекция кластеров ионизации на плоскость чипа; $\phi \text{ diff}$ – разность восстановленного азимутального угла «четного» и «нечетного» треков; $X \text{ diff}$ – разность восстановленной X координаты концов «четного» и «нечетного» треков; $Y \text{ diff}$ – разность истинной и восстановленной Y координаты конца трека.

Для оценки созданных процедур моделирования и реконструкции треков в газо-пиксельных детекторах было проведено сравнение смоделированных событий с данными, полученными в тестовых измерениях на пучке с одним из первых прототипов детектора в 2008 году. В этих измерениях размеры пикселей составляли 55x55 мкм, величина газового дрейфового промежутка – 16 мм, использовалась смесь 70%Xe+30%CO₂, порог срабатывания пикселя составлял 1,35 первичных электронов ионизации.

Одним из важнейших критериев для оценки правильности моделирования служат размеры и форма области, создаваемой сработавшими пикселями в плоскости чипа при прохождении через детектор заряженной частицы (см., например, выше рисунок 20 или 21, внизу слева). На рис. 26 приведено сравнение между экспериментом и МС моделированием «профилей» трека на плоскости чипа, т.е. расстояний от центров сработавших пикселей до реконструированной проекции трека. Как можно видеть, наблюдаемая форма «пятна» в плоскости чипа прекрасно описывается программой моделирования.

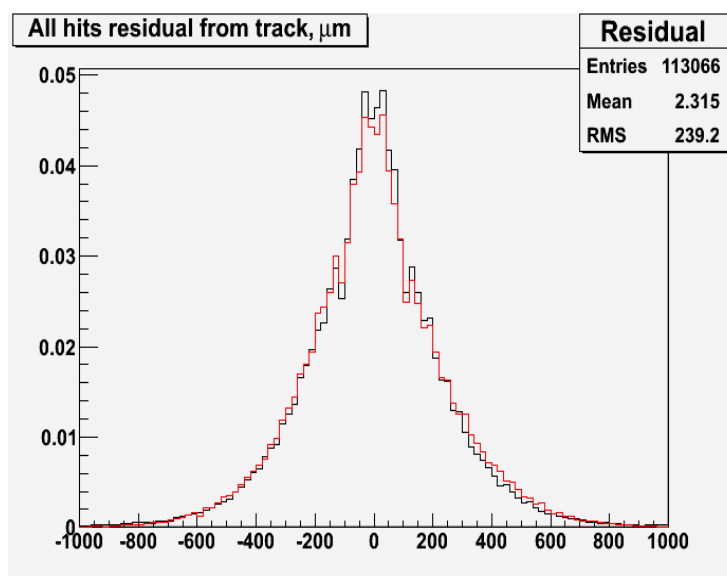


Рисунок 26 - Распределение расстояний (в мкм) между каждым из зажженных пикселей и реконструированным треком в плоскости чипа. Красная гистограмма – экспериментальные данные, черная – моделирование.

Количественным критерием согласия реальных и смоделированных данных могут служить координатные и угловые точности восстановления трека. В таблице 3 приведено сравнение для проекций треков в плоскости чипа. Здесь слова «полный» относятся к треку, восстановленному по всем сработавшим пикселям (рисунок 23 выше), а «четный-нечетный» – к двум трекам, реконструированным по четным и нечетным рядам пикселей (рисунок 25). Как можно видеть из таблицы 3, наблюдается прекрасное согласие между экспериментом и МС. Некоторое различие в точности восстановления угла глобального трека можно объяснить наличием в тестовых измерениях собственной угловой расходимости пучка, величина которой точно неизвестна.

Таблица 3. Сравнение экспериментальных и смоделированных координатных и угловых точностей восстановления проекции трека в плоскости чипа.

	Полный трек		Четный-нечетный трек	
	Координатная точность по X, мкм	Точность азимутального угла, градусы	Координатная точность по X, мкм	Точность азимутального угла, градусы
Экспериментальные данные	–	0,72	19,4	0,47
Смоделированные данные	21,6	0,50	20,3	0,46

В ближайшие планы по дальнейшему развитию программ моделирования и обработки данных с газо-пиксельных детекторов входит:

- разработка алгоритмов реконструкции треков при нахождении детектора и проходящей частицы в магнитном поле;

- разработка алгоритмов вычисления первичной ионизации, а также ионизации от кластеров переходного излучения в режиме съема информации с пикселей «время сигнала над порогом»;
- разработка процедур идентификации частиц в режиме работы в качестве детектора переходного излучения;
- обработка новых экспериментальных данных, которые будут получены в тестовых испытаниях на ускорителе и сравнение их с моделированием;
- моделирование различных вариантов исполнения газо-пиксельных детекторов (размеры матрицы и пикселей, используемый газ, режимы работы и т.д.) и анализ применимости таких вариантов в разных частях установки ATLAS.

3 Моделирование отклика жидкоаргоновых калориметров при различных светимостях и величинах напряжения на электродах

На данном этапе работы основной задачей являлось максимальное приближение результатов моделирования к реальным экспериментальным условиям.

В программу моделирования [12], созданную на основе пакета GEANT 4, было заложено экспериментально измеренное распределение количества протонов в сгустке (показано на рисунке 27), а также добавлен шум регистрирующей электроники. Были получены распределения энерговыделения в каждом из модулей калориметров на один протон (рисунок 28) и на сгусток (рисунок 29)

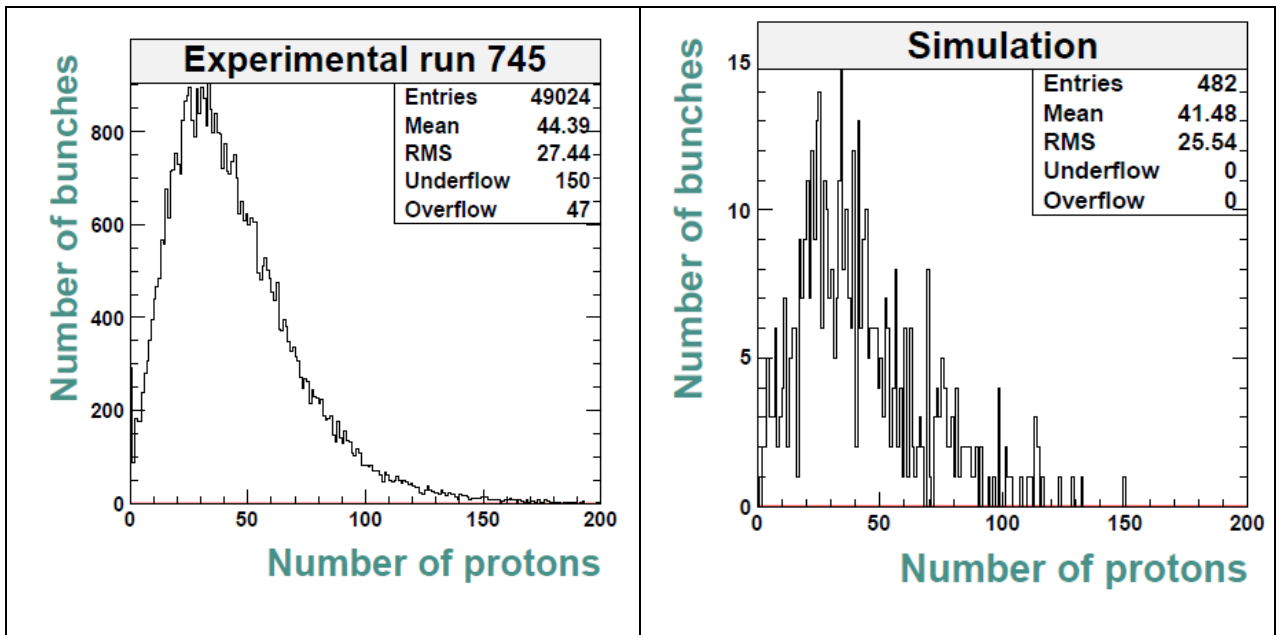


Рисунок 27 - а) Экспериментально измеренное распределение количества протонов в сгустке. б) Распределение, заложенное в программу моделирования.

Calorimeter signals in single proton events

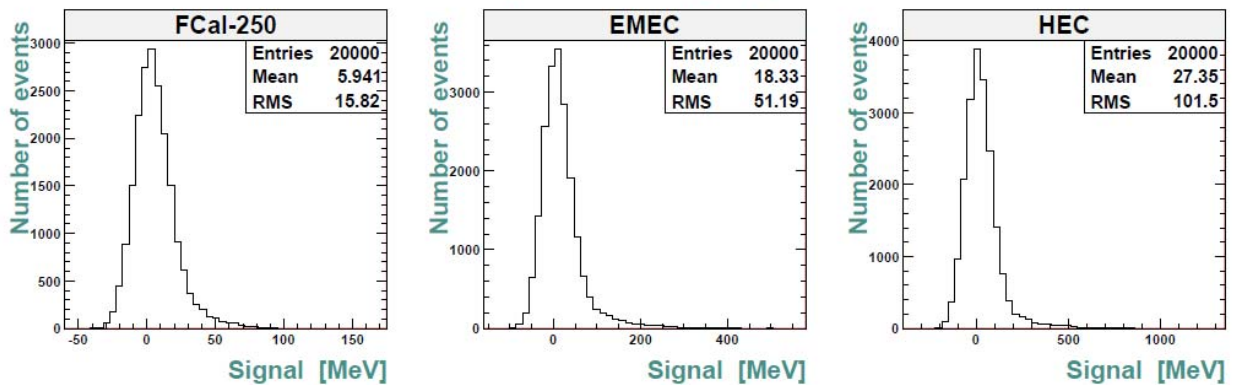


Рисунок 28 - Энерговыведение в модулях калориметров от одного протона.

Calorimeter signals in bunches

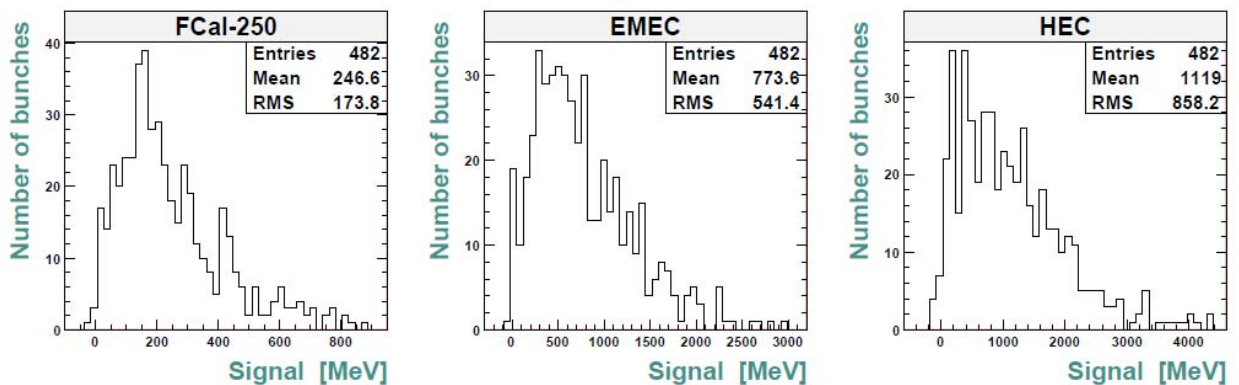
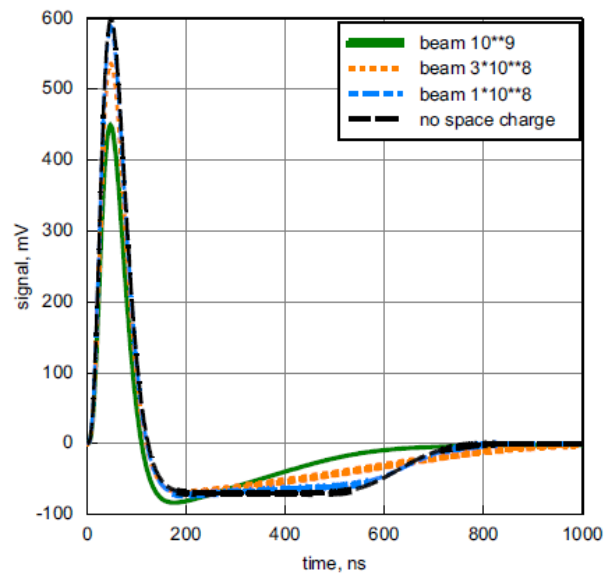


Рисунок 29 - Энерговыведение в модулях калориметров от отдельного сгустка.

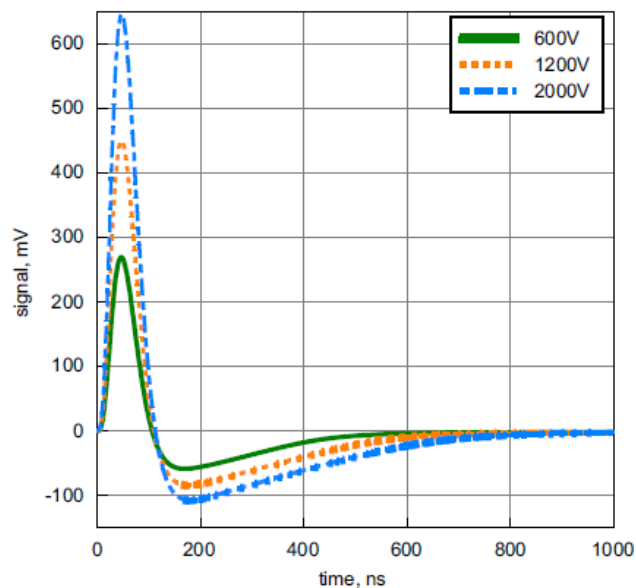
Для получения средней формы импульса с модулей калориметра использовалась модель, описанная в [13]. На рисунке 30а показаны результаты моделирования для модуля ЕМЕС (величина зазора 2 мм) при напряжении на электродах 1200 В и различной средней интенсивности протонного пучка.

При моделировании использовались те же параметры, что и на 1 этапе: подвижность положительных ионов $\mu_+ = 10^{-3} \text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$ и константа рекомбинации $k_r = 10^{-5} \text{ см}^3/\text{с}$. Поперечное распределение частиц подразумевалось равномерным.

На Рисунке 30б показаны результаты моделирования для напряжений на электродах 600, 1200 и 2000 В при интенсивности пучка 10^9 протонов/с. Из рисунков видно, что учёт распределения по количеству протонов в сгустке и шума электроники практически не влияет на среднюю форму импульса (см. отчёт по 1 этапу)



а)



б)

Рисунок 30 - а) Формы импульсов с модуля ЕМЕС при напряжении на электродах 1200 В и различных интенсивностях протонного пучка; б) формы импульсов с модуля ЕМЕС при интенсивности пучка 10^9 протонов/сек и различных напряжениях на электродах.

4 Измерение параметров сигнала с дрейфовой трубки в стриммерном режиме и моделирование отклика электроники детектора TRT

4.1 Измерения

Для выполнения моделирования регистрации сильноионизирующих частиц (Highly Ionizing Particle – HIP) детектором переходного излучения

(TRT) необходимо знать форму сигнала с дрейфовой трубки при прохождении через неё такой частицы. При прохождении через дрейфовую трубку НИР частица будет оставлять в ней очень большую ионизацию, которая приводит к появлению стримерного разряда. Из-за отсутствия удовлетворительного количественного описания возникновения и развития стримерного разряда невозможно смоделировать сигнал с дрейфовой трубки, хотя феноменологически стримера известны давно и существует целый ряд работ по их качественному изучению [14].

В связи с сказанным выше, возникает необходимость прямого измерения сигнала с дрейфовой трубки в стримерном режиме. Очевидно, что такие измерения могут быть проведены только для существующих частиц, оставляющих большую ионизацию, как, например, α частицы или фотоны и электроны, для которых стримерный режим работы дрейфовой трубки может быть достигнут путем повышения рабочего напряжения.

Была проведена серия измерений сигнала с дрейфовой трубки в стримерном и пропорциональном режиме для разных источников ионизации: ^{90}Sr , ^{55}Fe и ^{241}Am . При проведении измерений использовалась газовая смесь $\text{Xe}/\text{CO}_2/\text{O}_2$ (70/27/3), аналогичная рабочей газовой смеси детектора TRT. Эти три радиоактивных источника характеризуются различными ионизационными свойствами. ^{90}Sr является источником электронов с максимальной энергией 2,28 МэВ, которые при прохождении через детектор оставляют ионизированный трек с плотностью ионизации ~ 250 частиц/см для рабочей смеси $\text{Xe}/\text{CO}_2/\text{O}_2$ (70/27/3). ^{55}Fe – источник рентгеновского излучения с энергией фотонов 5,89 кэВ. Поглощение таких фотонов происходит локально в точке. При этом, образуется область ионизации размером ~ 200 мкм, содержащая ~ 400 электронов ионизации. ^{241}Am – источник \square -частиц с энергией 5,64 МэВ. Ионизация от такого источника локальна и создаёт >1000 первичных электронов. Таким образом, используемые источники создают области ионизации с различной плотностью первичных электронов, что позволяет сделать вывод о зависимости стримерного сигнала с дрейфовой

трубки от начальной ионизации и тем самым аппроксимировать параметры стримера для НР.

Измерения проводились с помощью цифрового осциллографа LeCroy 64Xs-A. Сигнал с дрейфовой трубки подавался прямо на вход осциллографа, где оцифровывался и записывался для возможной дальнейшей обработки. На рисунке 31 приведены осциллограммы трёх типов сигнала: пропорциональный, стримерный сигнал первой моды и стримерный сигнал второй моды. Вторая мода стримерного сигнала возникает, когда количество электронов, вырванных из материала катода за счёт фотоэффекта фотонами произведёнными в лавине, становится достаточно большим для развития вторичной лавины (мультистримерный режим).

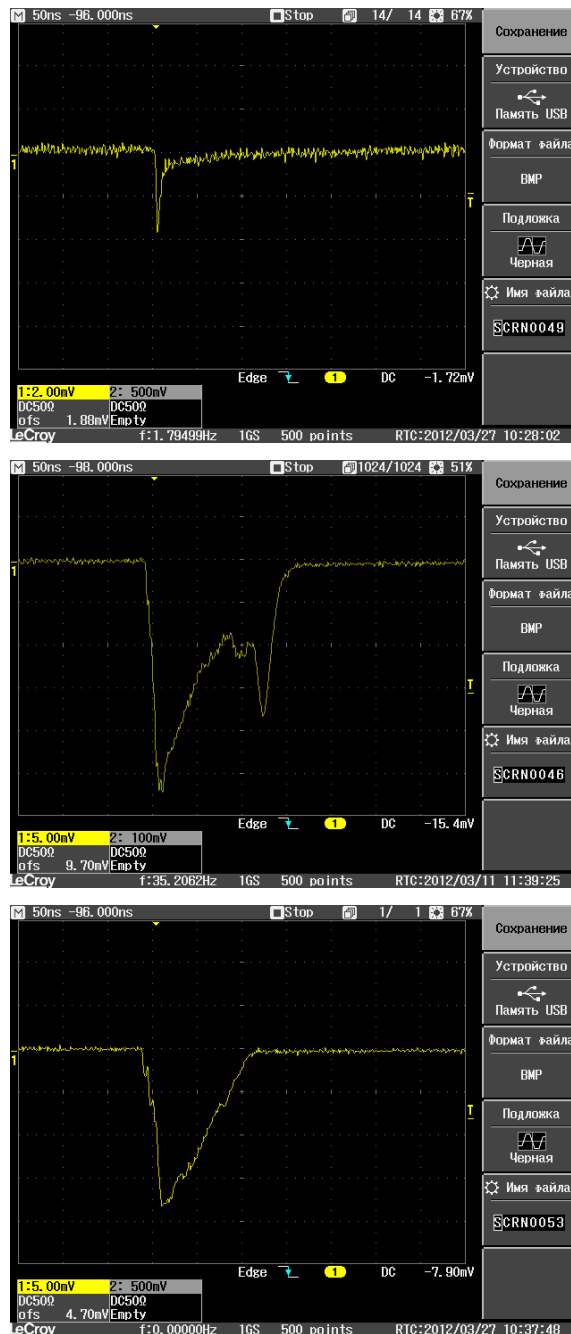


Рисунок 31 - Осциллограммы различных типов сигнала с дрейфовой трубки: пропорциональный режим (сверху), первая мода стримерного режима (в центре) и вторая мода стримерного режима (внизу).

Подобный эффект описан, например, в работе [15], а так же наблюдался в работе [16] и многих других. На рисунке 32 приведены стримерные сигналы первой моды с дрейфовой трубки для различных источников ионизации.

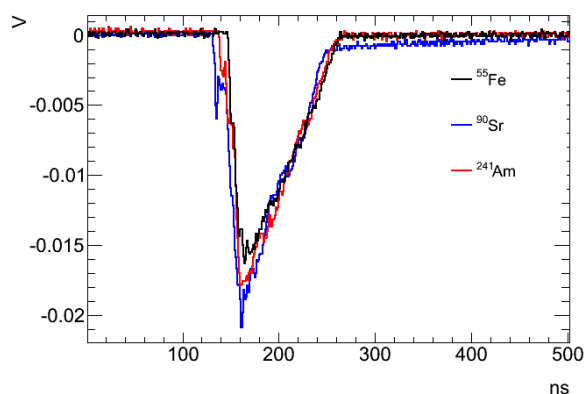


Рисунок 32 - Оциллограммы сигнала с дрейфовой трубки при её облучении различными радиоактивными источниками.

Видно, что временные характеристики сигнала не зависят от источника ионизации. Это дает основания предполагать, что временные характеристики сигнала от сильноионизирующих частиц будут такими же.

дрейфовых трубок в придетекторной электронике детектора TRT. Для проверки такой симуляции, необходимо провести измерения отклика электроники при наличии стримерного сигнала в дрейфовой трубке. С этой целью была проведена серия измерений с микросхемой ASDBLR, на вход которой подавался сигнал с дрейфовой трубки облучаемой источником ^{241}Am .

При этом форма и амплитуда входного сигнала контролировались с помощью активного пробника. Параметры пробника – 0,9 пФ/1 Мом/1 ГГц. Столь малая собственная ёмкость пробника позволяла проводить контроль входного сигнала без его искажения.

Измерения проводились для входных сигналов различной амплитуды. Схема измерений приведена на рисунке 33.

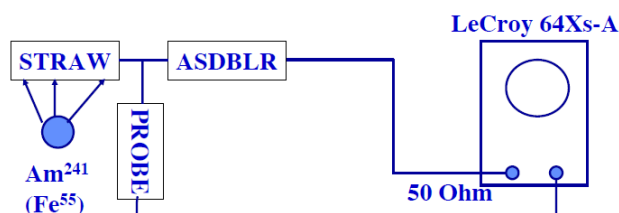


Рисунок 33 - Схема измерений формы сигнала с микросхемы ASDBLR подключенной к дрейфовой трубке и облучаемой радиоактивным источником.

Измеренные и оцифрованные сигналы с дрейфовой трубки могут быть использованы для моделирования с помощью программного обеспечения HSPICE формы сигнала с выхода микросхемы ASDBLR (Amplifier Discriminator Base Line Restore), которая используется для формирования сигналов с На рисунке 34 приведены осциллограммы выходных сигналов с микросхемы ASDBLR для сигналов различной амплитуды в пропорциональном режиме от источника ^{241}Am .

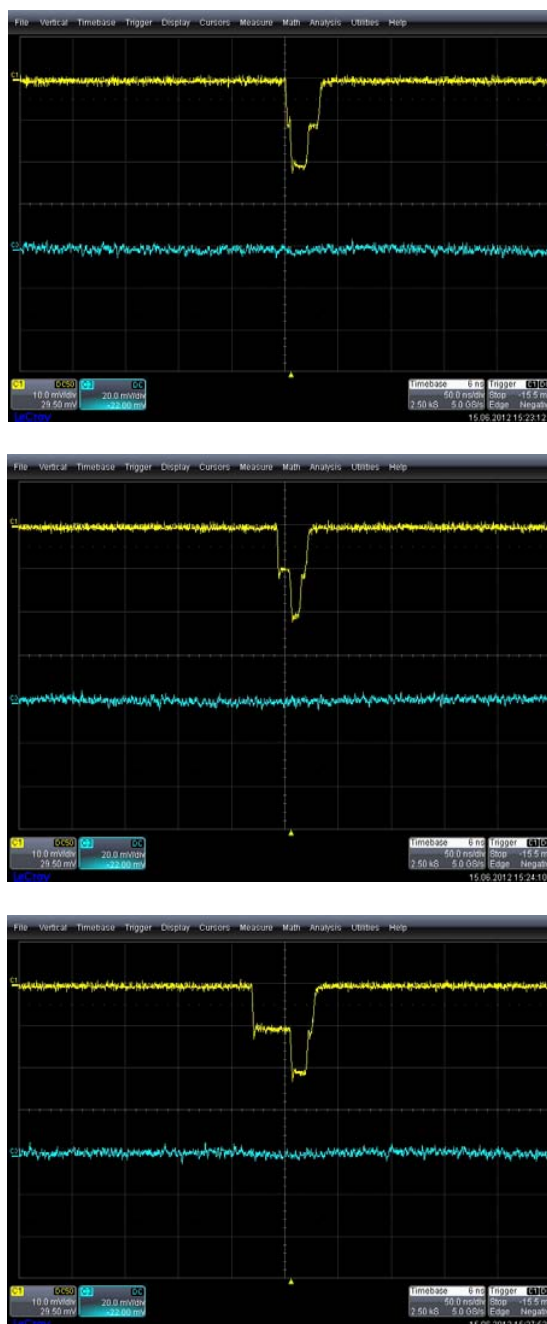


Рисунок 34 - Осциллограммы сигналов с выхода микросхемы ASDBLR для сигналов различной амплитуды в пропорциональном режиме от источника ^{241}Am .

Верхний луч представляет выходной сигнал с вертикальной развёрткой 10 мВ/дел. Нижний луч – входной сигнал с вертикальной развёрткой 20 мВ/дел. Временная развертка – 50 нсек/дел. На рисунке 35 представлены выходные и входные сигналы в стримерном режиме.



Рисунок 35. Осциллограммы сигналов с выхода микросхемы ASDBLR для сигналов различной амплитуды в стримерном режиме от источника ^{241}Am . Верхняя и центральная осциллограммы соответствуют первой стримерной моде, нижняя – второй.

Как и в случае пропорционального сигнала, верхний луч представляет выходной сигнал, а нижний луч – входной. Временная развертка составляла 100 нсек/дел, вертикальная развертка для выходного сигнала была та же, что и на предыдущем рисунке – 10 мВ/дел, а вертикальная развёртка для входного сигнала – 200 мВ/дел для верхней и центральной осциллограмм и 500 мВ/дел для нижней.

В ходе измерений было зафиксировано, что в пропорциональном режиме при изменении амплитуды входного сигнала в широком диапазоне длительность выходного сигнала с дискриминатора высокого порога (Time over High Threshold – ТоНТ) варьируется с амплитудой входного сигнала, но не превышает 50 нсек. В случае же стримерного сигнала, выходной сигнал с дискриминатора высокого порога всегда состоит из короткого (10÷15 нсек) первого импульса и длинного последующего импульса. Время превышения над высоким порогом ТоНТ второго импульса практически не меняется при изменении амплитуды сигнала в широком диапазоне и составляет ~60 нсек. Ограничение на длительность превышения над порогом происходит из-за наличия в микросхеме восстановителя постоянной составляющей.

Были проведены измерения зависимости длительности импульса времени превышения сигнала над высоким порогом с выхода микросхемы ASDBLR от величины высокого порога для стримерного режима работы дрейфовой трубки. Как видно из рисунка 36 длительность сигнала превышения над высоким порогом обратно пропорциональна величине высокого порога.

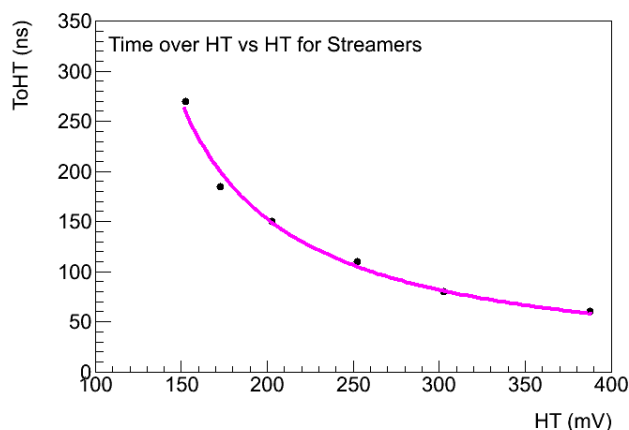


Рисунок 36 - Зависимость длительности импульса времени превышения сигнала над высоким порогом с выхода микросхемы ASDBLR от величины высокого порога для стримерного режима работы дрейфовой трубки.

Проведенные измерения показали, что выходные сигналы с микросхемы ASDBLR для стримерного сигнала существенно превышают по длительности сигналы в пропорциональном режиме и могут быть

использованы для разделения пропорционального и стримерного режимов работы дрейфовой трубки. Кроме того, выходные сигналы для стримера всегда имеют короткий первый импульс. Такая особенность формы сигналов может быть использована для разделения стримерного и пропорционального режимов работы дрейфовых трубок.

4.2 Моделирование отклика электроники TRT

Измеренный сигнал с дрейфовой трубки, работающей в стримерном режиме и облучаемой альфа частицами, был использован для моделирования выходного сигнала с микросхемы ASDBLR с помощью программного обеспечения Synopsys HSPICE [17]. Используя данное программное обеспечение, можно провести изучение работы микросхемы ASDBLR в различных частях схемы формирования сигнала. Следующие сигналы могут быть получены при моделировании работы микросхемы ASDBLR в пакете HSPICE как функция времени:

- «PRE-AMP output» сигнал на выходе предусилителя (используется на входе формирователя);
- «SHAPER output» сигнал на выходе формирователя (используется на входе восстановителя постоянной составляющей);
- «BLR outout» сигнал на выходе восстановителя постоянной составляющей (используется на входе дискриминаторов высокого и низкого порогов);
- сигналы на входе и выходе дискриминаторов высокого и низкого порогов;
- «TERNARY output» сигнал на выходе (ternary означает три состояния Low/High/None) микросхемы ASDBLR.

На рисунке 37 показаны результаты моделирования работы микросхемы ASDBLR на разных стадиях формирования сигнала.

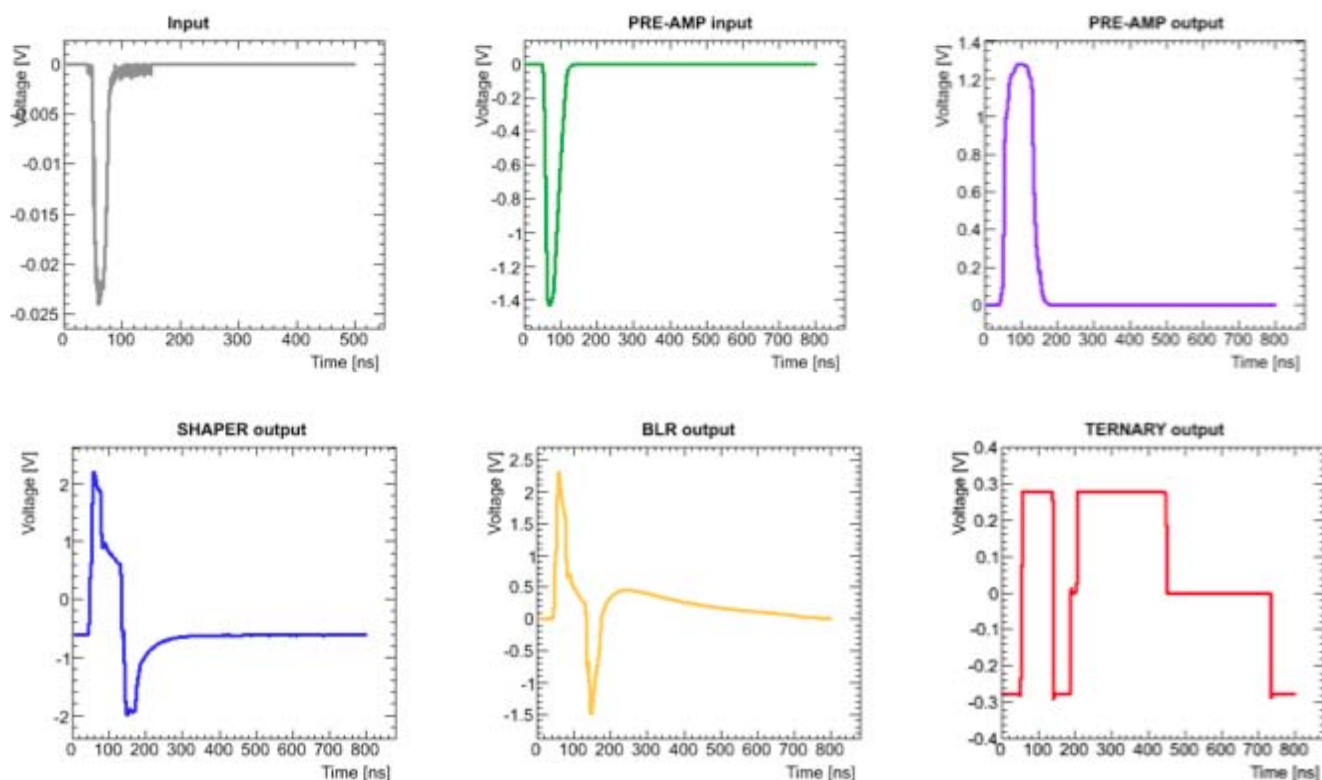


Рисунок 37 - Результаты моделирования работы микросхемы ASDBLR в пакете HSPICE на разных стадиях формирования сигнала. В качестве входного сигнала использовался измеренный сигнал с дрейфовой трубки работающей в стримерном режиме.

Длительность стримерного сигнала на входе микросхемы ASDBLR намного превышает длительность сигнала в пропорциональной моде. Так как на вход формирователя и восстановителя постоянной составляющей поступают биполярные сигналы, на выходе восстановителя постоянной составляющей также наблюдается сигнал отрицательной амплитуды при $t \sim 120$ нсек, который переходит в положительный сигнал при $t \sim 180$ нсек. Как следствие, на выходе микросхемы ASDBLR «TERNARY output», наблюдается первый импульс от срабатывания высокого порога при $50 < t < 150$ нсек, затем отсутствие сигнала и, второй импульс от срабатывания высокого порога. Ширина первого импульса составляет ~ 85 нсек, а второго ~ 200 нсек.

Проведенное моделирование работы микросхемы ASDBLR, с использованием программного обеспечения HSPICE, подтверждает

качественно и количественно результаты прямых измерений формы сигнала на выходе микросхемы ASDBLR, подключенной к дрейфовой трубке работающей в стримерном режиме.

5 Разработка технологии изготовления детекторов для «малых колес».

В ГНЦ ИФВЭ изготовлены экспериментальные образцы усовершенствованных прецизионных дрейфовых трубок с полеформирующими электродами в количестве 10 шт. Их сборка выполнена с максимально возможным использованием оборудования (сборочный стапель, показан на рисунке 38) и технологий сборки и пооперационного контроля обычных дрейфовых трубок. Все это хорошо освоено персоналом при производстве МДТ трубок АТЛАСа, а оборудование поддерживается в рабочем состоянии.



Рисунок 38 - Участок сборки дрейфовых трубок

При разработке технологии изготовления трубок с полеформирующими электродами заложена возможность для экспериментирования с разным числом полеформирующих проволок (2, 4 или 6). Кроме дополнительных проволок в конструкции трубки появляются 2 шайбы, изготовленные из диэлектрического материала (NORYL GFN3), аналогичный материал использован в торцевых элементах стандартных МДТ. Для экспериментальных образцов дрейфовых трубок эти шайбы выточены на станке, но при массовом производстве будут прессоваться на участке горячего литья под давлением в ГНЦ ИФВЭ.

Полеформирующие проволоки крепятся в шайбах, установленных на сборочном стапеле для дрейфовых трубок (см. рисунок 39).

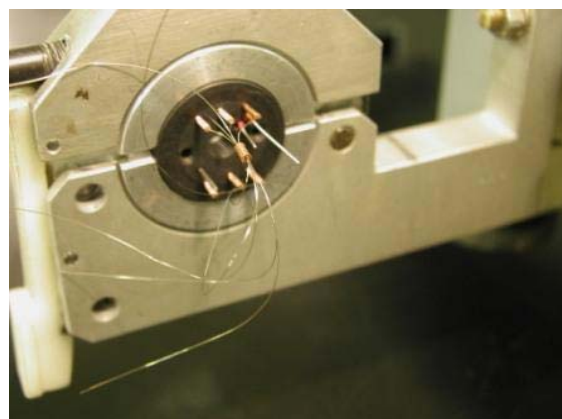


Рисунок 39 - Полеформирующие проволоки растянуты на стапеле (слева) и их крепление в диэлектрической шайбе (справа).

Расстояние между шайбами выбирается в зависимости от требуемой длины трубки, на рисунке 39 показан вариант для трубки длиной 1 м.

На рисунке 40 показаны приспособления для обжатия концевых элементов трубок после закрепления полеформирующих проволок.

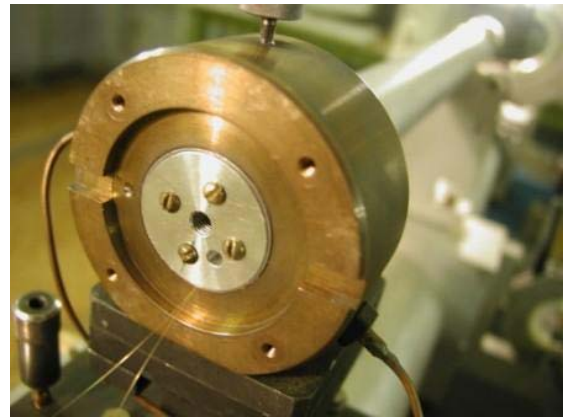
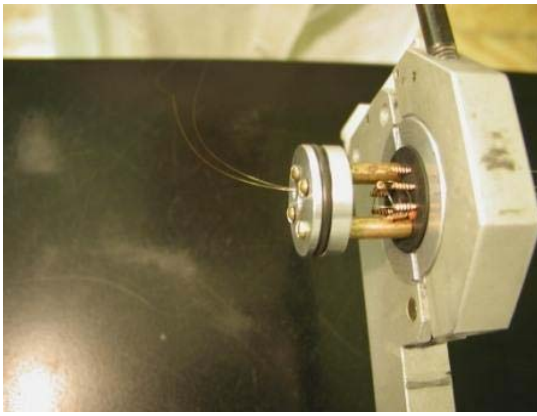


Рисунок 40 - Слева: проволоки закреплены, выполнены электрические соединения; справа – трубка вставлена в газовый кримплер для обжатия уплотняющих прокладок и крепления шайбы с полеформирующими проволоками.

После крепления торцевых элементов и шайбы методом обжатия трубы газом высокого давления (170 атм) натягивается и крепится сигнальная проволока.

После выполнения всех этих операций дрейфовая трубка с полеформирующими проволоками по внешнему виду выглядит как обычная трубка АТЛАСа (см. рисунок 41), небольшое отличие – мертвая зона между торцевым элементом и шайбой, где крепятся полеформирующие проволоки.

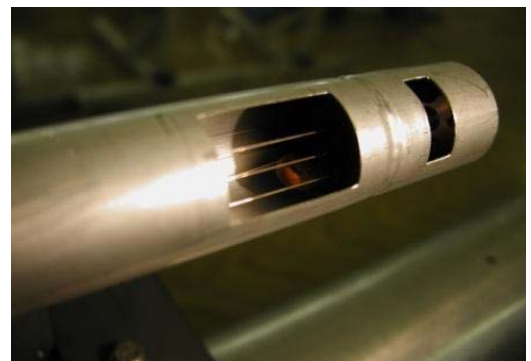


Рисунок 41 - Внешний вид торца трубки с полеформирующими проволоками, справа – образец трубки с вырезанными окнами для демонстрации крепления и электрических соединений проволок.

По описанной здесь технологии изготовлена опытная партия прецизионных дрейфовых трубок в количестве 10 шт. Их испытания в соответствии с Календарным планом будут выполнены на 3 этапе настоящего Государственного контракта.

Технологический регламент работ представлен в приложении А.

6 Изготовление тестовых образцов из перспективных материалов для высоковольтных (HV) тестов.

Послойная структура тестовых образцов описана в отчете по работам 1-го этапа в рамках настоящего договора. Линейные размеры каждого образца 100мм X 100мм, характерная толщина 410 – 470 мкм (в зависимости от вида материала). Исследована технология изготовления тестовых образцов, обеспечивающая дополнительную защиту поверхности перспективных материалов от воздействия ультрафиолетового излучения в процессе проведения планируемых тестов.

Всего на втором этапе изготовлено 120 тестовых образцов по 30 единиц для каждого вида материала:

- по 12 образцов для электропрочностных (высоковольтных - HV) тестов 2013 года;
- по 12 образцов для радиочастотных (RF) тестов;
- по 6 образцов для тестов на стойкость к интенсивному излучению ультрафиолетового диапазона планируемых в 2014 -2015 годах.

Техническое задание на изготовление образцов и Акт приёмки приведены в приложениях Б и В.

7 Создание стенда для проведения тестовых радиационных исследований

В ходе подготовки к работам по изучению характеристик калориметра на пучке нейтронов реактора ИБР-2М нашими был создан стенд для тестовых измерений параметров отклика алмазных детекторов при облучении их гамма квантами от радиоактивного источника Sr-90. На рисунке 42 представлена фотография стенда и его основных узлов.



Рисунок 42 - Лабораторный тестовый стенд - прототип измерительного стенда на ИБР-2м.

В процессе долговременных испытаний облучаемые гамма-квантами образцы детекторов были подключены к источнику высокого напряжения +300V, основные параметры измерялись каждые 5 минут, при этом проводился on-line анализ стабильности измерений. Некоторые результаты (ток утечки и амплитуда сигнала) представлены на рисунке 43.

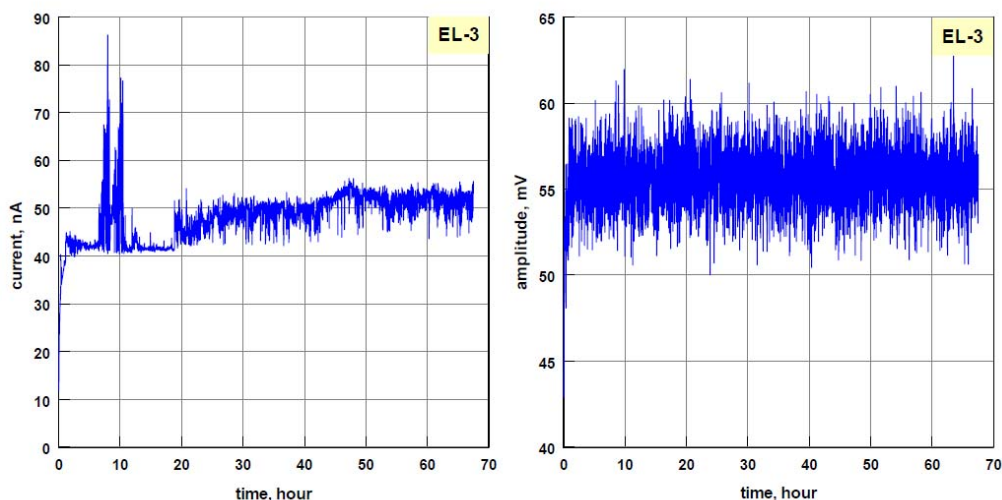


Рисунок 43 - Поведение со временем теневого тока (слева) и амплитуды сигнала (справа) алмазного детектора в процессе гамма-облучения.

Видно, что величина теневого тока для всех образцов стабильна в пределах нескольких наноампер. Разброс амплитуды сигнала оказался также небольшим – около 5 милливольт. Очевидно, для заключения о применимости детекторов в эксперименте АТЛАС на БАК требуется продолжение подобных испытаний в пучках быстрых нейтронов.

После введения в эксплуатацию облучающей установки на канале №3 данный стенд будет использован в экспериментах с алмазными детекторами на реакторе ИБР-2м.

Акт приёмки стенда приведён в приложении Г.

8 Разработка электроники для регистрации сигналов с макетов жидкоаргоновых калориметров (выполнено иностранным партнёром)

Планируется использовать регистрирующую электронику, очень близкую к уже использованной на тестовом пучке в ЦЕРН [18]. В отличие от установки АТЛАС, предусилители будут устанавливаться не в криостате, а на отдельной плате предусилителей (FEB), расположенной вне криостата. На рисунке 44 показана блок-схема регистрирующей электроники, включая цепь калибровки.

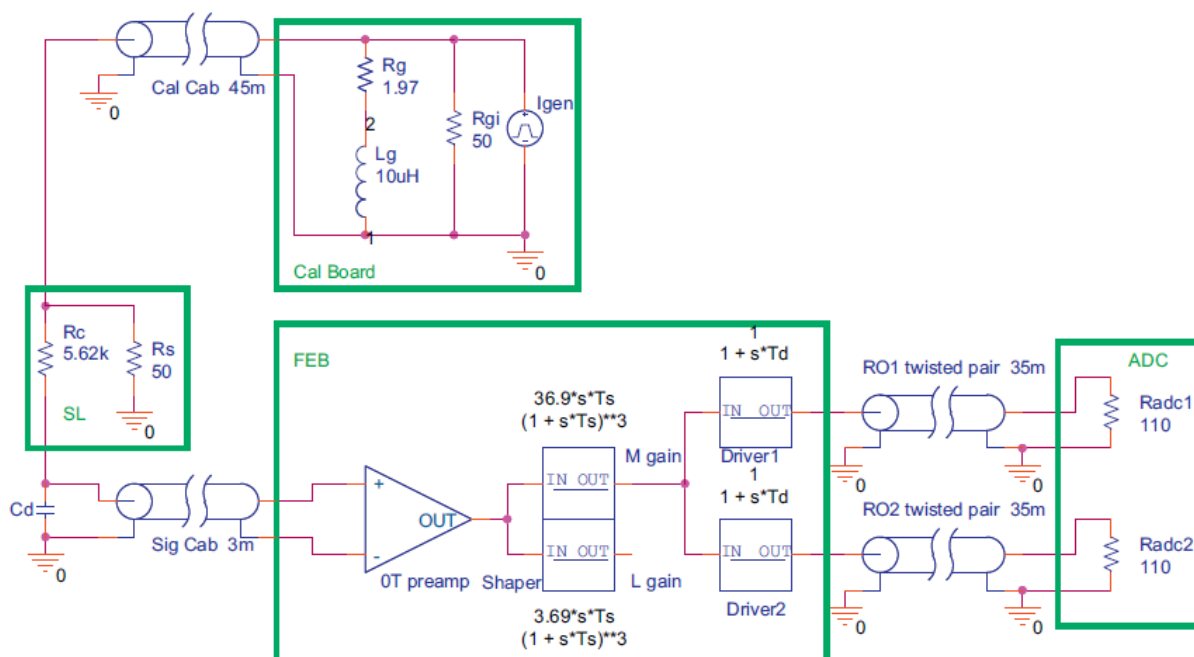


Рисунок 44 - Блок-схема регистрирующей электроники.

Сигналы с калориметров (Cd) по 3-метровым кабелям (50 Ом) поступают на предусилители (FEB), расположенные рядом с детектором. В FEB сигналы проходят через предусилители, формирователи и выходной драйвер. Для каждого входного сигнала предусмотрено два коэффициента усиления (“низкое” и “среднее”) с соотношением $\sim 10,5$. Выходы с каждым из усилений расщепляются на два и передаются по скрученным парам длиной 35 м на АЦП, находящиеся в экспериментальном домике. На входе АЦП один из расщеплённых сигналов задерживается на 12,5 нс. Частота дискретизации АЦП – 40 МГц. Таким образом, эффективная частота дискретизации для каждого из усилений – 80 МГц.

Для того, чтобы перекрыть весь диапазон интенсивности пучка, на FEB могут устанавливаться аттенюаторы. Полное число каналов АЦП – 64 (по 4 входных канала для ЕМЕС и НЕС и 8 – для FCAL, каждый из которых измеряется с двумя коэффициентами усиления). Измеренный уровень шума – 2-3 отсчёта АЦП. Для НЕС такой уровень соответствует току 80 нА, что чуть меньше сигнала от одной минимально ионизирующей частицы.

На рисунке 45 сравниваются формы сигналов от калибровочного импульса для каналов с малыми и средним усилениями. После выравнивания амплитуды они практически совпадают.

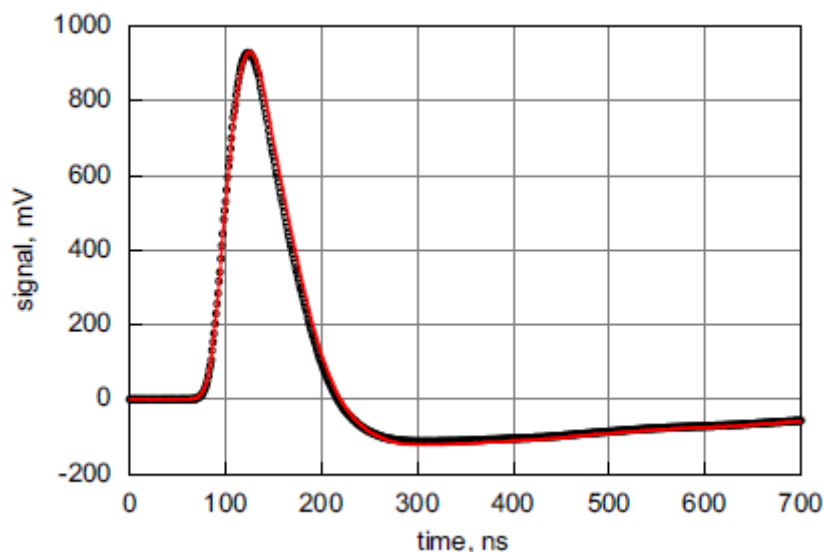


Рисунок 45 - Сравнение формы сигналов для выходов с малым и средним усилением (калибровка).

Вся цепь регистрирующей электроники может быть описана с помощью модельных функций, также показанных на рисунке 44. На рисунке 46 сверху показаны измеренный отклик от калибровочного импульса в одном из каналов НЕС и отклик, полученный в результате применения модельной функции. В нижней части рисунка изображена разность между ними. Видно, что соответствие между измеренным смоделированным импульсами очень хорошее – разница не превышает 3 %.

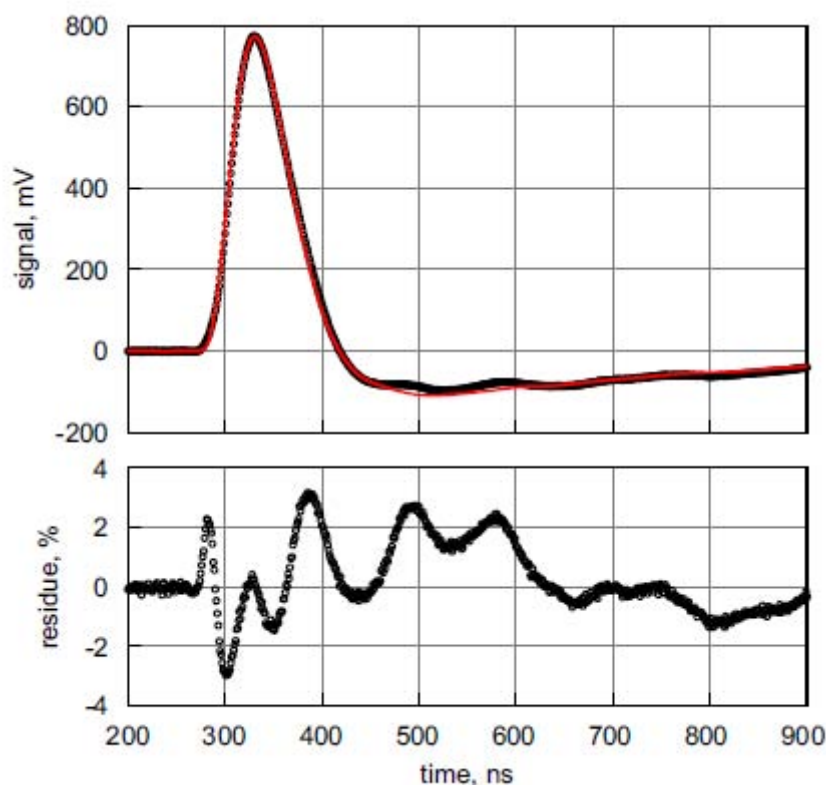


Рисунок 46 - Вверху – измеренный отклик от калибровочного импульса в одном из каналов НЕС (чёрная линия) и отклик, полученный в результате применения модели (красная линия). Внизу – разность между ними.

- 9 Разработка конструкции детектирующих элементов трековых детекторов для комплектации новых «малых колес» мюонного спектрометра АТЛАС (выполнено иностранным партнёром)

Для обновления трековой системы «малого колеса» рассматривались три варианта трековых приборов: а) дрейфовые трубки уменьшенного (15 мм) диаметра [19], б) микростриповые камеры, разработанные в рамках RD51 [20] и в) вариант дрейфовых трубок с полеформирующими электродами. Последний вариант усовершенствованных прецизионных дрейфовых трубок предложен в работах [21,22] и развит [23] в ИФВЭ для модификации мюонного спектрометра АТЛАС при повышении светимости БАК и для модификации «малого колеса».

Недостаток обычной трубки связан с радиальным распределением электрического поля, которое быстро падает при удалении от сигнальной проволоки ($\sim 1/r$). Введение дополнительных проволок, число которых должно быть четным, позволяет модифицировать электрическое поле, делая его похожим на электрическое поле планарных дрейфовых камер (рисунок 47).

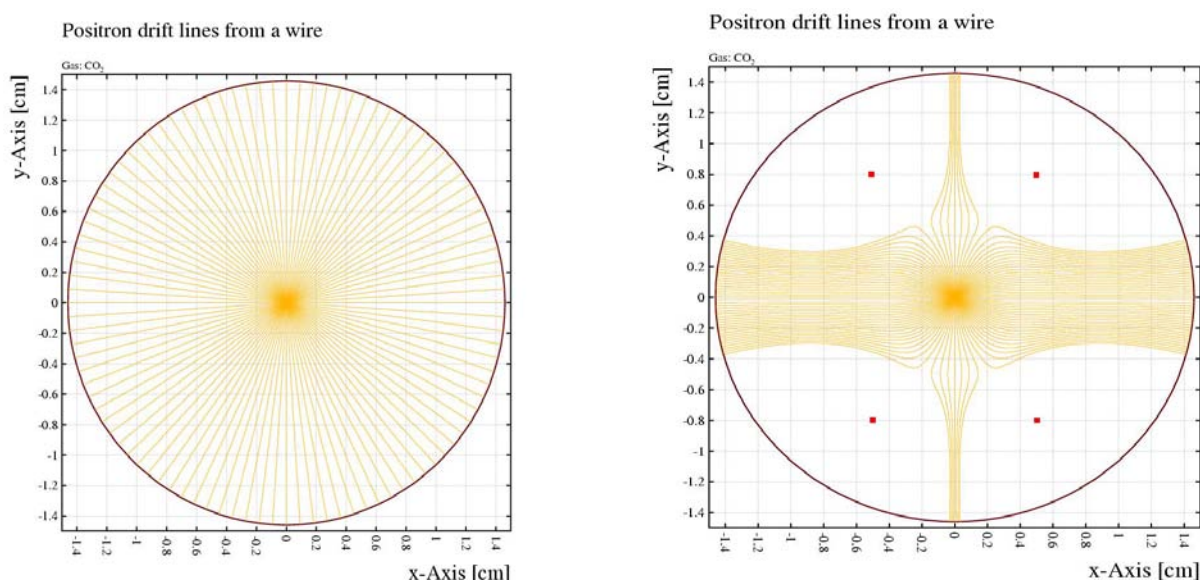
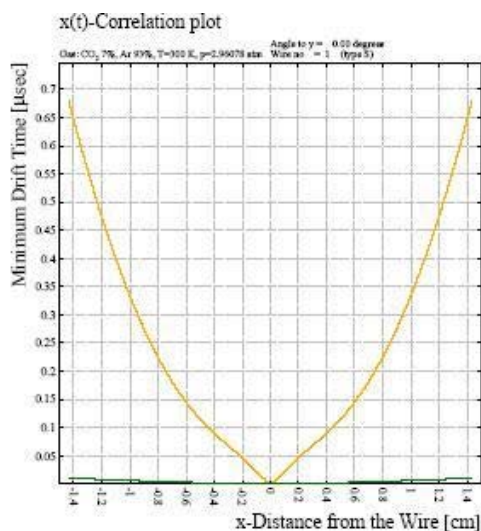
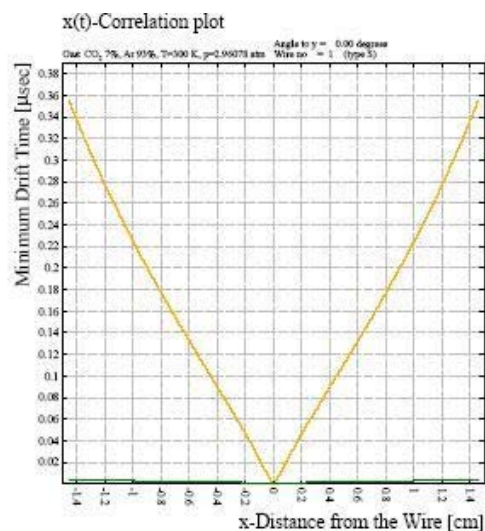


Рисунок 47 - Линии дрейфа электронов в обычной дрейфовой трубке (слева) и в трубке с 4-мя полеформирующими проволоками (справа, красные точки – дополнительные, полеформирующие проволоки).

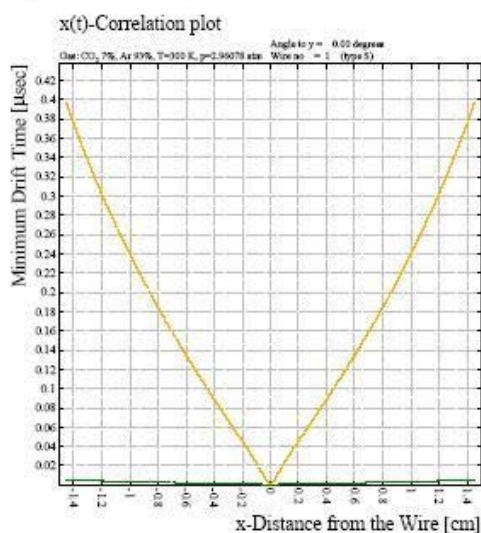
При этом напряженность электрического поля у стенок трубки существенно повышается по сравнению с обычной дрейфовой трубкой и, как следствие, возрастает скорость дрейфа электронов, а соотношение $x(t)$ становится линейным. На рисунке 48 показано соотношение $x(t)$ для стандартной 30-мм дрейфовой трубки АТЛАСа (а) и для трубки с 4-мя дополнительными полеформирующими проволоками (г). В трубке с полеформирующими проволоками время-координата близко к линейному, одновременно почти в 2 раза уменьшилось максимальное время дрейфа.



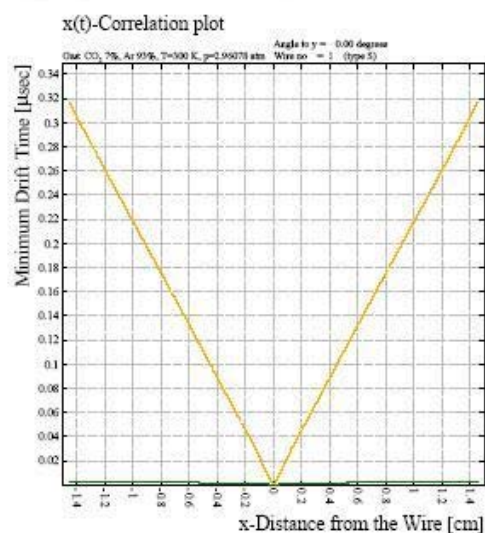
a)



б)



в)



г)

Рисунок 48 - Соотношение координата-время $x(t)$ в обычной дрейфовой трубке (а) и в трубке с 2-мя (б,в) и 4-мя полеформирующими проволоками (г)

По консервативной оценке загрузочная способность трубки с 4-мя полеформирующими проволоками в ~ 7 раз выше по сравнению с обычной трубкой за счет уменьшения максимального времени дрейфа и объема трубки, «видимого» сигнальной проволокой. На основании этого, усовершенствованная прецизионная дрейфовая трубка - трубка с 4-мя полеформирующими проволоками предложена коллораации для усовершенствования мюонного спектрометра АТЛАС для работ при

повышении светимости БАК и, в частности, для модификации «малого колеса». Сигналы с обычной и модифицированной трубок показаны на рисунке 49.

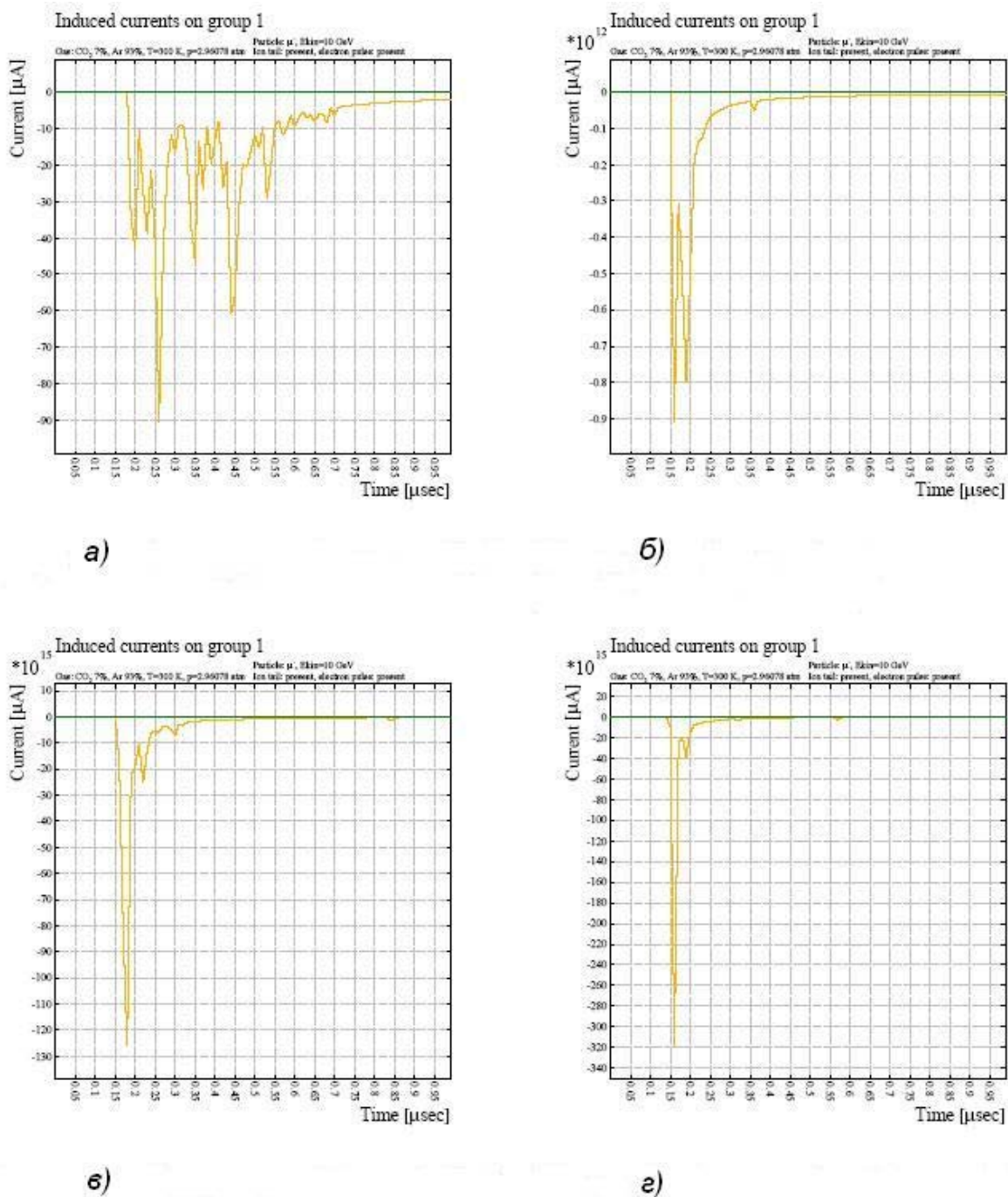


Рисунок 49 - Моделированный токовый сигнал для обычной дрейфовой трубки (а) и трубки с 2-мя (б,в) и 4-мя полеформирующими проволоками (г)

При разработке конструкции дрейфовых трубок с полеформирующими электродами введены следующие ограничения:

- диаметр трубки остается неизменным (30 мм);
- число полеформирующих проволок – 4, их потенциал такой же, как у сигнальной проволоки;
- торцевой элемент (end plug) трубки не изменяется, соответственно все внешние подключения трубки сохраняются;
- газовая смесь и коэффициент газового усиления ($2 \cdot 10^4$) не изменяется;
- рабочее напряжение не выше 4.5 кВ.

Показано [23], что при диаметре сигнальной проволоки 20-35 мкм, эти условия могут быть выполнены.

Выигрыш по сравнению с другими вариантами:

- все «внешние» геометрические параметры МДТ камеры остаются неизменными;
- это позволяет использовать оборудование, технологии сборки стандартных МДТ камер АТЛАСа;
- полностью сохраняется система оптико-электронного мониторинга (alignment), регистрирующая электроника, DCS и все другие сервисные системы;
- сохраняется возможность использования рамы старого колеса.

10 Разработка программного обеспечения AGIS (выполнено иностранным партнёром)

10.1 Проектирование и разработка пользовательского интерфейса для контроля и управления данными информационной системы

Информационная система AGIS отвечает за централизованное хранение конфигурационных параметров, различных статических и динамических данных, необходимых для настройки, управления и функционирования

систем и сервисов распределенной грид-сети эксперимента АТЛАС. Для осуществления контроля и управления этими данными информационная система предоставляет пользовательские WEB и CLI (Command Line Interface) интерфейсы, а также интерфейс прикладного программирования API (Application Programming Interface).

WEB интерфейс представляет собой совокупность средств, при помощи которых пользователь взаимодействует с AGIS через WEB браузер. Одним из важных требований, предъявляемых к WEB интерфейсу, является функционал для проверки данных, введенных пользователем. Данный уровень защиты препятствует вводу в систему заведомо неправильных данных, как на уровне соответствия типов, так и на уровне допустимых значений определенного параметра. Например, при регистрации новой АТЛАС службы (сервиса) в системе, необходимо предоставить строго определенный набор входных данных, при этом идентификатор ресурса должен иметь строго предопределенный формат, а грид-узел, для которого создается сервис, должен быть уже зарегистрирован в базе информационной системы.

В ходе работ был спроектирован и реализован WEB интерфейс для информационной системы, технически включающий в себя набор HTML форм для регистрации новых объектов в системе, например, таких как грид-узел, сервис, вычислительный ресурс и ресурс хранения данных, а также других объектов системы. Кроме этого WEB интерфейс позволяет визуализировать содержимое базы данных информационной системы в удобном для пользователя виде. На стороне сервера, в качестве языка программирования используется скриптовый язык python и веб-фреймворк Django. В возможности пользовательского интерфейса входят также функциональности по обновлению данных уже существующих объектов в системе.

Разработанный CLI интерфейс преимущественно используется для быстрого получения и отображения данных в текстовом формате при работе пользователя в командной строке Unix-системы.

10.2 Выбор и разработка механизмов аутентификации (контроля доступа) пользователей необходимых для редактирования и обновления данных информационной системы

Механизмы авторизации и аутентификации выполняют задачу по защите данных и работоспособности системы от несанкционированного доступа. В AGIS данные механизмы используются для разграничения доступа по редактированию и обновлению данных информационной системы.

В сфере информационных технологий существует несколько способов проверок подлинности пользователя, начиная от классической процедуры сравнения введенной пользователем текстовой информации (пароля) с соответствующим значением (хешем) в базе данных системы, или использования системы электронных сертификатов и заканчивая системой одноразовых кодов для доступа к определенной части информации.

При разработке механизмов контроля доступа в системе AGIS была выбрана реализация, широко используемая на эксперименте ATLAS, на основе использования цифровых сертификатов пользователя системы VOMS (Virtual Organization Membership Service). Система VOMS представляет собой структурированную базу данных пользователей, имеющих отношение к грид-вычислениям, в том числе на эксперименте АТЛАС. VOMS позволяет задать список привилегий (ролей) для каждого пользователя, которые впоследствии могут быть использованы для реализации процедуры контроля доступа различными приложениями и системами.

В ходе работы был реализован механизм проверки подлинности пользователя на основе VOMS сертификатов. В качестве VOMS роли, необходимой для обновления и модификации данных информационной

системы, AGIS используется глобальная production роль эксперимента АТЛАС (/atlas/Role=production). Кроме того, был реализован модуль аутентификации, позволяющий использовать локальный список сертификатов пользователей (не обязательно зарегистрированных в системе VOMS), так называемый список администраторов системы AGIS, которым также предоставляются права на редактирование и обновление данных системы.

10.3 Разработка службы сервиса для эффективного управления ресурсами на основе информации о доступности или простое данного вычислительного узла системы распределенных вычислений АТЛАС (календарь простоев)

Грид-система распределенных вычислений эксперимента АТЛАС[24] включает в себя сотни вычислительных ресурсов и узлов хранения данных. Для визуализации и учета доступности грид узлов распределенной системы была реализована соответствующая служба сервиса в системе AGIS[25], включающая в себя календарь простоев и программный интерфейс, позволяющий другим компонентам и сервисам программного обеспечения АТЛАС взаимодействовать с данной службой.

Информация о простоях (downtimes) грид узлов (sites), используемых в эксперименте АТЛАС, с помощью модуля синхронизации и сбора данных (AGIS Downtime Collector) периодически загружается в систему AGIS из основных баз данных простоев сайтов: GOCDB (Grid Configuration Database) и OIM (OSG Information Management System).

Календарь простоев (Downtime Calendar) представляет собой графическое WEB приложение (основанное на Google Calendar) для динамического отображения карты простоев сайтов с возможностью просмотра истории простоев во времени (по неделям, в конкретный день, месяц и другие выборки).

Реализованные модули по сбору информации о простоях сайтов (коллекторы) были установлены на основные сервера системы AGIS и запущены в автоматическом режиме для поддержания актуальности данных. Календарь простоев широко используется экспертами, дежурными и пользователями ADC (ATLAS Distributed Computing) группы.

Программный интерфейс разработанной службы используется другими приложениями и службами программного обеспечения АТЛАС, например, службой подписок и передачи данных, для того, чтобы не передавать данные на грид-узлы находящиеся в вынужденном бездействии (downtime).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В сотрудничестве с зарубежными партнёрами из институтов, участвующих в эксперименте АТЛАС, на втором этапе контракта успешно выполнены следующие работы:

- Выполнен анализ данных по зависимости характеристик систем установки АТЛАС от светимости коллайдера БАК.
- Проведены тестовые испытания прототипов микроканальных детекторов, подготовлена программа моделирования параметров газовых микроканальных детекторов.
- Проведено моделирование отклика жидкоаргоновых калориметров при различных светимостях и величинах напряжения на электродах.
- Выполнено измерение параметров сигнала с дрейфовой трубки в стримерном режиме и моделирование отклика электроники детектора TRT.
- Разработана технологии изготовления детекторов для «малых колес», изготовлена опытная партия.
- Изготовление тестовых образцов из перспективных материалов для высоковольтных (HV) тестов.
- Изготовлен стенд для проведения тестовых радиационных исследований.
- Разработана электроника для регистрации сигналов с макетов жидкоаргоновых калориметров.
- Разработана конструкция детектирующих элементов трековых детекторов для комплектации новых «малых колес» мюонного спектрометра АТЛАС.
- Разработана версия программного обеспечения AGIS.

Работы выполнены в соответствии с техническим заданием и календарным планом контракта.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 ATLAS. Detector And Physics Performance. Technical Design Report. CERN/LHCC/99-14, CERN/LHCC/99-15.
- 2 ATLAS Letter of Intend, Phase-I Upgrade, CERN-LHCC-2011-012, LHCC-I-020, December, 2011.
- 3 M.Mangano, The super-LHC, Contemp. Phys. 51 (2010) 211-231.
- 4 F.Gianotti, M.Mangano, T.Virdee et al., Physics potential and experimental challenges of the LHC luminosity upgrade, Eur. Phys. J. C39 (2005) 293-333.
- 5 S.Marti, Performance of the ATLAS Inner Tracker, ATL-PHYS-SLIDE-2011-032.
- 6 H.AbouZeid, Status of the ATLAS Liquid Argon Calorimeter; Performance after 2 years of LHC operation ATL-LARG-PROC-2012-007.
- 7 H.AbouZeid, Status of the ATLAS Liquid Argon Calorimeter; Performance after 2 years of LHC operation ATL-LARG-PROC-2012-007.
- 8 ATLAS, Liquid Argon Calorimeter. Technical Design Report. CERN/LHCC/96-41.
- 9 Brun R., Hagelberg R., Hansroul M. et al, Preprint CERN-DD-78-2-REV, Geneva 1978.
- 10 P.Nevski, Advances in the Simulation of Transition Radiation Detectors, Nucl. Instr. and Meth. A 522 (2004) 116.
- 11 Brun R. and Rademakers F., ROOT - An Object Oriented Data Analysis Framework, Proceedings AIHENP'96 Workshop, Lausanne, Sep. 1996, Nucl. Inst. & Meth. in Phys. Res. A 389 (1997) 81-86. См. также <http://root.cern.ch/>
- 12 A proposal for R&D to establish the limitations on the operation of the ATLAS end-cap calorimeters at high LHC luminosities, INTAS-CERN 05-103-7555

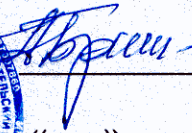
- 13 John P. Rutherford, Signal degradation due to charge buildup in noble liquid ionization calorimeters, NIM A482 (2002) p.156
- 14 M. Atac, A.V. Tollestrup, Self-quenching streamers, Nucl. Instr. and Meth. A200 (1982) 345.
- 15 P. Doll et al., Self-quenching streamer mode accompanied by escaping photon studies, Nucl. Instr. and Meth. **A342** (1994) 495.
- 16 G. Gavrillov, A. Krivchitch, E. Kuznetsova, V. Maleev, Space distribution of streamers in straw drift tubes, Nucl. Instr. and Meth. **A515** (2003) 278-282
- 17 M. Atac, A. Tollestrup, and D. Potter, Self-Quenching Streamers, Nucl. Instrum. Meth. 200 (1982) 345.
- 18 N.J. Buchanan et al. ATLAS liquid argon calorimeter front end electronics. Journal of Instrumentation 3: P09003, 2008.
- 19 Dubbert et al.: Precision Drift-Tube Chambers for the ATLAS Muon Spectrometer at Super-LHC, NSS 2008. IEEE, p. 3233
- 20 RD51 Development of Micro-Pattern Gas Detectors Technologies, <http://rd51-public.web.cern.ch/RD51-Public/Welcome.html>
- 21 Instruments and Experimental Techniques, Vol. 38, No.5, Part 1 (1995), p.p.587-592
- 22 Yu. Anipov et al., Studies of drift tubes with field shaping electrodes Nuclear Physics B, 44 (1995) p.p.206-212
- 23 R. Fakhroutdinov Drift tubes with field shaping, ATLAS MUON Upgrade Workshop, CERN, <https://indico.cern.ch/conferenceDisplay.py?confID=87676>
- 24 G. Aad et al., "The ATLAS Experiment at the CERN Large Hadron Collider," JINST 3 (2008) S08003.
- 25 <https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/Atlas/AtlasGridInformationSystem>

Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный научный центр Российской Федерации – Институт физики высоких энергий»
(ФГБУ ГНЦ ИФВЭ)

Утверждаю:
Главный инженер



 А.А. Брагин
« » _____ 2012 г.

РАЗОВЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ
«ПРОИЗВОДСТВО ПРЕЦИЗИОННЫХ ДРЕЙФОВЫХ ТРУБОК
С ПОЛЕФОРМИРУЮЩИМИ ЭЛЕКТРОДАМИ»

СОГЛАСОВАНО:

Заместитель директора по
инновационной деятельности и
общим вопросам

Солдатов А.П.

Начальник отделения
экспериментальной физики

Зайцев А.М.

Начальник отдела охраны труда и
промышленной безопасности

Козлов Г.В.

Главный механик

Исайкин В.Н.

Главный энергетик

Хамин С.В.

Главный метролог

Сорокин Б.В.

Начальник ОНТИ

Михайлин В.Н.

Срок действия до 01.02.2014 г.

СОДЕРЖАНИЕ		стр.
1.	Общая часть.....	84
2.	Порядок внесения изменений и дополнений в технологический регламент.....	84
3.	Контроль за соблюдением технологического регламента.....	85
4.	Общая характеристика подразделения. Назначение технологического процесса.....	87
5.	Характеристика исходного сырья, полуфабрикатов, готовой продукции и вспомогательных материалов.....	87
6.	Описание технологической схемы процесса.....	88
7.	Нормы технологического режима и метрологическое обеспечение.....	90
8.	Контроль технологического процесса.....	91
9.	Основные правила пуска и остановки производственного процесса при нормальных условиях.....	91
10.	Возможные неполадки технологического процесса, их причины и способы устранения.....	92
11.	Основные правила безопасного ведения технологического процесса.....	92
12.	Возможные аварийные ситуации и правила остановки производственного подразделения.....	93
13.	Отходы производства, сточные воды и выбросы в атмосферу...	94
14.	Перечень инструкций и нормативно-технической документации обязательных для данного объекта.....	95
15.	Технологическая карта.....	96
16.	Маршрутный лист.....	101
17.	Планировка помещений сектора больших трековых детекторов	104
18.	Перечень оборудования, установленного в помещениях сектора больших трековых детекторов.....	105
19.	Эскизы дрейфовой трубки с полеформирующими электродами (проводами).....	107

1. ОБЩАЯ ЧАСТЬ

1.1. Технологический регламент является основным документом, определяющим режимы и порядок проведения операций технологического процесса, обеспечивающим выполнение требований конструкторской документации.

1.2. Безусловное соблюдение всех требований технологического регламента обязательно, так как обеспечивает получение готовой продукции требуемого качества, рациональное и экономичное ведение производственного технологического процесса, сохранность оборудования, безопасные условия труда и защиту окружающей природной среды.

1.3. Приведенный технологический регламент является разовым, на выпуск планируемого объема партии продукции для проверки работоспособности и измерения эффективности на пучке.

1.4. Срок действия разового технологического регламента один год.

2. ПОРЯДОК ВНЕСЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ И ДОПОЛНЕНИЙ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ

2.1. При необходимости внесения изменений или дополнений в действующий технологический регламент необходимо представить пояснительную записку с описанием и обоснованием необходимости внесения этого изменения или дополнения и со ссылкой на основании, каких документов они вносятся (протокол технического совета учреждения, предписание служб государственного надзора, рацпредложение и т.п.);

2.2. Оформление изменений или дополнений к технологическому регламенту, их согласование и утверждение производится в том же порядке, что и самих регламентов. Срок действия изменения или дополнения - до истечения срока действия всего регламента в целом.

2.3. Изменения в технологический регламент вносятся:

2.3.1. при изменении параметров сигнализации и блокировок аппаратов и трубопроводов в пределах допустимых (расчетных параметров);

2.3.2. при изменении государственных или отраслевых стандартов, технических условий на сырье, и вспомогательные материалы, готовые продукты или полуфабрикаты и т.п.;

2.3.3. при необходимости дополнительного контроля сточных вод и выбросов в атмосферу, устанавливаемого по требованиям службы санитарного надзора;

2.3.4. при корректировке перечня обязательных инструкций и нормативно-технической документации в связи с переизданием или их изменением или требованиями органов государственного надзора. Эти изменения и дополнения вносятся в регламент при очередной его переработке.

2.4. Подлинник изменения хранится с подлинником регламента, а копии с него вместе с копиями регламентов,

2.5. При очередной переработке все ранее утвержденные изменения и дополнения должны быть внесены в технологический регламент.

3. КОТРОЛЬ ЗА СОБЛЮДЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕГЛАМЕНТА

3.1. Руководители работ, операторы и другие работники подразделения обязаны вести технологический процесс в строгом соответствии с утвержденным технологическим регламентом.

3.2. Технологический персонал должен записывать показатели технологического режима в маршрутные листы не реже чем каждые 2 часа. Показатели технологического режима получаемые автоматизированным способом должны архивироваться в конце смены.

Объем фиксируемых в маршрутных листах параметров должен быть не менее объема, предусматриваемого нормами технологического режима регламента.

3.3. Руководители работ обязаны ежедневно просматривать технологические журналы, маршрутные листы, картограммы контрольно-измерительных приборов и давать письменные указания по устранению выявленных за истекшие сутки отклонений от регламента.

3.4. Периодический контроль над соблюдением технологического режима осуществляется работниками отделов главных специалистов согласно утвержденным главным инженером учреждения графикам.

3.5. Систематический контроль над соблюдением технологического регламента возлагается на отдел научно-технической информации учреждения.

3.6. На рабочих местах должны быть вывешены следующие выписки из технологического регламента:

Нормы технологического режима (технологическая карта);

3.7.В составе технологического регламента разрабатываются технологические карты, инструкции по эксплуатации, другие документы.

3.8.Технологические карты пересматриваются и утверждаются главным инженером предприятия не реже 1 раза в 2 года.

4. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОДРАЗДЕЛЕНИЯ. НАЗНАЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА.

4.1. Полное наименование производственного подразделения:

Сектор больших трековых детекторов отделения экспериментальной физики.

Назначение подразделения: разработка трековых детекторов нового типа для экспериментальных установок, применяемых в физике высоких энергий и других отраслях науки и техники.

Год ввода в действие -2001.

4.2. Общий состав производственного подразделения:

Научные сотрудники – 6

Инженеры -6

Рабочие - 6

Количество описываемых в регламенте технологических потоков - 1.

4.3. Наименование организации, разработавшей технологический процесс – ФГБУ ГНЦ ИФВЭ.

5. ХАРАКТЕРИСТИКА ИСХОДНОГО СЫРЬЯ, ПОЛУФАБРИКАТОВ, ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ.

Таблица А.1. Перечень используемых компонентов и материалов.

№ пп	Наименование	Материал	Нормативный документ
1	Труба Ø 30 x 0,4 мм	алюминий	Паспорт партии
2	Диэлектрическая шайба	норил	Паспорт партии
3	Оконечный элемент	норил	Паспорт партии
4	Прокладка круглая	резина	
5	Капилляр Ø 1,2 x 0,3 мм	медь	Паспорт партии
6	Контактная пружина	Сталь омедненная	
7	Проволока Ø 200мкм	нержавеющая сталь	Паспорт партии
8	Проволока позолоченная Ø 30 мкм	нержавеющая сталь	Паспорт партии
9	Конденсатор 670 пф		Паспорт партии
10	Сопротивление 1МОм		Паспорт партии
11	ПАВ	Кальцинированная сода	ГОСТ 5100-85
12	Спирт этиловый	ректифицированный	ГОСТ 18300-87
13	Азот газообразный		Производство ИФВЭ
14	Гелий А газообразный		ГОСТ 20461-75
15	Вода дистиллированная		Производство ИФВЭ
16	тампон	вата	Аптечная упаковка

6. ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПРОЦЕССА СБОРКИ ДРЕЙФОВЫХ ТРУБОК С ПОЛЕФОРМИРУЮЩИМИ ЭЛЕКТРОДАМИ

Порядок сборки дрейфовых трубок с полеформирующими электродами (проводами).

Стадия 1- Комплектация.

Комплектуется сменный запас деталей и материалов в соответствии со спецификацией сборочного чертежа. Сменный запас деталей и материалов укладывается с транспортной тару. Оформляется маршрутная карта на сменную серию изделия. Выдается исполнителям технологическая карта.

Стадия 2 - Входной контроль.

Проводится проверка на соответствие требованиям чертежей и технологической карты параметров комплектующих и материалов. Обнаруженные бракованные детали заменяются годными после прохождения контроля. Бракованные детали помещаются в изолятор брака.

Стадия 3- Очистка деталей и комплектующих.

Проводится очистка деталей и комплектующих в ультразвуковой ванне с применением ПАВ. Для очистки внутренней поверхности применяется тампон, смоченный этиловым спиртом. Тампон продавливается по внутренней поверхности пневмотолкателем.

Стадия 4- Сушка

Детали (кроме трубок) сушатся в сушильном шкафу при температуре 39С.

Стадия 5- Сборка на стапеле.

Диэлектрические шайбы фиксируются на металлическом стержне, который закрепляется на монтажном стенде. В каждую втулку с внешней стороны вставляются 4 медные трубки (капилляры) с внешним диаметром 1,2 мм, длиной 20 мм. Через капилляры пропускаются (протягиваются) проволоки из нержавеющей стали диаметром 200 мкм. Эти проволоки натягиваются с усилием 500 г и обжимаются в капиллярах.

Проволоки соединяются параллельно, на втулках монтируется сопротивление 1 МОм (МЛТ 1вт, или аналогичное), через которое на проволоки будет подаваться высокое напряжение, и конденсатор 680 пФ (6кВ), через который проволоки соединяются с корпусом дрейфовой трубки по высокой частоте. Сборка (стержень, шайбы, проволоки) снимается со стенда и вставляется в алюминиевую трубу (внешний диаметр 30 мм, толщина стенки 0,4мм).

Положение втулок в трубе фиксируется при помощи газового обжимного устройства, сжимающего трубу в местах расположения втулок. При этом обеспечивается контакт второго вывода конденсатора с внутренней поверхностью трубки. После этого металлический стержень освобождают от втулок и вынимают из трубы. Затем труба снова устанавливается на стапель и протаскивается сигнальная проволока через центральные отверстия конечных элементов. Концы сигнальной проволоки протаскивают через капилляры торцевых элементов.

Вывод от сопротивления 1 МОм протаскивается в капилляр наряду с концом сигнальной проволоки. Торцевые (конечные) элементы вставляют в трубу, и труба обжимается в местах их расположения при помощи газового обжимного устройства. Сигнальная проволока натягивается с усилием 800 г и обжимается в капиллярах торцевых элементов. Трубка снимается со стапеля, укладывается в транспортную тару.

Стадия 6 - Испытания на плотность и герметичность.

Испытания проводятся на стенде пневмовакуумных испытаний. Негодные трубки помещаются в изолятор брака.

Стадия 7- Высоковольтные испытания.

Измерение вольт-амперной характеристики и занесение в паспорт изделия.

Стадия 8 - Проверка электрических соединений и контроль параметров.

Измерение сопротивлений и резонансной частоты и занесение в паспорт изделия.

Стадия 9 – Оформление Протокола испытаний и Паспорта изделия.

Стадия 10 – Маркировка готовых изделий.

На внешнюю поверхность трубки наклеивается этикетка.

На этикетке нанесена следующая информация:

- Товарный знак ФГБУ ГНЦ ИФВЭ
- Наименование изделия – «Прецизионная дрейфовая трубка с полеформирующими электродами»
- Номер изделия в базе данных паспортов дрейфовых трубок
- Дата выпуска в формате ДД-ММ-ГГГГ

После оформления протоколов испытаний и паспорта на изделие (или партию изделий) проводится анализ выявленных негодных изделий, помещенных в «изолятор брака». По результатам анализа негодных изделий принимаются и реализуются корректирующие мероприятия по исправлению несоответствий конструкторской документации. Негодные изделия

утилизируются с предварительным разрушением в целях невозможности их дальнейшего использования.

7. НОРМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА И МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Таблица А.2. Нормы технологического режима.

Номер стадии процесса	Наименование прибора	Единица измерения	Требуемый класс точности измерительных приборов	Допускаемые пределы технологических параметров		Примечание
				Расчетное	Рабочее технологическое	
1	Термогигрометр	°С	± 5,0%	22	20-24	Измерение
		%		50	40-60	
1	Счетчик частиц в воздухе HANDILAZ MINI	1/м ³	± 5,0%	3520000	Менее 3520000	Измерение
2	Микрометр 0-25 мм	мм				Измерение
2	Индикатор микрометрический	0,01 мм		0,1	0,08-0,12	Измерение
2	Щупы калиброванные		0,1-0,5 мм	0,1-0,5 мм	0,1-0,5 мм	Измерение
2	Мультиметр UNI TREND UT30C	МОм	± 5,0%		950-1050	Измерение
2	С-метр Mastech MY6013A	пф	± 5,0%	680	650-700	Измерение
2	Микрометр 0-50 мм	мм				Измерение
2	Шаблон-пробка 1	мм	+0,5 мм	Ø30	Пр-НЕПр	Измерение
3	Термометр для воды KL9806	°С	± 5,0%	25	25	Измерение
4	Термогигрометр КТ-905	°С	± 5,0%	22	22-24	Измерение
5	Шаблон-пробка 2	мм	+0,5 мм	40	40,5	Измерение
5	Шаблон-пробка 3	мм	+0,5 мм	20	20,5	Измерение
5	Динамометр	г	± 10,0%	500	500	Измерение
6	Манометрическая станция	МПа	3	0-20	17	Измерение
6	Течеискатель ASM-310				Гелиевая течь	Сравнение
6	Измеритель частоты	Гц	± 5,0%			Измерение

8. КОНТРОЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

8.1. Аналитический контроль производства по всем стадиям технологического процесса не проводится. Вредных выбросов в атмосферу, сточных вод, воздушной среды в помещениях во время технологического процесса не происходит. В обрабатываемых материалах не содержатся агрессивные компоненты, вызывающие коррозию металла.

8.2. Контроль технологического процесса с помощью систем сигнализации и блокировок не проводится.

8.3. Контроль технологического процесса проводится контрольным инструментом, указанным в технологической карте на соответствие требованиям технологической и конструкторской документации.

9. ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА ПУСКА И ОСТАНОВКИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА ПРИ НОРМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

9.1. К работе допускается обученный и проинструктированный по охране труда, электробезопасности и технологическим инструкциям персонал, прошедший периодический медицинский осмотр по вредным факторам производства и не имеющий противопоказаний и отводов по медицинским показателям.

9.2. Персонал, приступающий к работе впервые проходит стажировку на рабочем месте под руководством опытного работника в течении 10 рабочих смен.

9.3. Работающие на стадии испытаний со стендом пневмоиспытаний проходят обучение и сдают квалификационные экзамены на знание «правил устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением».

9.4. Начинать работы следует при условии выполнения норм освещенности рабочих мест, кратности приточно-вытяжной вентиляции и температуры воздуха в рабочих помещениях.

9.5. Остановка работ выполняется с учетом требований по закрытию помещений на длительный период или праздники, в порядке, установленном Указанием Главного инженера учреждения.

10. ВОЗМОЖНЫЕ НЕПОЛАДКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА, ИХ ПРИЧИНЫ И СПОСОБЫ УСТРАНЕНИЯ.

Таблица А.3. Возможные неполадки технологического процесса их причины и способы устранения.

Возможные неполадки	причины возникновения неполадок	способы устранения неполадок
Отключение электроснабжения здания 19	Подсадка напряжения в сети	Отключить аппаратуру и приборы. Сообщить об отключении дежурному ГПП зд. 10 тел. 133-50
Пожар или угроза возникновения пожара		Отключить аппаратуру и приборы. Сообщить об отключении дежурному СПЧ-7 тел. 01

11. ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОГО ВЕДЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

11. 1. Выполнение требований инструкций по охране труда и промышленной безопасности.

11.2. Выполнение требований инструкции по пожарной безопасности.

11.3. Выполнение требований межотраслевых правил по охране труда при эксплуатации электроустановок.

11.4. Выполнение требований «правил по безопасному устройству и эксплуатации сосудов, работающих под давлением».

11.5. Выполнение требований правил внутреннего трудового распорядка для работников ГНЦ ИФВЭ.

11.6. Классификация производственных и вспомогательных помещений.

Таблица А.4. Классификация производственных и вспомогательных помещений по их взрывной и пожарной опасности.

Наименование зданий, помещений	Категория зданий и помещений по взрывопожарной и пожарной опасности	Класс взрывоопасной или пожароопасной зоны по ПУЭ	
Здание 19			
Пом. 101, 102, 104, 105, 115, 116, 117, 118А, 118	П-II А	Г	АПС, оповещение о пожаре, запасные выходы на улицу
Пом. 103, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 114А.	П-II А	В-4	АПС, оповещение о пожаре, запасные выходы на улицу

11.7. Система защиты от молний выполнена по кровле здания стальной полосой 40 x 5 мм² с заземлением в очаге заземления с западной стороны здания 19. Защита от статического электричества – заземление металлических ручек дверей в помещения на контур защитного заземления, заземление корпусов электрооборудования, металлических стеллажей.

11. 8. Кратность воздухообмена общей приточно-вытяжной вентиляции соответствует санитарным нормам, шум (60 дБА) и освещенность (200 лк) на рабочих местах соответствуют санитарным нормам.

11.9. Спецодежда, обувь и средства индивидуальной защиты, необходимые для работающих выдаются в соответствии с нормами по утвержденному перечню .

11.10. Имеющиеся средства пожаротушения:

- кран пожарного водопровода в помещении №107;
- огнетушители ОУ-5 в помещениях – 10 шт.

12. ВОЗМОЖНЫЕ АВАРИЙНЫЕ СИТУАЦИИ И ПРАВИЛА ОСТАНОВКИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА

Основные возможные виды аварийных ситуаций:

12.1. Отключение электроэнергии,

12.2. Пожар на установке или угроза его возникновения;

Действия персонала по устранению аварийной ситуации в случае угрозы или возникновения пожара проводятся в соответствии с п.10 настоящего технологического регламента и инструкции по взаимодействию с подразделениями и руководством СПЧ-7.

13. ОТХОДЫ ПРОИЗВОДСТВА, СТОЧНЫЕ ВОДЫ И ВЫБРОСЫ В АТМОСФЕРУ

Таблица А.5. Твердые и жидкие отходы.

Наименование отхода	Количество кг/сутки	Периодичность образования	Куда складывается, транспорт	Метод и место захоронения, утилизации или обезвреживания	Примечания
ТБО	10	Вывоз по мере наполнения не реже 1 раза в неделю	Контейнер, мусоровоз	Полигон ТБО	
Обрезки металлических трубок	1		Контейнер для металла цветного	Склад металлолома	
Вода с следами кальцинированной соды	25	1 раз в сутки		Хоз-фекальная канализация	

Таблица А.6. Сточные воды.

Наименование стоков.	Количество образования сточных вод м ³ /смену	Метод утилизации или обезвреживания	Периодичность сброса	Куда сбрасывается	Установленная норма содержания загрязнений	Примечание
Вода со следами ПАВ (кальцинированная сода)	0,05	канализация	1раз/сутки	Канализация бытовая	Не нормируется	

Таблица А.7. Выбросы в атмосферу.

Наименование сбросов.	Количество образования выбросов по видам м ³ /час	Метод утилизации или обезвреживания выброса	Периодичность выбросов	Установленная норма содержания загрязнений в выбросах	Примечание
Азот газ	0,05	Сброс в атмосферу	10 раз в смену	Не нормируется	1.5 м выше конька кровли
Гелий газ	0,005	Сброс в атмосферу	10 раз в смену	Не нормируется	1.5 м выше конька кровли

Таблица А.8. Спецификация технологического оборудования.

Номер помещения по схеме	наименование оборудования	Кол., штук	техническая характеристика	Примечание
101	Стеллажи, измерительный инструмент, сушильный шкаф, ультразвуковая ванна	3	Исполнение УХЛЗ влагозащищенное	Металлическая тара
113	Стапель, манометрическая станция, оснастка	1	Шкаф с 40 л баллонами азот и гелий	На улице, подача по трубопроводу ϕ 10 мм
112А	Пост вакуумный течеискания	1	Вакуумный насос, течеискатель, вакуумметры	Газовая смесь азот+гелий (90+10%)
102	Стенд высоковольтного электроиспытания	1	Испытательное напряжение 2,5 кВ	Сетчатое ограждение

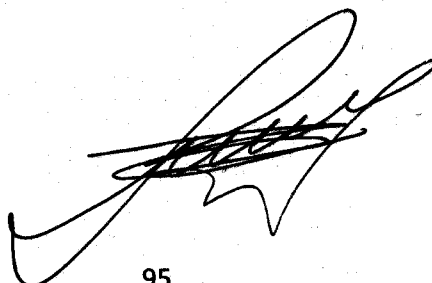
Таблица А.9. Движение комплектующих и материалов в процессе сборки прецизионных дрейфовых трубок с полеформирующими электродами.

Номер помещения по схеме	наименование стадии технологического процесса	Примечание
101	Комплектация, входной контроль, мойка, сушка	
113	Сборка на стапеле	
112А	Испытания на плотность и герметичность	
112	Испытания высоковольтные, проверка электрических соединений и контроль параметров	
102	Складирование, упаковка	


14. ПЕРЕЧЕНЬ ИНСТРУКЦИЙ И НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ОБЯЗАТЕЛЬНЫХ ДЛЯ ДАННОГО ОБЪЕКТА

Перечень обязательных инструкций и нормативно-технической документации для сектора больших трековых детекторов отделения экспериментальной физики установлен в соответствии с требованием правил охраны труда, промышленной и радиационной безопасности, электробезопасности, согласован с отделом охраны труда и промышленной безопасности и утвержден главным инженером учреждения.

Разработал:



Р.М. Фахрутдинов

УТВЕРЖДАЮ
 Главный инженер
 А.А. Брагин
 « ___ » _____ 2012 г.

16. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА

Изготовление прецизионной дрейфовой трубки с полеформирующими проволоками

Сменная партия 10 штук.

№ п/п	Содержание операции	Инструмент, приспособ- ления	Технические условия	Контроль параметров	Контрольный инструмент
1	2	3	4	5	6
1	Комплектация на партию 10 шт. Трубка Ф 30 x 0,4 мм L= 1000 -10 шт. Диэлектрические шайбы в сборе с капиллярами -20 шт. Оконечный элемент в сборе -20 шт. Прокладки круглые -40 шт. Контактная пружина -20 шт. Сопротивление 1 МОм- 10 шт.	Стеллаж: Коробки:	+22С ± 2 ⁰ С 100 000 Класс по FS 209, 8 Класс по ISO 14644-1	Температура Запыленность Относительная влажность 40-60%	Термогигрометр КТ-905 счетчик частиц в воздухе HANDILAZ MINI

1	2	3	4	5	6
	Конденсатор 670 пф- 10 шт. Проволока позолоченная $\phi 30$ мкм - 1 бобина Проволока нержавеющей сталь $\phi 200$ мкм - 1 бобина				
2	Входной контроль		+22С± 2 ⁰ С	Трубка: Отклонения по длине Отклонение цилиндричности Отклонение прямолинейности Проверка толщины	Шаблон –пробка 1 +микрометр Индикатор микрометрический Гранитный стол, калиброванные щупы Микрометр 0-25 мм Микрометр 0-50 мм Индикатор микрометрический С-метр Mastech MY6013A Мультиметр UNI TREND UT30C
				Диэлектрические шайбы: Отклонение размеров Конденсатор, Сопровождение: Проверка электрических параметров	

						Проволока, оконечные элементы	Микрометр 0-25 мм Лупа настольная с подсветкой
3	Очистка деталей и комплектов	Ванна для очистки ультразвуком, ПАВ	Вода 25 ⁰ С, 15 мин. Вода дистиллированная 25 ⁰ С 15 мин. Этиловый спирт, 15 мин				Термометр для воды. Мерник для ПАВ. Уровень воды по метке.
4	Сушка	Камера сушильная	Воздух 39С, 25 мин +22С±2 ⁰ С				Термогигрометр.
5	Сборка на ступе	Ступель для сборки					
	1. Установка на ступель трубки и закрепление	Тампон, спирт, пневмооткачалка				Визуальный контроль	
	2. Очистка внутренней поверхности трубки	Пневмооткачалка					Эндоскоп с лампой
	3. Установка 1 диэлектрической шайбы с конденсатором и протяжка 4-х полеформирующих проволок						
	4. Позиционирование и опрессовка 1-ой диэлектрической шайбы	Опресовочное устройство, азот Рр=17 МПа					

5. Установка 2-ой диэлектрической шайбы с конденсатором и протянутыми полеформирующими и центральной проволоками					Шаблон-пробка 2
6. Позиционирование и опрессовка 2-ой диэлектрической шайбы	Опрессовочное устройство Pp=17 МПа				Шаблон-пробка 2
7. Закрепление полеформирующих проволок у 1-ой диэлектрической шайбы и формирование контактного узла	Опрессовочное устройство, азот				
8. Натяг и закрепление полеформирующих проволок у 2-ой диэлектрической шайбы и формирование контактного узла	Обжимное устройство		Усилие 500 г		Динамометр
9. Натяг и закрепление центральной проволоки	Обжимное устройство		Усилие 800 г		Динамометр
10. Формирование узла соединения всех проволок и установка резисторов	Обжимное устройство				
11. Установка 1-го конечного элемента с протянутой центральной проволокой	Обжимное устройство				
12. Позиционирование и опрессовка 1-го конечного элемента	Опрессовочное устройство, азот Pp=17 Мпа				Шаблон-пробка 3
13. Закрепление центральной проволоки	Обжимное устройство				

	14.Позиционирование и опрессовка 2-го конечного элемента	Опресовочное устройство, азот Рр=17 Мпа				Шаблон-пробка 3
	15.Закрепление центральной проволоки	Обжимное устройство				
	16. Снятие со стапеля трубки					
6	Испытания Испытания на плотность и герметичность	Стенд пневмовакuumных испытаний	+22С±2 ⁰ С	Давление Р _и =0,15 МПа сухой азот Точка росы – 45 ⁰ С Газовая смесь: Сухой азот -90% Гелий Б -10% Нагекание -1x10 ⁻⁶ Па л/с	Манометрическая станция Течеискатель ASM-310	
6	Высоковольтные испытания	Стенд высоковольтных испытаний		U _и = 2,5 кВ измерение вольт-амперной характеристики	Персональный компьютер, КАМАК-модуль, программа контроля	
	Проверка электрических соединений и контроль параметров			Измерение сопротивлений и резонансной частоты	Мультиметр, постоянный магнит, Измеритель частоты	
	Протокол испытаний					
	Паспорт					

17. МАРШРУТНЫЙ ЛИСТ

Изготовление дрейфовой трубки с полеформирующими проволоками

Сменная партия 10 штук.

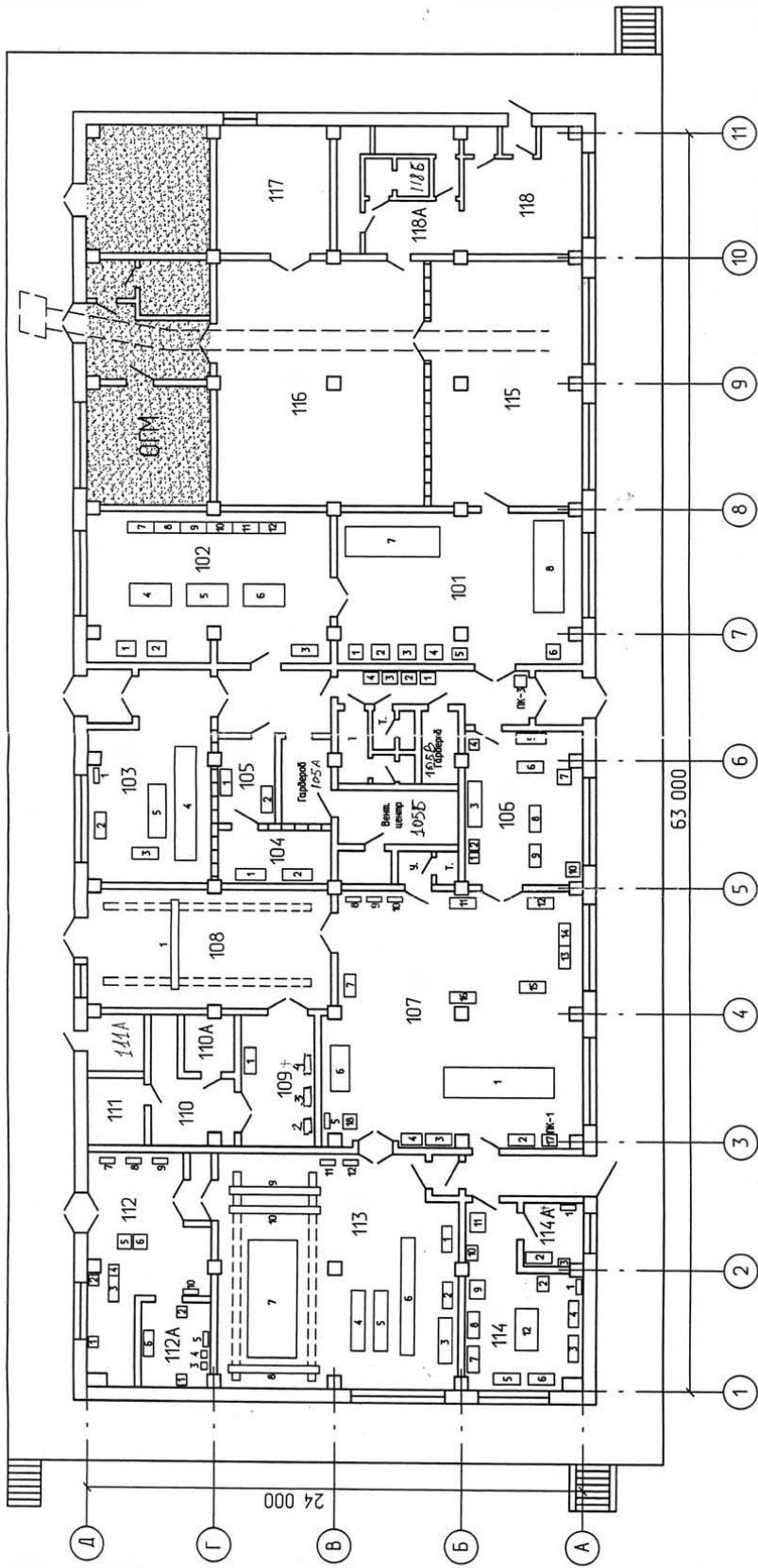
Дата	Номер партии	Номер изделия	Исполнитель Ф.И.О.	Отметка о выполнении	Отметка контролера	Примечание
			2	3	4	5
		1				
		Наименование операции по технологической карте				
		1.Комплектация				
		2. Входной контроль				
		3.Очистка деталей и комплектующих				
		4. Сушка				
		5. Сборка на ступе				
		5.1.Установка на ступель трубки и закрепление				

5.2.Очистка внутренней поверхности трубки					
5.3.Установка 1 диэлектрической шайбы с конденсатором и протяжка 4-х полеформирующих проволок					
5.4.Позиционирование и опрессовка 1-ой диэлектрической шайбы					
5.5.Установка 2-ой диэлектрической шайбы с конденсатором и протянутыми полеформирующими и центральной проволоками					
5.6.Позиционирование и опрессовка 2-ой диэлектрической шайбы					
5.7.Закрепление полеформирующих проволок у 1-ой диэлектрической шайбы и формирование контактного узла					
5.8.Натяг и закрепление полеформирующих проволок у 2-ой диэлектрической шайбы и формирование контактного узла					
5.9.Натяг и закрепление центральной проволоки					
5.10.Формирование узла соединения всех проволок и установка резисторов					
5.11.Установка 1-го конечного элемента с протянутой центральной проволокой					
5.12.Позиционирование и опрессовка 1-го конечного элемента					
5.13. Закрепление центральной проволоки					

5.14.Позиционирование и опрессовка 2-го конечного элемента					
5.15.Закрепление центральной проволоки					
5.16. Снятие со стапеля трубки					
Испытания					
6. Испытания на плотность и герметичность					
7. Высоковольтные испытания					
8. Проверка электрических соединений и контроль параметров					
9. Протокол испытаний					
10. Отметка о принятии изделия					

Руководитель работ _____

План размещения оборудования участка проволочных детекторов в зд. 19.



"УТВЕРЖДАЮ"

21. инженер ЦФБЭ

Б.А. Серебряков

25.12.01

Начальник ООТ _____ / Т.М. Лялина. /

Начальник ПЧ-7 _____ / В.Н. Кострюков. /

Главный врач ЦГСЭН _____ / С.А. Вылегжанин. /

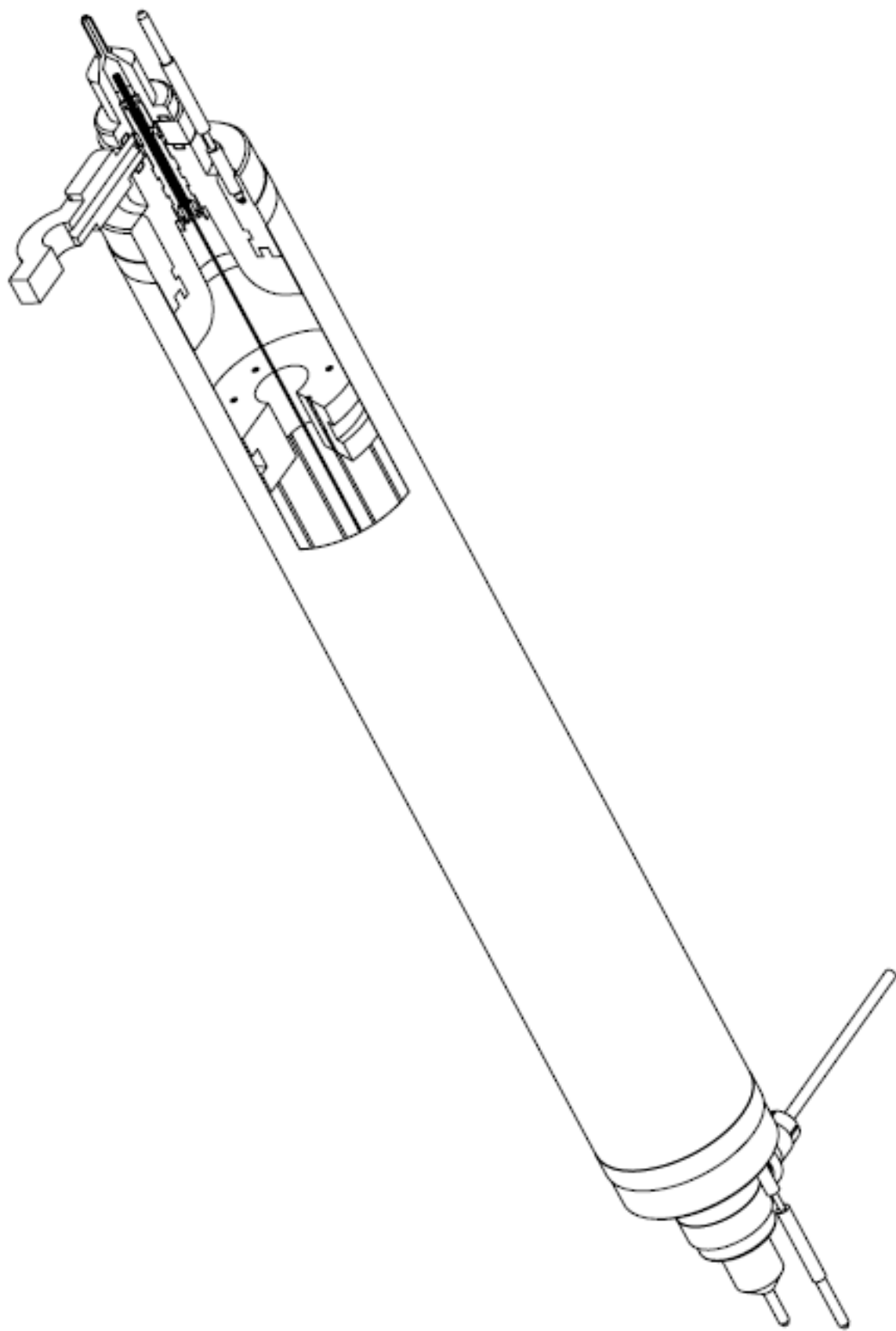
Координатор участка, С.Н.С. _____ / Р.М. Фахрутдинов. /

25.12.01

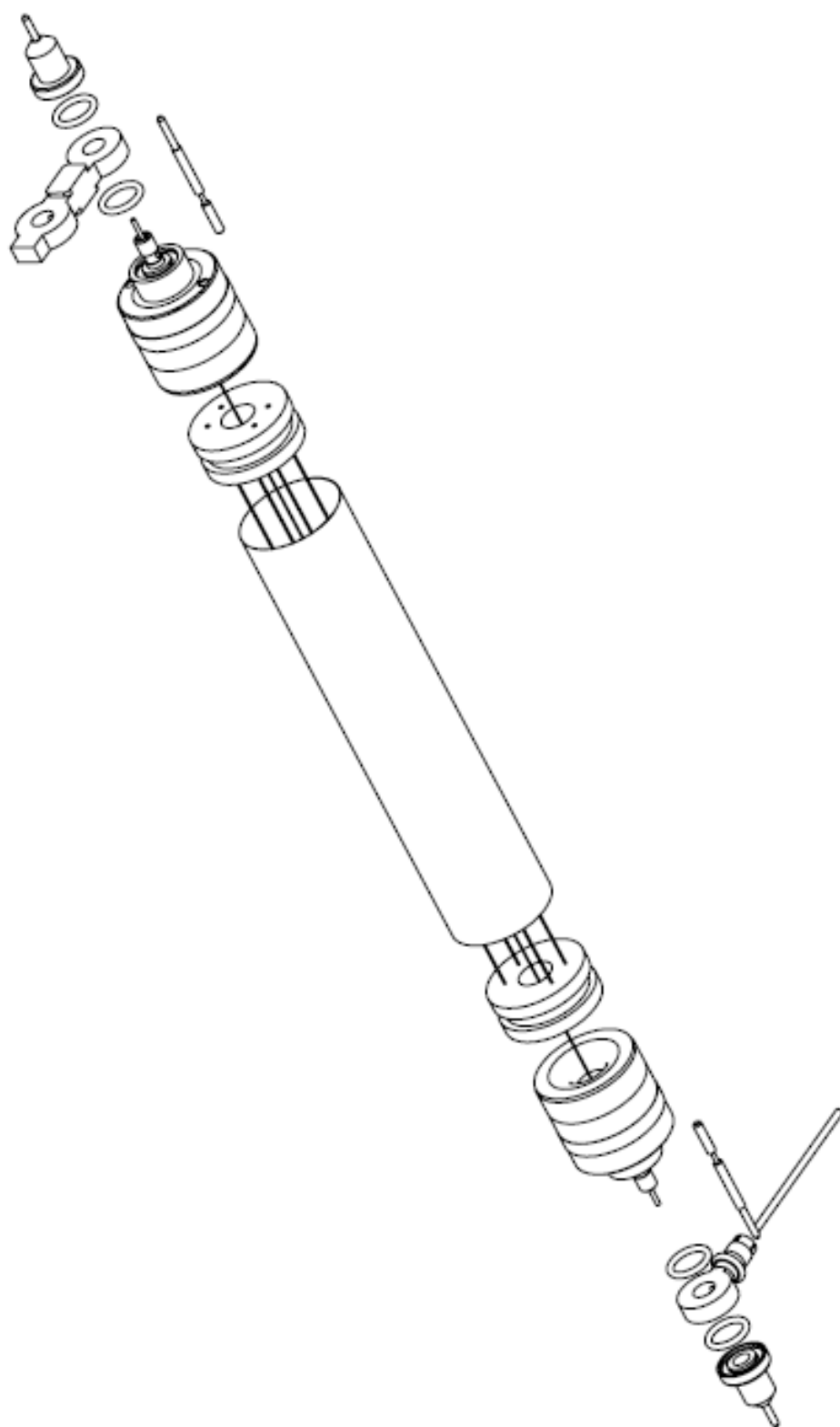
**18. Перечень оборудования, установленного в помещениях сектора
больших трековых детекторов**

№ помещения	№ п/п	Наименование оборудования
101	1	Вытяжной шкаф
	2,3,4	Стол монтажный
	5,6	Шкафы сушильные
	7,8	Стеллажи для мюонных камер
102	1,2	Станки сверлильные
	3	Стеллаж
	4,5,6	Стол монтажный
	7-12	Стол слесарный
103	1	Щит электрический РЩ-3
	2,3,4,5	Стол монтажный
104	1,2	Стеллажи
105	1,2	Стеллажи
106	1,2,4	Шкафы металлические
	3,5	Стеллажи
	6,8,9	Стол письменный
	7	Стойка «Вишня»
	10	Шкаф книжный
107	1	Стол сборочный чугунный
	2,3,11,12,16	Стеллажи
	4	Шкаф вытяжной
	5,8,8,10	Щиты лабораторные электрические
	6,18	Течеискатели гелиевые ТИ1-14
	7,13,14,15	Стол юстировочный
	17	Пожарный кран № 1
108	1	Кран однобалочный
109	1,2,3,4	Стеллаж, сверлильный станок, заточной ст.
110-111		Вентиляционный центр
112	1,2	Кондиционеры БК-2000
	3	Стол письменный
	4	Шкаф металлический
	5,6	Стойки «Вишня»
	7,8	Шкафы электрические
	9,10	Щиты электрические

№ помещения	№ п/п	Наименование оборудования
112А	1,2	Ресиверы
	3,4	Насосы вакуумные 2НВР-5ДМ
	5	Щит электрический ЩА-6
	6	Стол рабочий
113	1	Кондиционер Hitachi
	2	Кондиционер КТ-2
	3,4,5	Стеллажи
	6	Сборочный стапель дрейфовых трубок
	7	Гранитный стол для сборки мюонных камер
	8,9	Электрические тали
	10	Кран однобалочный
	11,12	Щиты электрические
114	1	Щит электрический лабораторный ЩЛ-6
	2	Станок сверлильный
	3	Стол слесарный
	4	Стол радиомонтажный
	5,6,8	Стол письменные
	7	Микроскоп УИМ-23
	9,11	Шкафы металлические
	10	Раковина умывальная
	12	Стол рабочий
114А	1	Щит электрический лабораторный ЩЛ-6
	2	Стол письменный
	3	Шкаф книжный
115-118		Складские помещения со стеллажами



Эскиз трубки в сборе



Эскиз трубки с разбивкой на компоненты

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

на изготовление тестовых образцов для радиационных испытаний в рамках
НИР:

«Исследование электропрочностных характеристик перспективных материалов под радиационным воздействием для регистрирующих элементов переднего калориметра детектора АТЛАС»

1. Заказчик

Федеральное государственное бюджетное учреждение
Государственный научный центр Российской Федерации Институт физики
высоких энергий.

2. Исполнитель заказа

Федеральное государственное бюджетное учреждение Физический
институт имени П.Н.Лебедева Российской академии наук.

3. Цель изготовления тестовых образцов

Подготовка тестовых образцов перспективных материалов для радиационных (высоковольтных и радиочастотных) испытаний и испытаний на устойчивость к воздействию интенсивного ультрафиолетового излучения в рамках НИР по теме «Разработка аппаратуры для исследований фундаментальных взаимодействий при повышенной светимости протон-протонных столкновений в международном проекте АТЛАС» с целью проведения исследования электрической прочности перспективных материалов под радиационным воздействием (интегральная доза до $2 \div 3 \cdot 10^{17}$ нейтрон/см²) для регистрирующих элементов переднего калориметра детектора АТЛАС в условиях сверхвысокой светимости БАК 10^{35} см⁻² с⁻¹. Для отбора радиационно-стойких материалов, которые могут быть использованы в калориметре, предполагается проведение испытаний на реакторе ИБР-2 в ОИЯИ (Дубна) современных ламинатов для производства печатных плат разного состава (не менее 4 видов). Интегральная доза должна составить величину до $2 \div 3 \cdot 10^{17}$ нейтрон/см². Исследование электрической

прочности перспективных материалов должно происходить непосредственно во время набора дозы.

Всего изготавливается 120 образцов (по 12 образцов для каждого из четырех материалов для электропрочностных и, в перспективе, радиочастотных испытаний и по 6 образцов для испытаний на устойчивость к воздействию ультрафиолета).

4. Основные требования к тестовым образцам

4.1. Размеры образцов

G10 (СФУ) - 100мм x 100мм, толщина - 410мкм;

FR4 (СОНФ) - 100мм x 100мм, толщина – 410мкм;

ROGERS (на основе препрега 4450В – Бельгия)

- 100мм x 100мм, толщина – 440мкм;

КАРТОН (ПОЛИИМИД)

- 100мм x 100мм, толщина – 455 – 470мкм.

4.3. Требования к предоставлению информации

Исполнитель обязан предоставлять Заказчику информацию о ходе работ по изготовлению тестовых образцов и их соответствии требованиям технологического процесса и стабильности геометрии их топологии.

От Исполнителя

Зам. директора ФИАН

М.П.



А.А. Гиппиус

От Заказчика

Зам. директора ФГБУ ГНЦ ИФВЭ

М.П.

А.М.Зайцев

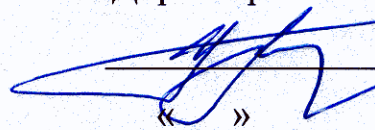


ПРИЛОЖЕНИЕ В

УТВЕРЖДАЮ

Директор ФГБУ ГНЦ ИФВЭ

Н.Е.Тюрин

 « » 20 г.

АКТ

изготовления объектов испытаний -

тестовых образцов для исследования электропрочностных характеристик

перспективных материалов под радиационным воздействием для

регистрирующих элементов переднего калориметра детектора АТЛАС

Государственный контракт от 14 марта 2012 г. № 11.519.11.6029

Шифр 2012-1.9-519-006-170.

« 1 » 11 20 12 г.

г. Протвино.

Комиссия в составе:

Председателя - зам. директора ФГБУ ГНЦ ИФВЭ А.М.Зайцева

и членов комиссии ведущего научного сотрудника А.Б.Фенюка,

ведущего научного сотрудника Ю.А.Хохлова,

назначенная приказом по ФГБУ ГНЦ ИФВЭ от 31 октября 2012 г. № 225,

составила настоящий акт о нижеследующем.

1. Комиссии предъявлены:

- 1.1. 120 тестовых образцов из 4-х перспективных материалов (G10 (СФУ), FR4 (СОНФ), ROGERS, КАРТОН (ПОЛИИМИД) для электропрочностных тестов и планируемых тестов на радиочастотную стабильность и на устойчивость к

УФ излучению;

1.2. Техническое задание на изготовление указанных образцов.

2. В результате проверки установлено:

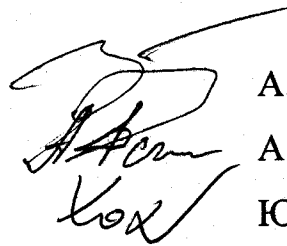
2.1. Объекты испытаний изготовлены ФГБУ ФИАН в период с 01 сентября 2012 г. по 15 октября 2012г. в соответствии с техническим заданием и в комплектности, установленной техническим заданием.

3. Решение комиссии:

Объекты испытаний пригодны для электропрочностных тестов, тестов на радиочастотную стабильность и на устойчивость к ультрафиолетовому излучению.

Председатель комиссии

Члены комиссии



А.М.Зайцев

А.Б.Фенюк

Ю.А.Хохлов

Г. Протвино

15 октября 2012 г.

АКТ

приёмки лабораторного стенда для проведения тестовых радиационных исследований.

Комиссия в составе председателя зам. директора ФГБУ ГНЦ ИФВЭ Зайцева А.М. и членов комиссии: нач. сектора ОИЯИ Чеплакова А.П. и ведущего научного сотрудника Кухтина В.В. рассмотрела стенд для радиационных испытаний материалов и оборудования, созданного в рамках работ 2-го этапа Государственного контракта № 11.519.11.6029 от 14 марта 2012 г. и результаты испытаний стенда в лабораторных условиях.

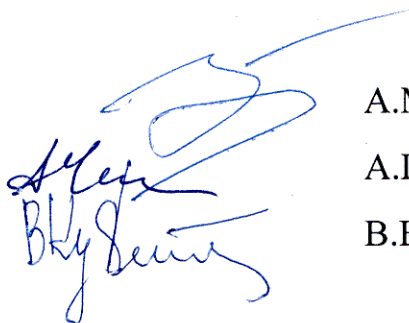
Лабораторные испытания стенда, проведенные в рамках подготовки к сеансу облучения образцов материалов и компонентов детекторов на реакторе ИБР-2м, продемонстрировали его работоспособность.

Результаты лабораторных испытаний стенда приведены в отчёте по работам 2-го этапа контракта.

Комиссия приняла решение, что стенд удовлетворяет условиям технического задания и является работоспособным.

Председатель комиссии

Члены комиссии:



А.М.Зайцев

А.П.Чеплаков

В.В.Кухтин