

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

УДК 539.1, 539.1.07, 539.12
ОКП 430000
№ госрегистрации 114111740013.
Инв. № 1/0005



Генеральный директор ФГБУ ГНЦ ИФВЭ
С.С. Сивухин, д-р физ.-мат. наук, проф.

Н.Е. Тюрин

М.П. >

ОТЧЕТ
О ПРИКЛАДНЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ
И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РАЗРАБОТКАХ

«Создание сверхбыстродействующих радиационно-стойких компонентов
супердетектора новых тяжелых частиц АТЛАС Большого адронного коллайдера
ЦЕРН для экспериментальных исследований рождения и распада частиц».

Этап 1.

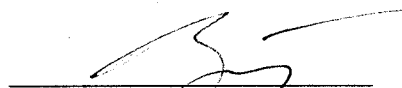
ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ ИССЛЕДОВАНИЙ, ОЦЕНКА
ВОЗМОЖНОСТИ ОПТИМИЗАЦИИ КОМПОНЕНТОВ
УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫХ ДЕТЕКТОРНЫХ УСТРОЙСТВ
СУПЕРДЕТЕКТОРА АТЛАС ДЛЯ РАБОТЫ ПРИ ПОВЫШЕННОЙ
СВЕТИМОСТИ БАК.

(промежуточный)

Шифр 2014-14-582-0003-004

Соглашение о предоставлении субсидии
с Минобрнауки России
от 20.10.2014 № 14.610.21.0005

















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





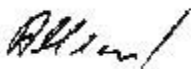









подпись, дата

А.М.Зайцев

Протвино, 2014

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

<p>Зам. директора института, д-р физ.- мат. наук, профессор Вед. научн. сотрудник кандидат физ.-мат. наук, ст научн. сотрудник Начальник лаборатории, кандидат физ.-мат. наук, ст. научн. сотрудник.</p>		<p>А.М. Зайцев ФБГУ ГНЦ ИФВЭ</p>	<p>Разделы: (Весь отчёт)</p>
<p>Вед. научн. сотрудник кандидат физ.-мат. наук, ст научн. сотрудник Начальник лаборатории, кандидат физ.-мат. наук, ст. научн. сотрудник.</p>		<p>А.Б.Фенюк ФБГУ ГНЦ ИФВЭ</p>	<p>Разделы: (Весь отчёт)</p>
<p>Ст. научн. сотрудник.</p>		<p>О.Л.Федин ФГБУ ПИЯФ</p>	<p>Разделы: (1, 4, 5, Пр. Б) Разделы: (4.1, Пр. Г, Ж)</p>
<p>Инж.-конструктор</p>		<p>В.П.Малеев ФГБУ ПИЯФ</p>	<p>Разделы: (Пр. В)</p>
<p>Вед. инженер Начальник сектора, кандидат физ.-мат. наук, ст. научн. сотрудник Вед. научн. сотрудник кандидат физ.-мат. наук, ст научн. сотрудник</p>		<p>А.Т.Сулейманов ФГБУ ПИЯФ</p>	<p>Разделы: (Пр. А)</p>
<p>Ст. инженер Начальник лаборатории, д-р физ.- мат. наук, профессор, академик РАН Вед. научн. сотрудник кандидат физ.-мат. наук, ст. научн. сотрудник</p>		<p>С.К.Патричев ФГБУ ПИЯФ</p>	<p>Разделы: (10)</p>
<p>Ст. инженер Начальник лаборатории, д-р физ.- мат. наук, профессор, академик РАН Вед. научн. сотрудник кандидат физ.-мат. наук, ст. научн. сотрудник</p>		<p>А.П.Чеплаков ОИЯИ</p>	<p>Разделы: (4.2, 4.3) Разделы: (4.2, Пр. Д, Е)</p>
<p>Ст. преподаватель Начальник сектора, кандидат физ.-мат. наук, ст. научн. сотрудник Вед. научн. сотрудник, доктор физ.-мат. наук, ст. научн. сотрудник</p>		<p>Г.А.Шелков ОИЯИ</p>	<p>Разделы: (1, 7)</p>
<p>Мл. научн. сотрудник</p>		<p>А.Л.Гонгадзе ОИЯИ</p>	<p>Разделы: (7)</p>
<p>Мл. научн. сотрудник</p>		<p>С.П.Денисов ФБГУ ГНЦ ИФВЭ</p>	<p>Разделы: (5.3)</p>
<p>Мл. научн. сотрудник</p>		<p>А.В.Козелов ФБГУ ГНЦ ИФВЭ</p>	<p>Разделы: (5.3)</p>
<p>Мл. научн. сотрудник</p>		<p>А.С.Романюк</p>	<p>Разделы: (6)</p>
<p>Мл. научн. сотрудник</p>		<p>С.Ю.Смирнов</p>	<p>Разделы: (6)</p>
<p>Мл. научн. сотрудник</p>		<p>Р.М.Фахрутдинов ФБГУ ГНЦ ИФВЭ</p>	<p>Разделы: (6)</p>
<p>Мл. научн. сотрудник</p>		<p>А.С.Кожин ФБГУ ГНЦ ИФВЭ</p>	<p>Разделы: (2, 6)</p>
<p>Мл. научн. сотрудник</p>		<p>И.С.Плотников ФБГУ ГНЦ ИФВЭ</p>	<p>Разделы: (2, 6)</p>

Гл. научн. сотрудник Доктор физ.-мат наук, профессор		В.И.Рыкалин ФБГУ ГНЦ ИФВЭ	Разделы: (8)
Ст. научн. сотрудник кандидат физ.-мат. наук.		А.Н.Карюхин ФБГУ ГНЦ ИФВЭ	(8, 5.4, Пр. 3)
Глав. Научн. сотрудник, доктор физ.-мат наук, профессор		В.А.Сенько ФБГУ ГНЦ ИФВЭ	Разделы: (9)
Ст. научн. сотрудник, кандидат физ.-мат. наук.		Е.А.Старченко ФБГУ ГНЦ ИФВЭ	Разделы: (9)
Нач. сектора, кандидат физ.-мат. наук.		А.Г.Мягков ФБГУ ГНЦ ИФВЭ	Разделы: (12)
Вед. научн. сотрудник, доктор физ.-мат. наук, профессор		Л.Н.Смирнова МГУ	Разделы: (1, 13.4)
Ст. научн. сотрудник, кандидат физ.-мат. наук.		С.Ю.Сивоклоков МГУ	Разделы: (13.4)
Нач. сектора, кандидат физ.-мат. наук.		А.В.Багуля ФГБУ ФИАН	Разделы: (11)
Вед. научн. сотрудник, кандидат физ.-мат. наук, ст. научн. сотрудник.		В.О.Тихомиров ФГБУ ФИАН	Разделы: (5.3, 13.3)
Зам. директора института, д-р физ.- мат. наук, профессор		Ю.А.Тихонов БИЯФ СО РАН	Разделы: (10.1, 10.2)
Ст. научн. сотрудник		А.Л.Масленников БИЯФ СО РАН	Разделы: (10.1, 10.2)
Ст. научн. сотрудник, кандидат физ.-мат. наук.		И.И.Цукерман ФГБУ ИТЭФ	Разделы: (13.5)
Нормоконтролёр		Е.Е.Савина ФБГУ ГНЦ ИФВЭ	Разделы: (Весь отчёт)

РЕФЕРАТ

Отчет 142 стр., 49 рис., 19 таблиц, 47 источников, 9 приложений.

ФИЗИКА ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ, ЦЕРН, 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, СТАНДАРТНАЯ МОДЕЛЬ, БОЗОН ХИГГСА

Объектом ПНИЭР являются детекторы установки АТЛАС на Большом адронном коллайдере (БАК) в ЦЕРНе, компоненты детекторов и программное обеспечение для организации триггеров, сбора и обработки данных с 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 выполнялись совместно с российскими и зарубежными институтами - участниками сотрудничества АТЛАС.

Представлен аналитический обзор литературы по теме ПНИЭР. Обоснован выбор направлений исследований.

Проведены патентные исследования по тематике ПНИЭР.

Разработана комплектность технической документации на лабораторные и экспериментальные образцы компонентов детекторных устройств, испытательные стенды и спецоборудование.

В рамках ПНИЭР в обеспечение создания новых малых колёс (НМК):

- разработаны технические требования к специальному оборудованию для изготовления тонкозоровых камер (ТЗК), а именно:

- устройства для натяжения анодных проволок;
- устройства для напыления графитового покрытия на стеклотекстолит;
- установки для смешивания рабочего газа;

- разработана и изготовлена специальная оснастка и инструменты для прецизионной сборки МИК;

- разработан и изготовлен полноразмерный рабочий «модуль 0» МИК.

Разработаны технических требования к характеристикам стендов:

- проверки тонкозоровых газовых ионизационных камер – ТЗК;
- проверки микроячейстых газовых ионизационных камер – МИК;
- контроля газовых детекторов ионизационных камер на основе рентгеновского сканера – РС;
- испытаний сцинтилляционных счетчиков для «горячих зон» – СЦС.

Разработаны два варианта дрейфовых трубок малого диаметра (ДТМ) и изготовлены их лабораторные образцы.

Исследованы варианты и возможности использования газовых и жидкоаргоновых калориметров, изучены сцинтилляционные и черенковские счётчики, ионизационные детекторы и детекторы вторичной эмиссии с целью выбора типа детектора для переднего миникалориметра.

Произведён выбор материалов и компонентов для изготовления образцов сцинтилляционных счётчиков для горячих зон.

Разработаны, изготовлены и испытаны лабораторные образцы элементов электроники цезиевой системы калибровки сцинтилляционного калориметра (ЭЦСК).
Разработаны лабораторных образцов 3-х типов плат для уровнемера ЦСК.

Обоснованы характеристики и разработаны элементы электроники жидкоаргонового калориметра (ЖАК).

Выполнены работы по оптическим кабелям ЖАК, а именно:

- разработана номенклатура и спецификации кабелей;
- разработана техническая документация по сборке и тестированию оптических кабелей;
- разработан перечень приобретаемых элементов спецоборудования для тестирования кабелей ЖАК (рефлектометр).

Представлена оценка возможностей измерений редких сигналов с помощью модернизированного супердетектора АТЛАС».

Проведены исследования возможностей изучения парного образования калибровочных бозонов при взаимодействиях протонов сверхвысоких энергий с помощью модернизированного супердетектора АТЛАС».

Выполнены работы по модернизации специального программного обеспечения:

- расширение информационной модели и развитие структуры данных ПО АТЛАС ГРИД Информационной Системы (АГИС) в условиях высоких загрузок;
- оптимизация СПО, описывающего геометрию трекового детектора переходного излучения (ТДПИ);
- анализ текущего состояния алгоритмов для реконструкции событий во Внутреннем детекторе АТЛАС;
- модификация алгоритмов триггера для выделения редких распадов В-мезонов при повышенной светимости БАК и анализ характеристик существующих триггеров;
- изучение возможностей поиска тяжёлого бозона Хиггса (ТБХ) на основе теоретических расчётов при повышенной светимости БАК.

СОДЕРЖАНИЕ

	Определения, обозначения и сокращения	9
	Введение	10
	Основная часть	13
1	Аналитический обзор литературы по теме ПНИЭР. Выбор и обоснование направлений исследований.....	13
2	Проведение патентных исследований по тематике ПНИЭР.....	16
3	Разработка комплектности технической документации на лабораторные и экспериментальные образцы компонентов детекторных устройств, испытательные стенды и спецоборудование.....	17
4	ПНИЭР в обеспечение создания новых малых колёс (НМК).....	18
4.1	Разработка технических требований к специальному оборудованию для изготовления тонкоззорных камер (ТЗК)	19
4.2	Разработка и изготовление специальной оснастки и инструментов для прецизионной сборки МИК	20
4.3	Разработка и изготовление полноразмерного рабочего «модуля 0» МИК	22
5	Разработка технических требований к характеристикам стендов.....	25
5.1	Стенд проверки тонкоззорных газовых ионизационных камер – ТЗК	25
5.2	Технические требования к стенду проверки микроячейстых газовых ионизационных камер	25
5.3	Стенд контроля газовых детекторов ионизационных камер на основе рентгеновского сканера – РС.....	26
5.4	Стенд испытаний сцинтилляционных счетчиков для «горячих зон» – СЦС.....	39
6	Разработка двух вариантов дрейфовых трубок малого диаметра (ДТМ) и изготовление их лабораторных образцов.....	40
7	Исследование вариантов и возможностей использования газовых и жидкоаргоновых калориметров, изучение сцинтилляционных и черенковских счётчиков, ионизационных детекторов и детекторов вторичной эмиссии с целью выбора типа детектора для переднего миникалориметра.....	45
8	Выбор материалов и компонентов для изготовления образцов сцинтилляционных счётчиков для горячих зон.....	47
9	Разработка, изготовление и испытания лабораторных образцов элементов электроники цезиевой системы калибровки сцинтилляционного калориметра (ЭЦСК).....	48
9.1	Испытания лабораторных образцов модулей управления помпами, клапанами и связи с периферийным оборудованием супердетектора АТЛАС с помощью существующего стендового оборудования.....	48
9.2	Разработка лабораторных образцов 3-х типов плат для уровнемера ЦСК.....	50
10	Обоснование характеристик и разработка элементов электроники жидкоаргонового калориметра (ЖАК).....	51

10.1	Разработка динамического мультиплексора данных для передачи сигналов в триггерную систему.....	51
10.2	Моделирование динамического мультиплексора данных ЭЖАК для передачи в триггерную систему.....	55
10.3	Разработка технических требований к новой электронике считывания для торцевого ЖАК, включая «холодные» усилители и предварительные формирователи.....	59
10.4	Расчет радиационной нагрузки в области размещения холодной электроники ЖАК и переднего калориметра с учетом результатов первого сеанса работы БАК. Расчеты деградации энергетического разрешения ЖАК при регистрации струй адронов на основе экспериментальной и генерированной методом Монте-Карло информации.....	59
11	Работы по оптическим кабелям жидкоаргонового калориметра.....	70
11.1	Разработка номенклатуры и спецификации кабелей.....	70
11.2	Разработка технической документации по сборке и тестированию оптических кабелей.....	72
11.3	Разработка перечня приобретаемых элементов спецоборудования для тестирования кабелей ЖАК (рефлектометр).....	74
12	Теоретические расчёты возможностей измерений редких сигналов с помощью модернизированного супердетектора АТЛАС». Теоретические исследования возможностей изучения парного образования калибровочных бозонов при взаимодействиях протонов сверхвысоких энергий с помощью модернизированного супердетектора АТЛАС.....	75
13	Работы по модернизации специального программного обеспечения.....	79
13.1	Расширение информационной модели и развитие структуры данных ПО АТЛАС ГРИД Информационной Системы (АГИС) в условиях высоких нагрузок.....	79
13.2	Оптимизация СПО, описывающего геометрию трекового детектора переходного излучения (ТДПИ).....	82
13.3	Анализ текущего состояния алгоритмов для реконструкции событий во Внутреннем детекторе АТЛАС.....	83
13.4	Модификация алгоритмов триггера для выделения редких распадов В-мезонов при повышенной светимости БАК и анализ характеристик существующих триггеров.....	87
13.5	Изучение возможностей поиска тяжёлого бозона Хиггса (ТБХ) на основе теоретических расчётов при повышенной светимости БАК.....	90
	Заключение	92
	Список использованных источников	94
	Приложение А. Техническое задание на подготовительные работы для сборки тонкозачерненных мюонных камер.....	97

Приложение Б. Техническое задание на разработку устройства намотки и натяжения анодных проволок для сборки ТЗК.....	106
Приложение В. Техническое задание на разработку устройства напыления катодных плоскостей для сборки тонкоззорных мюонных камер.....	112
Приложение Г. Техническое задание на разработку установки смешивания рабочего газа.....	118
Приложение Д. Техническое задание на изготовление инструментов для прецизионной сборки микроячейных мюонных камер	123
Приложение Е. Инструкция по сборке микроячейных мюонных камер с использованием специальной оснастки.....	125
Приложение Ж. Техническое задание на разработку стенда для высоковольтных испытаний тонкоззорных мюонных камер.....	127
Приложение И. Техническое задание на разработку стенда для испытаний сцинтилляционных счетчиков для «горячих зон».....	132
Приложение К. Программа и методика стендовых испытаний лабораторных образцов модулей управления помпами, клапанами и связи с периферийным оборудованием цезиевой системы калибровки адронного калориметра	
АТЛАС. Протоколы испытаний модулей управления и связи.....	137

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

В настоящем отчёте о ПНИЭР применяют следующие термины, обозначения и сокращения с соответствующими определениями:

Адроны	(от др.-греч. ἄδρός «крупный», «массивный») – термин предложен советским физиком Л. Б. Окунем в 1962 году, для класса элементарных частиц, подверженных сильному взаимодействию.
Коллайдер	(от англ. collide – сталкиваться) – ускоритель встречных пучков, предназначенный для изучения продуктов соударений частиц
Светимость	параметр ускорителя, характеризующий количество первичных взаимодействий частиц из встречных пучков, в единицу времени.
Эмиттанс	(англ. emittance) – численная характеристика ускоренного пучка заряженных частиц, равная объёму фазового пространства (в общем случае – шестимерного), занимаемого этим пучком.
Стандартная модель	теория в физике элементарных частиц, описывающая электромагнитное, слабое и сильное взаимодействие элементарных частиц.
Триггер	процедура для выделения из потока информации о взаимодействиях, регистрируемой детекторами, событий с заданными характеристиками для последующей записи и физического анализа.
Флюэнс	полное число нейтронов, прошедших через площадку в 1 см ² в 1 сек.
Калориметр	прибор для измерения энергии частиц.
КХД	квантовая хромодинамика – теория сильных взаимодействий.
АТСА	Advanced Telecommunications Computing Architecture – стандарт телекоммуникационного оборудования.
АЦП	аналого-цифровой преобразователь.
ВОЛП	волоконно-оптическая линия передачи данных.
ПЛИС	программируемая логическая интегральная схема.

ВВЕДЕНИЕ

Основанием для проведения ПНИЭР, выполняемых в рамках федеральной целевой научно-технической программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы», является Соглашение о предоставлении субсидии от 20 октября 2014 г. № 14.610.21.0005.

Тема соглашения: «Создание сверхбыстродействующих радиационно-стойких компонентов супердетектора новых тяжелых частиц АТЛАС Большого адронного коллайдера ЦЕРН для экспериментальных исследований рождения и распада частиц».

К работам по указанной теме в качестве соисполнителей были привлечены: ФГБУ Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера РАН, ФГБУ Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН, Объединённый институт ядерных исследований, «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова» (Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В.Скобельцына), ФГБУ «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова» и ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации – Институт Теоретической и Экспериментальной Физики».

Работы по модернизации установки АТЛАС начаты давно, практически сразу после запуска в эксплуатацию и, в зависимости от конкретных детекторов, находятся на различных стадиях выполнения. Планирование конкретных работ по детекторам ведётся так, чтобы монтажные работы на установке могли быть осуществлены в сроки, предусмотренные графиками работ при плановых остановках ускорителя. Поэтому название подотчётного этапа – «выбор и обоснование направлений исследований, оценка возможности оптимизации компонентов усовершенствованных детекторных устройств супердетектора АТЛАС для работы при повышенной светимости БАК» не вполне отражает весь спектр выполнявшихся работ, а лишь определяет общее их направление.

Работы по модернизации АТЛАС российскими группами велись ранее в рамках государственного контракта от «14» марта 2012 г. № 11.519.11.6029 по теме «Разработка аппаратуры для исследований фундаментальных взаимодействий при повышенной светимости протон-протонных столкновений в международном проекте АТЛАС» и текущие работы являются их продолжением.

Уровень актуальности и новизны ПНИЭР определяется прежде всего следующим.

Большой адронный коллайдер (БАК), расположенный в Европейском центре ядерных исследований (ЦЕРН), есть и останется в течение долгого времени ускорителем, который обеспечивает самую высокую энергию протон-протонных столкновений, что обеспечивает новизну и актуальность получаемых с его помощью экспериментальных результатов. Участие российских физиков в модернизации установки АТЛАС и в экспериментах на ней позволит сохранить позиции России в авангарде экспериментальной физики элементарных частиц.

Обоснованием необходимости проведения ПНИЭР является желание и готовность российских физиков сохранить эти позиции, продолжая использовать уникальные экспериментальные возможности, предоставляемые БАК и установкой АТЛАС.

Отчёт состоит из введения, основной части, заключения, списка использованных источников и нескольких приложений. Разбиение на разделы основной части соответствует пунктам плана графика первого этапа соглашения.

Общий план работ по модернизации АТЛАС кратко представлен ниже.

После первых успешных лет работы Большого адронного коллайдера (БАК) в 2010-2012 годах, сотрудничество АТЛАС готовится использовать в полной мере те новые экспериментальные возможности, которые открываются при исследовании недоступной ранее области энергий. Ожидается, что в 2015 году Большой адронный коллайдер, продолжит свою работу, после длительной остановки в 2013-2014 годах, при проектных значениях энергии протон-протонных столкновений в системе центра масс ($13\div 14$ ТэВ) и светимости ($\sim 10^{34}$ см⁻²с⁻¹). Это позволит эксперименту АТЛАС до конца 2017 года набрать интегральную светимость $50\div 100$ фб⁻¹. Вторую длительную остановку ускорителя БАК планируется осуществить в 2018 году, для того, чтобы интегрировать новый линейный ускоритель в комплекс инжектора, увеличить энергию ускорителя-бустера, что позволит уменьшить эмиттанс пучка, и обновить систему коллиматоров протонных пучков БАК. После возобновления набора данных в 2019 году светимость ускорителя, как ожидается, достигнет величины $2\div 3 \times 10^{34}$ см⁻²с⁻¹, что соответствует количеству столкновений протонов от 55 до 80 на одно пересечение пучков при интервале 25 нс между ними, что выходит далеко за проектные параметры ускорителя.

Модернизация детектора АТЛАС, которую планируется выполнить в 2014-2018 годах, позволит эксперименту использовать все физические возможности предоставляемые обновленным ускорительным комплексом. В частности, осуществление первой фазы модернизации позволит накопить статистику, соответствующую интегральной светимости $300\div 400$ фб⁻¹, что увеличит возможности для поиска новой физики и возможности для изучения новых явлений и состояний. Кроме того, первая фаза модернизации спланирована так, чтобы быть полностью совместимой с физической программой для высокой светимости БАК (High Luminosity LHC), где светимость должна достичь $5\div 7 \times 10^{34}$ см⁻²с⁻¹, а интегральная светимость 3000 фб⁻¹.

В 2012 эксперимент АТЛАС уже объявил об открытии новой частицы, которая соответствует бозону Хиггса Стандартной Модели (СМ), тем самым открыв новую эру в нашем понимании происхождения массы и материи. Во время второго этапа набора статистики (2015-2017 гг.), планируется исследовать различные моды распада бозона Хиггса. Статистика, набранная после первой фазы модернизации детектора, позволит выполнить прецизионные измерения свойств бозона Хиггса, в частности измерить константы связи с фермионами и бозонами СМ. Так, например, измерение констант связи через наблюдение конечных состояний WH путем выделения лептона от распада W -бозона и распадом бозона Хиггса по каналам $H \rightarrow \tau\tau$, $H \rightarrow bb$, $H \rightarrow WW^*$, $H \rightarrow ZZ^*$, позволит уменьшить систематическую ошибку, связанную с механизмом рождения бозона Хиггса.

Основными задачами ПНИЭР по теме соглашения являются:

- Проработка как новых детекторов для установки АТЛАС, так и путей модернизации существующих детекторов и программного обеспечения установки с целью обеспечения её эффективной работы в условиях увеличенной светимости и энергии БАК.

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

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1 Аналитический обзор литературы по теме ПНИЭР. Выбор и обоснование направлений исследований.

Прежде чем представлять обзор литературы по тематике подотчётных работ уместно обозначить общие ограничения на выбор направлений исследований в рамках ПНИЭР. Прежде всего, как следует из темы ПНИЭР по соглашению, это работы по модернизации установки АТЛАС под проектируемое увеличение светимости БАК. Группы физиков и инженеров из Российских институтов в течение более 10 лет принимают участие в создании установки АТЛАС и в экспериментах с её использованием. Соответственно, направления работ этих групп определяются накопленным ранее опытом, имеющимся у них оборудованием и обязательствами по обеспечению работы закреплённых за ними детекторов АТЛАС.

Несколько слов о физической программе. После открытия бозона Хиггса, будущая физическая программа эксперимента АТЛАС становится более определенной. Помимо измерения констант связи и других свойств нового бозона, поиск явлений новой физики на энергиях в несколько ТэВ будет оставаться одной из приоритетных задач. Хотя природа физических явлений за пределами Стандартной модели пока точно не известна, можно ожидать в ближайшем будущем новых интересных открытий в экспериментах на Большом адронном коллайдере [1,2]. Поиск суперсимметрии (SUSY) остается одним из приоритетов физической программы на БАК. В суперсимметричных теориях, для того чтобы решить проблему иерархии, супер-партнеры, в частности те, которые сильно связаны с частицами хиггсовского сектора, не должны быть слишком тяжелыми. Так, легкий топ скварк (супер партнер топ-кварка) должен быть легче 700 ГэВ, а глюино (супер-партнер глюона) должно быть легче, чем $\sim 1,5$ ТэВ. Кроме того, массы всех хиггсино (супер-партнеры бозонов Хиггса) должны находиться в пределах электрослабого масштаба. На сегодняшний день, существование глюино с массами ниже 1,0 ТэВ [3] исключено при данных предположениях о массовом спектре суперсимметрии. Пределы, установленные на топ скварк и калибрино (супер-партнеры бозонов Стандартной модели), являются менее жесткими, и равны 500 [4] и 150 ГэВ [5] соответственно. Нижние пределы сечений изучаемых процессов уменьшаются при увеличении статистики, которую можно будет набрать при высокой светимости Большого адронного коллайдера. Ограничение на существование глюино с массой до 2.6 ТэВ можно дать при статистике соответствующей 300 фб^{-1} , и до 3.0 ТэВ при 3000 фб^{-1} . Для топ скварка и калибрино, можно получить ограничения на их существование до 800 (900) и 450 (950) ГэВ соответственно для 300 фб^{-1} (3000 фб^{-1}).

Исследование процессов с участием топ-кварков на большой статистике позволит установить пределы на 95% уровне достоверности для вероятностей распадов $t \rightarrow q\gamma$ и $t \rightarrow qZ$ в диапазоне от 10^{-4} до 10^{-3} для интегральной светимости 300 фб^{-1} . Эти пределы могут быть улучшены до 10^{-5} и 10^{-4} для 3000 фб^{-1} . Таким образом, эксперимент АТЛАС чувствителен к различным расширениям Стандартной модели, в которых вероятности распадов в процессах обмена нейтральными токами, изменяющими аромат кварков

(FCNK – Flavor Changing Neutral Current), усиливаются до 10^{-4} . К таким моделям относятся минимальная суперсимметричная модель, суперсимметрия с нарушением R-четности и модели со скрытыми дополнительными размерностями.

Другой важной задачей является поиск дополнительного нестандартного тяжелого бозона Хиггса (ТБХ) с заранее неизвестной массой. Открытие такой частицы однозначно свидетельствовало бы о существовании новой физики. Необнаружение такого бозона в широком диапазоне сканируемых масс позволило бы существенно сузить диапазон возможных параметров многих теоретических моделей. В рамках решения этой проблемы, ПНИЭР направлены на совершенствование имеющегося алгоритма поиска ТБХ и его оптимизацию для одного из перспективных каналов распада бозона Хиггса: $H \rightarrow WW \rightarrow l\nu l\nu$. Как показал опыт с СБХ, без применения большого количества кинематических критериев отбора, которые и будут являться результатом указанной оптимизации, увидеть сигнал или ограничить область поиска в случае его отсутствия, невозможно [6, 7]. Предварительный набор таких критериев отбора представлен в работе [8], которая служит отправной точкой для дальнейшей их оптимизации.

Программа создания новых малых колёс (НМК) мюонного спектрометра АТЛАС детально представлена в техническом проекте НМК [9]. Там же приведён обширный список литературы по теме.

Детекторами НМК являются новые тонкоззорные камеры (ТЗК) [10-12] и микроячейные камеры (МИК) [13-15]. Основной задачей ТЗК является обеспечение триггера первого уровня, вместе же с МИК камеры обеспечивают надежную процедуру восстановления мюонных треков в передней области.

Первые исследования на установке АТЛАС были направлены на изучение свойств заряженных частиц в р-р столкновениях [16,17]. Оценка полного сечения р-р взаимодействий варьируется в значительных пределах из-за теоретических неопределенностей и составляет $\sigma_{tot} \approx 100$ mb. Имеется много вариантов моделей для полных сечений неупругих взаимодействий и относительного вклада дифракционных процессов. Большое разнообразие также имеется и в отношении кинематики сталкивающихся частиц. Большая часть рр-взаимодействий на АТЛАСе происходит с образованием частиц с малым поперечным импульсом p_t , т.е. работает непertурбативная квантовая хромодинамика. При выделении событий р-р столкновений важно знать эффективность триггера для разных типов событий для получения несмещенных оценок при измерении сечений тех или иных событий. В эксперименте АТЛАС используются три взаимодополняющих триггера минимального смещения. Один из них использует сцинтилляционные счетчики, составленные в диски, которые размещаются на торцах жидкоаргонового калориметра. Диски располагаются в «горячих» зонах установки с высокой радиационной нагрузкой. Это накладывает дополнительные требования к радиационной стойкости материалов, используемых при изготовлении счетчиков. Каждый диск собран из восьми секторов сцинтилляционных пластин трапецеидальной формы – счетчиков триггера минимального смещения (СТМС). Свет со сцинтилляционных пластин передается на ФЭУ при помощи спектросмещающих волокон. Диски перекрывают углы, соответствующие псевдобыстроте $2,1 < \eta < 3,8$. Триггер на базе данных счетчиков

продемонстрировал высокую эффективность и имел большой акцептанс для неупругих взаимодействий [18].

Это мотивировало модернизацию СТМС для их использования в составе установки АТЛАС после повышения светимости БАК на порядок.

По тематике переднего миникалориметра были проанализированы характеристики сцинтилляционных [19-23], кристаллических [24-28], жидких [29-34] и газообразных [35-38] калориметров с различной геометрией электродов - годоскопической, ячеистой и цилиндрической. При этом внимание уделялось как физическим характеристикам (энергетическое и пространственное разрешения, "мёртвое" время и др.), так и таким параметрам, как радиационная стойкость и стоимость. Высокая радиационная стойкость является одним из основных требований, так как передний миникалориметр располагается в самой "горячей" зоне установки. Учитывалась также возможность включения калориметра в действующую установку. На основе анализа литературы сделано заключение, что наиболее предпочтительными, а может быть и единственными, вариантами переднего миникалориметра для установки АТЛАС являются ионизационные газовые калориметры или калориметры на жидком аргоне (аргон значительно дешевле криптона и ксенона).

В целом анализ литературы по тематике ПНИЭР подтвердил правильность избранных направлений исследований и проверяемых технических решений. Все технические решения содержат элементы новизны, в рамках доступности по финансовым ограничениям. Сравнение с детекторами установок сопоставимых масштабов показывает соответствие выполненных и планируемых работ мировому уровню для реально работающей в экспериментах аппаратуры.

2 Проведение патентных исследований по тематике ПНИЭР.

Все оборудование в рамках ПНИЭР создается в единичных экземплярах для научных исследований, для конкретной задачи - использования в установке АТЛАС. Другое использование не предусматривается и патентование, за редчайшими исключениями, не предполагается. В связи с уникальностью установки АТЛАС компоненты для её модернизации коммерческой ценности не предоставляют. Однако, в ходе работ по радиационно стойким материалам и технике изготовления отдельных элементов детекторов возможно будут найдены решения, представляющие ценность для более широкой области применений.

Поэтому были проведены патентные исследования, результаты которых представлены в отдельном отчёте.

- 3 Разработка комплектности технической документации на лабораторные и экспериментальные образцы компонентов детекторных устройств, испытательные стенды и спецоборудование

На основе плана-графика ПНИЭР подготовлен перечень технических документов, разрабатываемых на этапах выполнения соглашения, представляемый в виде отдельного документа.

4 ПНИЭР в обеспечение создания новых малых колёс (НМК)

Ожидается, что после второй длительной остановки БАК в 2018 году его светимость будет превышать проектное значение. Это повлияет на работу многих детекторов расположенных в передней области эксперимента АТЛАС. В частности, возрастет фоновая нагрузка мюонных камер, расположенных непосредственно перед торцевыми тороидальными магнитами в, так называемых, малых мюонных колесах (Small Muon Wheel). Это приведет к увеличению скорости счета мюонного триггера 1-го уровня и к проблемам с реконструкцией мюонных треков в этой области детектора. Фоновые частицы в этой области в основном рождаются в радиационной защите, расположенной вокруг оси пучка. Фоновые частицы, как видно из рисунка 1, летят не из точки взаимодействия пучков.

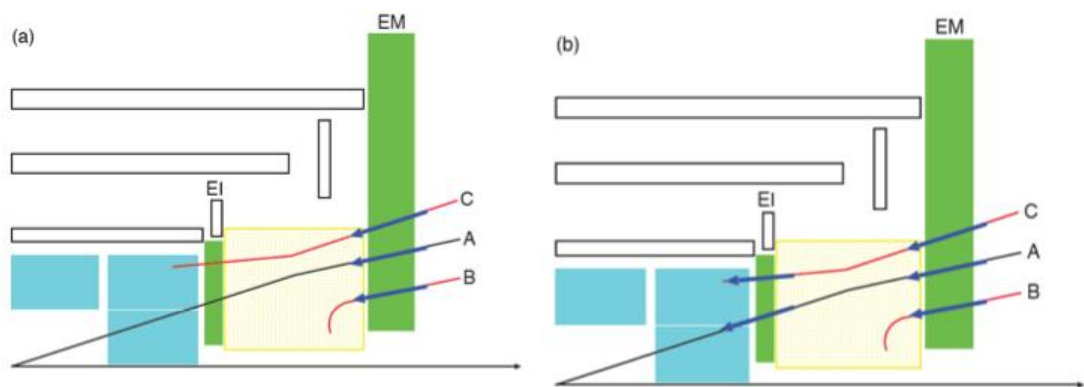


Рисунок 1 - Слева: Существующий мюонный триггер 1-го уровня в передней области вырабатывается камерами, расположенными в больших мюонных колесах (EM).

Фоновые частицы (B и C), приходящие не из точки взаимодействия пучков, будут вызывать ложные срабатывания триггера 1-го уровня. Справа: используя сегменты треков триггера 1-го уровня, реконструированные в мюонных камерах, расположенных в новых малых мюонных колесах (зеленый прямоугольник в области EI), можно подавить ложные срабатывания триггера и тем самым снизить частоту срабатывания триггера 1-го уровня.

Однако сегменты их треков, восстановленные в больших мюонных колесах, не позволяют отличить их от сегментов треков частиц, приходящих из точки взаимодействия пучков. Установка новых малых мюонных колес (НМК), в которых будут использоваться новые мюонные камеры, способные восстановить сегменты треков для триггера 1-го уровня, позволит подавить ложные срабатывания триггера. Основное требование к мюонным камерам НМК состоит в том, что сегменты треков должны быть измерены с угловым разрешением ~ 1 мрад.

Моделирование показывает, что установка новых мюонных колес позволит сократить скорость счета мюонного триггера 1-го уровня в этой области в 5 раз. Такое существенное сокращение скорости счета позволит сохранить низкий порог срабатывания мюонного триггера 1-го уровня по поперечному импульсу изолированных мюонов.

Дополнительное требование к новым мюонным камерам НМК состоит в том, что они должны работать вплоть до светимости $5 \times 10^{34} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$, которую планируется достичь

после второй фазы модернизации БАК.

4.1 Разработка технических требований к специальному оборудованию для изготовления тонкозазорных камер (ТЗК)

ТЗК состоят из двух тонких листов стеклотекстолита, которые образуют два катода с газонаполненным промежутком между ними. В середине газового промежутка расположена плоскость с анодными проволоками. Высокое напряжение между катодами и анодными проволоками вызывает образование лавины на анодных проволоках при прохождении через газовый промежуток ионизирующей частицы, что вызывает появление электрического сигнала. Внутренние поверхности стеклотекстолита покрыты слоем резистивного материала (графит), что ограничивает размер лавины. На наружных поверхностях стеклотекстолита располагаются медные стрипы (узкие полоски) на одном из катодов и медных падов (широкие полосы) на другом катоде.

Сигналы, индуцированные на катодах, считываются электроникой и являются основными выходными сигналами с камеры. Сигналы с падов будут использоваться для выработки быстрого триггерного сигнала, в то время как сигналы со стрипов обеспечивают точное измерение координат. В НМК четыре ТЗК будут собраны в единую структуру, способную обеспечить как сигнал для триггера 1-го уровня, так и сигналы для точного восстановления трека заряженной частицы. На рисунке 2 показана схема размещения тонко зазорных камер на НМК.

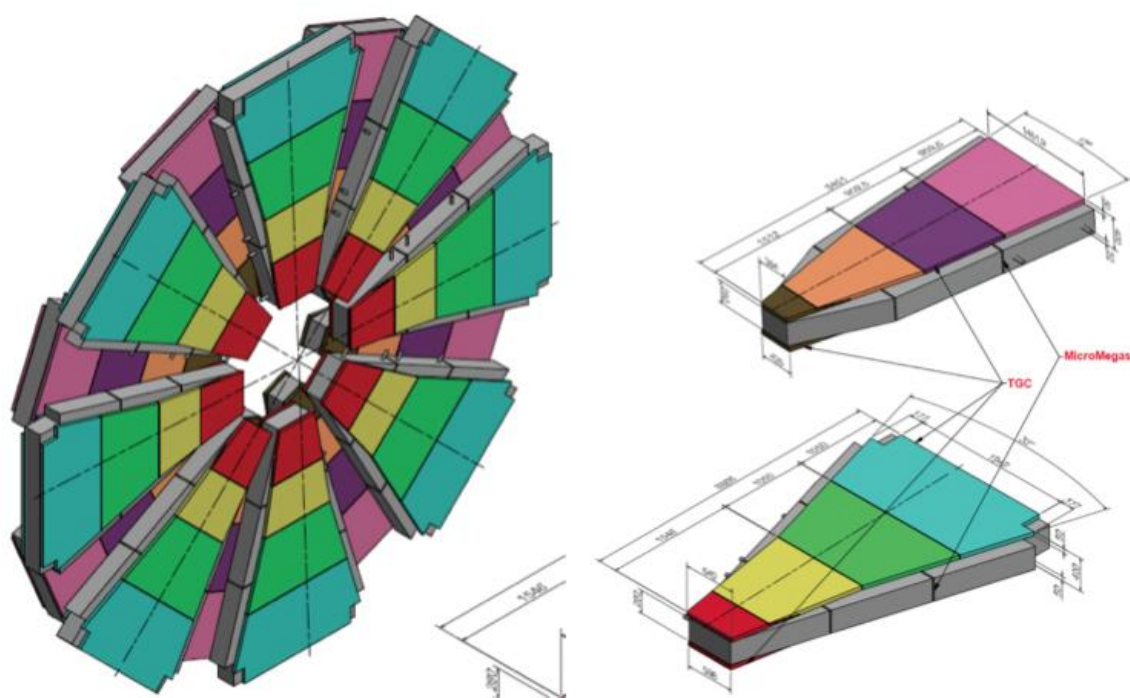


Рисунок 2 - Слева: 16 секторов мюонных камер, установленных на НМК. Справа: Два разных сектора мюонных камер, на которых показаны микроячеистые камеры (серый цвет), расположенные между двумя слоями тонко зазорных камер ТЗК. Используются ТЗК четырех типов, разных размеров (показаны на рисунке разным цветом).

Для измерения сегментов треков заряженных частиц с точность ~ 1 мрад в

эксперименте АТЛАС при высокой светимости БАК требуется внести ряд изменений в конструкции камер. Одно из изменений состоит в использовании более низкого сопротивления резистивного покрытия катодов, чтобы камера могла работать при более высоких нагрузках. Способность напылять резистивное покрытие из графита, сопротивление которого различается не более чем на 10% по всей площади катода, является одной из ключевых задач в производстве этих камер. Другая новинка заключается в использовании более узких стрипов, чтобы увеличить точность измерения координат трека.

Техническое задание на подготовительные работы, необходимые для изготовления ТЗК приведено в Приложении А.

Технические задания на необходимое специальное оборудование приведены в Приложениях Б, В и Г.

4.2 Разработка и изготовление специальной оснастки и инструментов для прецизионной сборки МИК

Жесткие допуски на геометрию механической структуры МИК определяют необходимость сборки камер на опорной поверхности с хорошей плоскостностью.

Для серийной сборки считывающих плоскостей дубненская группа совместно ЦЕРН намеревается использовать метод двух прецизионных жестких вакуумных столов (vacuum stiff-back). У этого метода несколько преимуществ: можно не использовать точный гранитный стол необходимых размеров, отпадает необходимость в оптических инструментах для юстировки печатных плат во время склейки (при условии, что прецизионные реперные отверстия сделаны на stiff-back) и за один раз можно склеить двухстороннюю считывающую панель (в системе stiff-back+гранитный стол необходимы два этапа склейки). Суть метода поясняет рисунок 3.

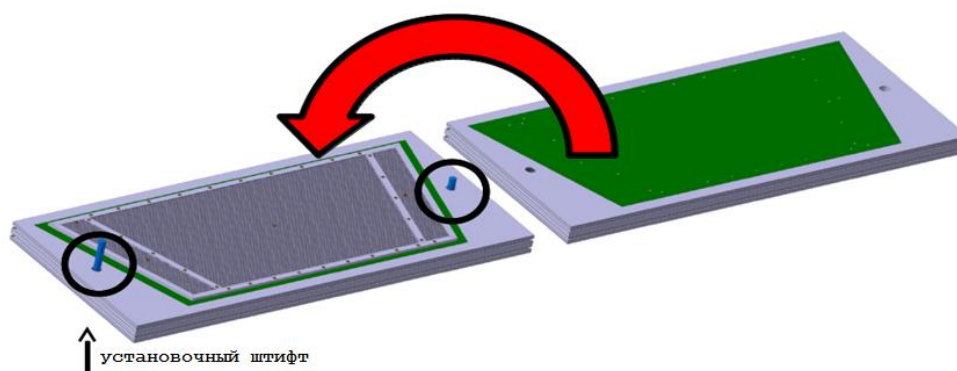


Рисунок 3а - Концепция использования метода двух вакуумных столов (ВС). Вид сверху.

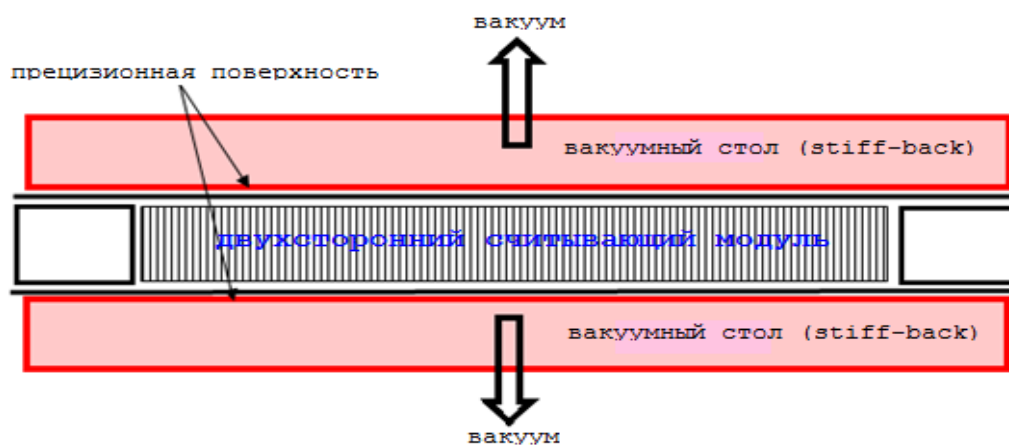


Рисунок 3б - Концепция использования метода двух вакуумных столов (ВС). Поперечный разрез.

Техническое задание на изготовление оснастки приведено в Приложении Д.

Точный поверхностный слой ВС изготавливался из эпоксидного геля «EP Gel coat Weiß» и из структурных слоев стекловолокна «Glasgewebe 92150 FK-144 345g/m2 Leinwand». Гель наносился на поверхность точного гранитного стола, и сверху на него накладывалось стекловолокно. После высыхания геля операция повторялась. Для каждого поверхностного слоя ВС использовали по 5 слоев эпоксидного геля и стекловолокна. Приготовленный таким образом поверхностный слой имел толщину примерно 3,5 мм и в точности повторял форму поверхности гранитного стола. Для несущей рамы были использованы углеродное волокно, алюминиевая сотовидная решетка толщиной 6 см и алюминиевые вставки (столбики) для получения жесткой структуры. Детали ВС между собой склеивали с помощью эпоксидного клея Araldite 2011. На рисунке 4 показаны вакуумного стола в процессе производства и в окончательном виде.





Рисунок 4 - Фотографии ВС в процессе производства и в окончательном виде

В дальнейшем на точном поверхностном слое ВС с использованием координатно-измерительной машины были просверлены отверстия как для вакуумного присасывания печатных плат во время склейки, так и прецизионные отверстия для механического позиционирования плат с помощью штифтов.

Была произведена проверка плоскостности ВС. На рисунке 5 показан результат проверки.

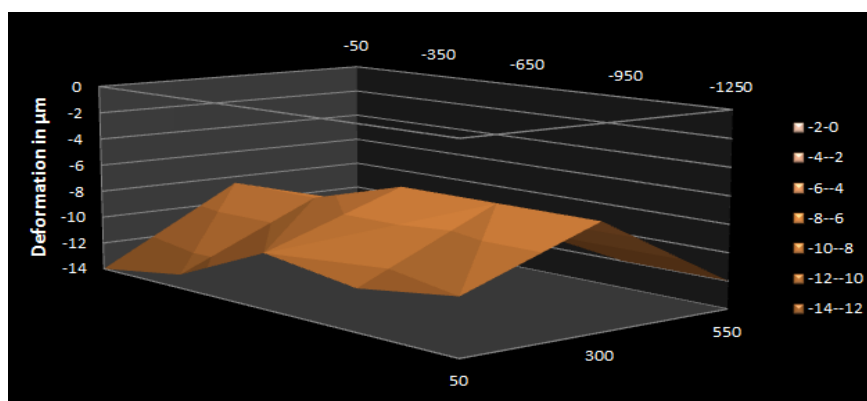


Рисунок 5 - Результат измерения плоскостности ВС

Как и ожидалось, рабочий поверхностный слой ВС в точности повторил форму поверхности гранитного стола. Достигнутое отклонение ВС от плоскостности менее, чем 10 мкм. Более того, мы не обнаружили нарушения плоскостности при температурном градиенте $\Delta T = 7^\circ\text{C}$!

4.3 Разработка и изготовление полноразмерного рабочего «модуля 0» МИК

С использованием изготовленных вакуумных столов (ВС) была произведена склейка не только считывающих (обязательство ОИЯИ), но и дрейфовых (обязательство Университета Аристотеля в Салониках, Греция) панелей для последующей сборки рабочего квадруплета (обязательство ОИЯИ).

По результатам этих работ нами была разработана инструкция по сборке МИК (см. Приложение Е).

На рисунке 6 показаны фотографии некоторых этапов склейки модулей и собранного квадруплета.

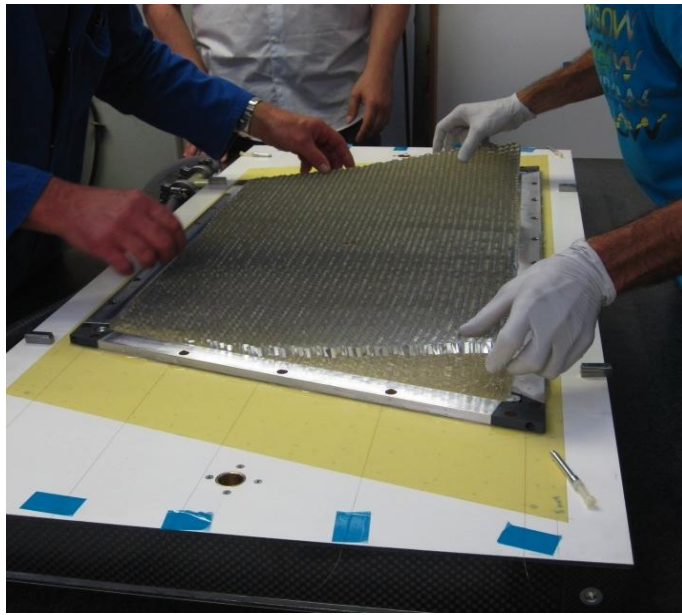
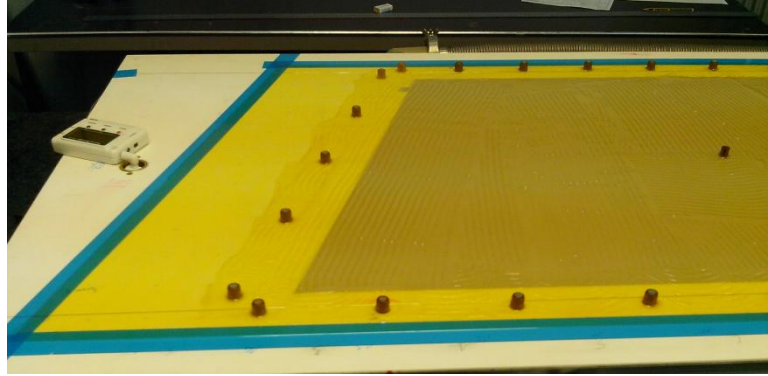
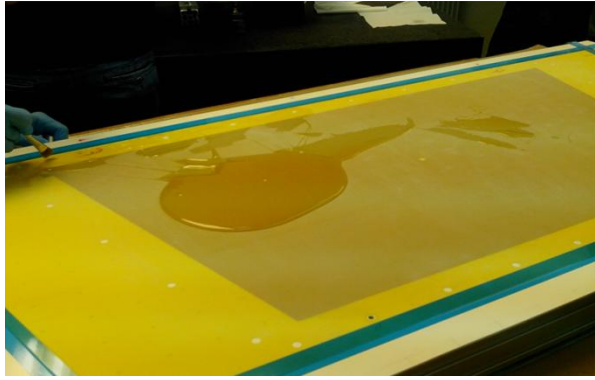




Рисунок 6 – Фотографии ряда этапов склейки панелей и собранного квадруплета

В целом использованная техника сборки квадруплета оказалась вполне работоспособной и может, после несущественных доработок, применяться для изготовления остальных камер.

- 5 Разработка технических требований к характеристикам стендов
5.1 Стенд проверки тонкозазорных газовых ионизационных камер – ТЗК

Техническое задание на стенд высоковольтных испытаний ТЗК (с изложением технических требований) приведено в Приложении Ж.

- 5.2 Технические требования к стенду проверки микрочастистых газовых ионизационных камер

Опыт использования работающего в установке АТЛАС мюонного спектрометра показывает, что для надёжной реконструкции мюонных треков поперечный импульс следует измерять с разрешением лучше, чем 15% для мюонов с импульсом 1 ТэВ. Это требует механической точности сборки камеры $\sigma_{\text{камеры}}=40$ мкм с учетом всех 16 плоскостей измерения с разрешением 100 мкм на плоскость (для сравнения, точность сборки используемых дрейфовых камер была 20 мкм). $\sigma_{\text{камеры}}$ включает в себя как точность позиции считывающих полос/стрипов на плоскости считывания, так и точность сборки дрейфовой плоскости.

Это приводит к следующим требованиям для любого детектора Новых Малых Колес:

- для каждой плоскости детектора, положение вдоль точной координаты должно быть известно со среднеквадратической погрешностью менее 30 мкм;
- координата положения любого элемента детектора, перпендикулярно указанной выше точной координате, должна быть известна со среднеквадратической погрешностью менее 80 мкм;
- отклонение размера дрейфового зазора от номинального значения (5 мм) должно быть меньше, чем 200 мкм в любом месте в камере;
- газовое усиление детектора должен быть равномерным по всей чувствительной области детектора с максимальным отклонением 50% от рабочей точки и не ниже 5×10^3 (половина номинального усиления детектора);
- Все детекторы должны быть достаточно герметичными (не должны терять более чем 10^{-5} объема газа в минуту, что соответствует падению давления на примерно 0,6 мбар/час для квадруплета емкостью 50 л).

Первые два требования перечня удовлетворяются использованием специальной оснастки и инструментов для сборки камер, о которых речь пойдёт ниже.

Проверка выполнения третьего и четвертого требований проверяется на стенде с использованием космических лучей, или, что предпочтительнее, рентгеновским сканером контроля газовых детекторов, который разрабатывается в НИЯУ МИФИ в рамках настоящих ПНИЭР.

Для проверки герметичности (пятое требование) будет использоваться дифференциальный манометр.

Кроме того, необходима проверка камер на искрение. Проверку следует проводить при составе рабочего газа $\text{Ar}:\text{CO}_2$ (93:7) при номинальных напряжениях или на воздухе при напряжениях превышающих номинальное примерно в полтора раза.

5.3 Стенд контроля газовых детекторов ионизационных камер на основе рентгеновского сканера – РС

В эксперименте по выработке технических требований к характеристикам стенда контроля ТЗК на основе рентгеновского сканера (РС) были использованы следующие составляющие:

- (1) детектор, представляющий собой квадруплет ТЗК. Схематическое представление детектора представлено на рисунке 7.

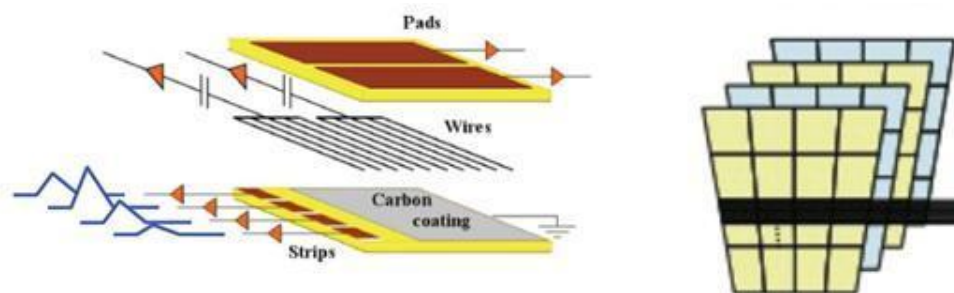


Рисунок 7 - Структура ТЗК (слева сверху – пады, ниже – анодные проволоки, внизу резистивный катод и стрипы) и (справа) схема сборки квадруплета.

- (2) рентгеновская трубка фирмы АМРТЕК с прикладным программным обеспечением. В эксперименте использовалась коллимация пучка источника излучения (латунная трубка диаметром 3 см и длиной 16 см), защита от альbedo рентгеновского излучения (подробнее описано в разделе радиационная безопасность рентгеновской трубки). Параметры и фотография трубки, представлены в таблице 1 и на 8 и 9.

Таблица 1. Параметры рентгеновской трубки.

Параметры рентгеновской трубки фирмы АМРТЕК	
Материал трубки	Металлокерамика
Напряжение	5 – 50 кВ
Ток	0 – 200 мкА
Мощность	Максимум 4 Вт
Тип катода	Вольфрамовая нить
Размер окна гамма-излучения	Ве, 125 мкм
Материал мишени	Стандартные: Au, Ag или Rh Опционально: W
Размер фокусного пятна	Приблизительно 2 мм
Выходной конусный угол	120 ⁰



Рисунок 8 - Фотография рентгеновской трубки фирмы АМРТЕК.

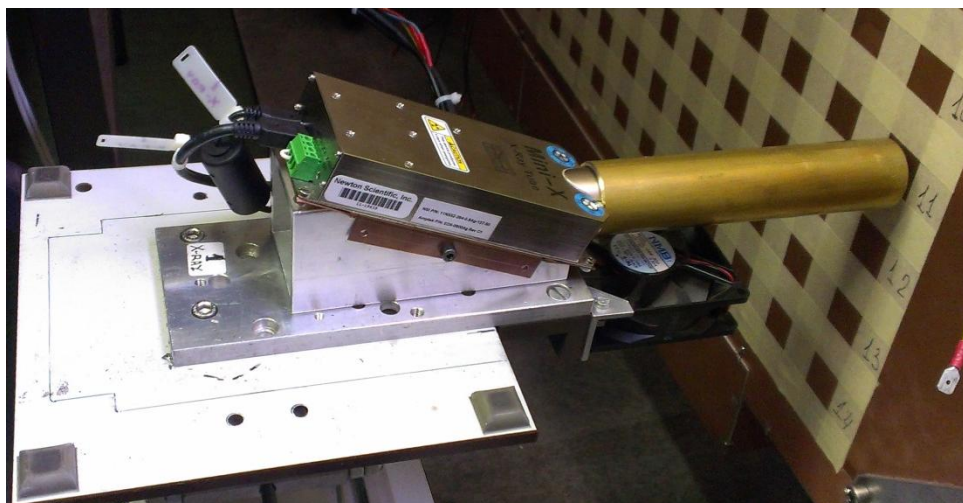


Рисунок 9 - Рентгеновская трубка фирмы АМРТЕК, установленная на механической подставке для изменения координаты сканирования по оси абсцисс.

- (3) в качестве источника высоковольтного питания используется двухканальный NIM модуль N 471A фирмы CAEN. Диапазоны выходного напряжения каждого канала (режим автоматического выбора) от 0 до ± 8 кВ / 8 мкА (с разрешением по току 1 нА).

Для проведения эксперимента с газовым детектором ТЗК были соблюдены следующие условия работы:

- подача газа из баллона в детектор регулировалась с помощью контроллера потока;
- отвод газа от детектора в осуществлялся в атмосферу;
- осуществлялся продув объёма детектора в течение ~ 24 часов при потоке, равном 0,5 номинального объёма в 1 час (соответствует потоку ~ 5 литров в час);
- перед началом работы поток газа в детектор выставляется равным $\frac{1}{4}$ от номинального объёма детектора (соответствует потоку ~ 2 литра в час);
- напряжение питания на детектор подаётся с шагом нарастания в 100 В до значения 1700 В, а затем с шагом в 30 В до значения 2900 В.
- затем на рентгеновскую трубку подавалось напряжение питания;
- рентгеновская трубка выставлялась по осям абсцисс и ординат в нужную позицию;
- с помощью ПО выставлялись необходимые значения тока и напряжения на рентгеновской трубке.

Для считывания и записи значений тока через камеры с мультиметров была подготовлена специализированная программа в среде LabVIEW, которая позволяет считывать данные, записывать их в файл, отображать на графике и производить различные настройки графического отображения.

Графический интерфейс программы показан на Рисунок 10.

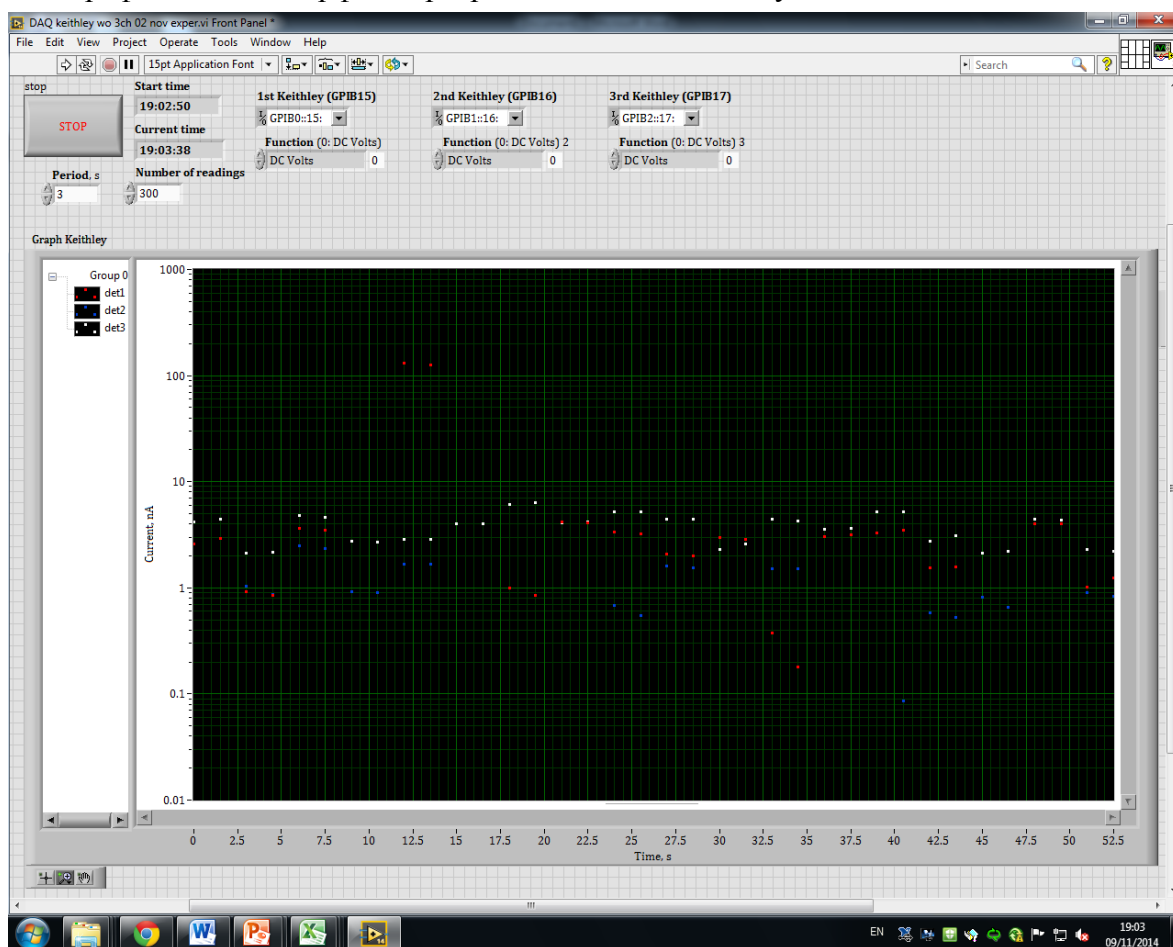


Рисунок 10 – Фотография окна программы сбора данных.

В верхней части находятся элементы управления, относящиеся к компоновке программы в среде LabVIEW. Ниже органы управления – выбор адресов приборов, отсчет времени, выбор функции измерения мультиметра, выбор периода измерений (в данной версии программы за выбираемый период измерений производится два измерения), полное количество измерений до остановки работы программы. Основную часть окна занимает узел графического представления результатов, в котором можно увеличивать отдельные участки, выделять фрагменты и экспортировать представленные на графике данные в виде векторного или растрового изображения, а также в виде текста и таблиц Excel.

Также ведется файл протокола с данными измерений, однако для большинства измерений достаточно функции экспорта данных, отображенных на графике.

Важным достоинством разработанной программы является возможность быстрого изменения режима ее работы, добавления канала или какого-либо дополнительного прибора. В отличие от текстовых языков программирования, LabVIEW позволяет

производить такие изменения в очень сжатые сроки, благодаря наглядности и компактности представления узлов программы в виде блок-диаграммы.

Особенностью схемы включения мультиметров является то, что они подключены через калиброванное сопротивление, и поэтому, измеряя фактически напряжение, мы получаем значение тока в наноамперах через множитель. Полученные значения умножаются на этот множитель и отправляются одновременно в несколько стеков данных – графический, который преобразует весь стек в график, и модуль, отвечающий за сохранение в файл. В случае возникновения ошибки отчет об ошибке выдается благодаря специальному узлу Erog, продублированному для каждого из каналов. Все вышеописанные действия находятся в цикле, количество итераций задается пользователем в поле Number of readings, внутри одной итерации, в данной версии программы, производится два считывания.

Приведём ряд замечаний о радиационной безопасности при работе с рентгеновской трубкой. Используемая рентгеновская трубка генерирует гамма кванты с энергией от 35 до 40 КэВ. Для предоставления рекомендаций по защите от радиационного излучения необходимо было провести проверку эффективной дозы облучения от работы самой трубки и от альбедо.

Спектр трубки Mini-X производства Amptek. для мишени Ag приведен на рисунке 11.

Серебряная мишень. Напряжение 50 кВ.

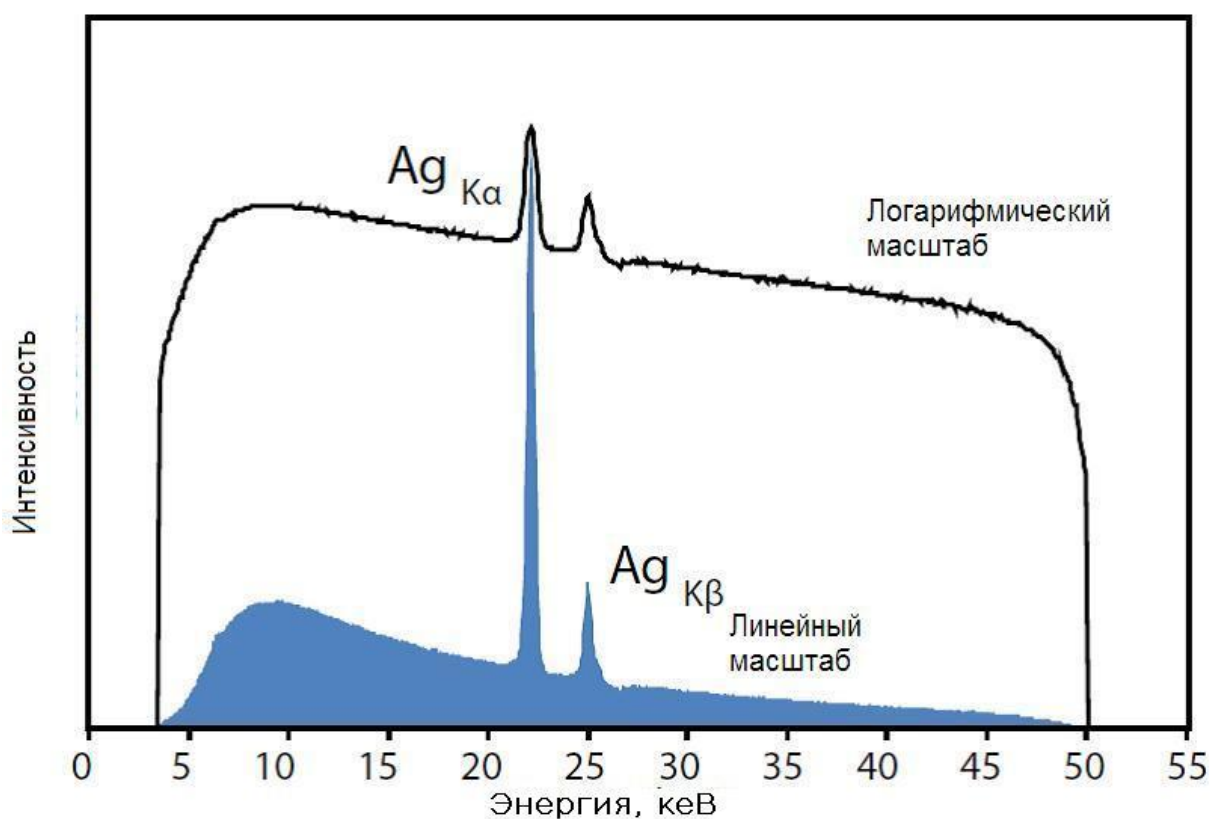


Рисунок 11 - Спектр рентгеновской трубки Mini-X (Amptek) с серебряной (Ag) мишенью.

Выходной конусный угол трубки составляет 120° (показан на рисунке 12).

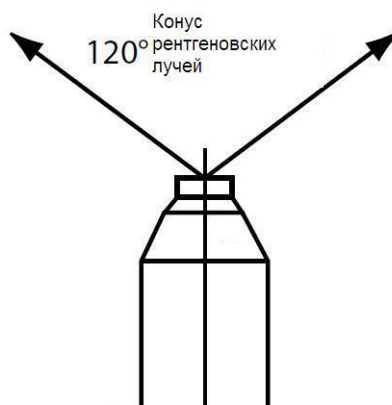


Рисунок 12 - Схематическое изображение выходного пучка рентгеновской трубки.

По данным производителя трубки эффективная доза облучения не превышает 25 мкЗв/ч на расстоянии 5 см, при условии использования чехла и латунной заглушки.

В нашем случае рентгеновская трубка находилась в трех состояниях:

- с двухмиллиметровым чехлом из свинца без заглушки, входящей в комплект рентгеновской трубки;
- с заглушкой без чехла;
- совсем без защиты.

Измерения проводились в трех положениях: сзади, сверху, сбоку, а также при различных параметрах излучения. В качестве детектора использовался 451P Pressurized μ R Ion Chamber Radiation Survey Meter производства FlukeBiomedical. Результаты представлены в таблицах 2, 3 и 4.

Таблица 2. Эффективная доза ионизирующего излучения, измерения позади трубки

	Эффективная доза ионизирующего излучения (сзади), мкЗв/ч									
	Без ничего				С заглушкой из свинца и латуни			С 2 мм защитой из свинца без заглушки		
	5 см	20 см	30 см	50 см	5 см	30 см	50 см	5 см	30 см	50 см
X-RAY: 30kV, 110 μ A	0,5	0,4	0,3	0,2	Фон	Фон	Фон	0,33	0,15	0,08
X-RAY: 35kV, 95 μ A	1.2	1	0.9	0.4	Фон	Фон	Фон	0,72	0,61	0,33
X-RAY: 40kV, 80 μ A	1.8	-	1	0.8	Фон	Фон	Фон	1,1	0,4	0,1

Таблица 3. Эффективная доза ионизирующего излучения, измерения сбоку трубки

	Эффективная доза ионизирующего излучения (справа), мкЗв/ч										
	Без ничего				С заглушкой из свинца и латуни			С 2 мм защитой из свинца без заглушки			
	5 см	20 см	30 см	50 см	5 см	30 см	50 см	5 см	20 см	30 см	50 см
X-RAY: 30kV, 110 μA	0,8	-	0,7	0,4	Фон	Фон	Фон	0,56	0,6	0,4	0,2
X-RAY: 35kV, 95μA	2,1	1,6	1,44	0,8	Фон	Фон	Фон	1,3	1,1	0,6	0,5
X-RAY: 40kV, 80μA	3,5	2,9	1,6	1,2	0,11	Фон	Фон	3,4	1,6	1,6	1,1

Таблица 4. Эффективная доза ионизирующего излучения, измерения сверху трубки

	Эффективная доза ионизирующего излучения (сверху), мкЗв/ч								
	Без ничего			С заглушкой из свинца и латуни			С 2 мм защитой из свинца без заглушки		
	10 см	30 см	60 см	10 см	30 см	60 см	10 см	30 см	60 см
X-RAY: 30kV, 110 μA	0,9	0,25	0,1	Фон	Фон	Фон	0,42	0,25	0,2
X-RAY: 35kV, 95μA	1,4	0,65	0,46	Фон	Фон	Фон	1,05	0,6	0,35
X-RAY: 40kV, 80μA	2,3	1,7	0,6	0,6	Фон	Фон	1,7	0,8	0,5

Как видно из результатов основной вклад в ионизирующее излучение дает альbedo. Для проверки данного утверждения была собрана конструкция, показанная на рисунке 13.

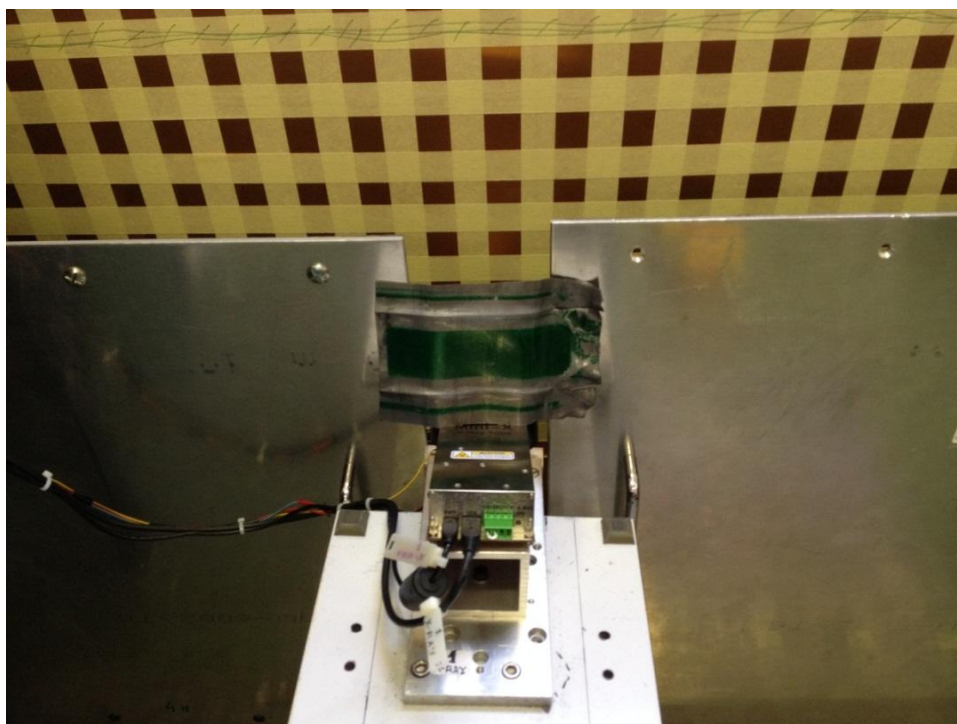


Рисунок 13 - Размещение трубки для измерения альbedo от детектора.

В такой конфигурации излучение от альbedo равно нулю. Слева, сзади, снизу и сверху от рентгеновской трубки ионизирующее излучение равно фону. За защитой – 4,1 мкЗв/ч. Измерения проводились с коллиматором из латуни диаметром 3 см. при токе равном 80 мкА.

Для того, чтобы определить, с какой минимальной скоростью можно сканировать рентгеновской трубкой по поверхности детекторов, были сняты временные

характеристики рентгеновской трубки. Все измерения были проведены при энергии пучка 40 кэВ и токе 75 мкА.

Согласно полученным данным, время выхода рентгеновской трубки на рабочий режим составляет не более 0,3 с, откуда можно сделать вывод, что временной зазор между включением трубки и началом сканирования должен составлять не менее 0.3 с.

Для того, чтобы получить представление о прототипе рентгеновского сканера, были проведены сканы в ручном режиме, дискретно. Чтобы не увеличивать число отчетных файлов, скан по каждой координате Y проводился в одном цикле измерений. Поверхность квадруплета была размечена на квадраты, которые и были облучены. Поскольку узел перемещения еще только предстоит спроектировать, то полученные данные обрабатывались вручную согласно отмеренным промежуткам времени. На каждой точке измерение проводилось по 30 с, для того, чтобы набрать статистику, а также понять, какое минимальное время необходимо для измерения каждой точки.

Характерная картина одного такого скана по одному детектору показана на рисунке 14.

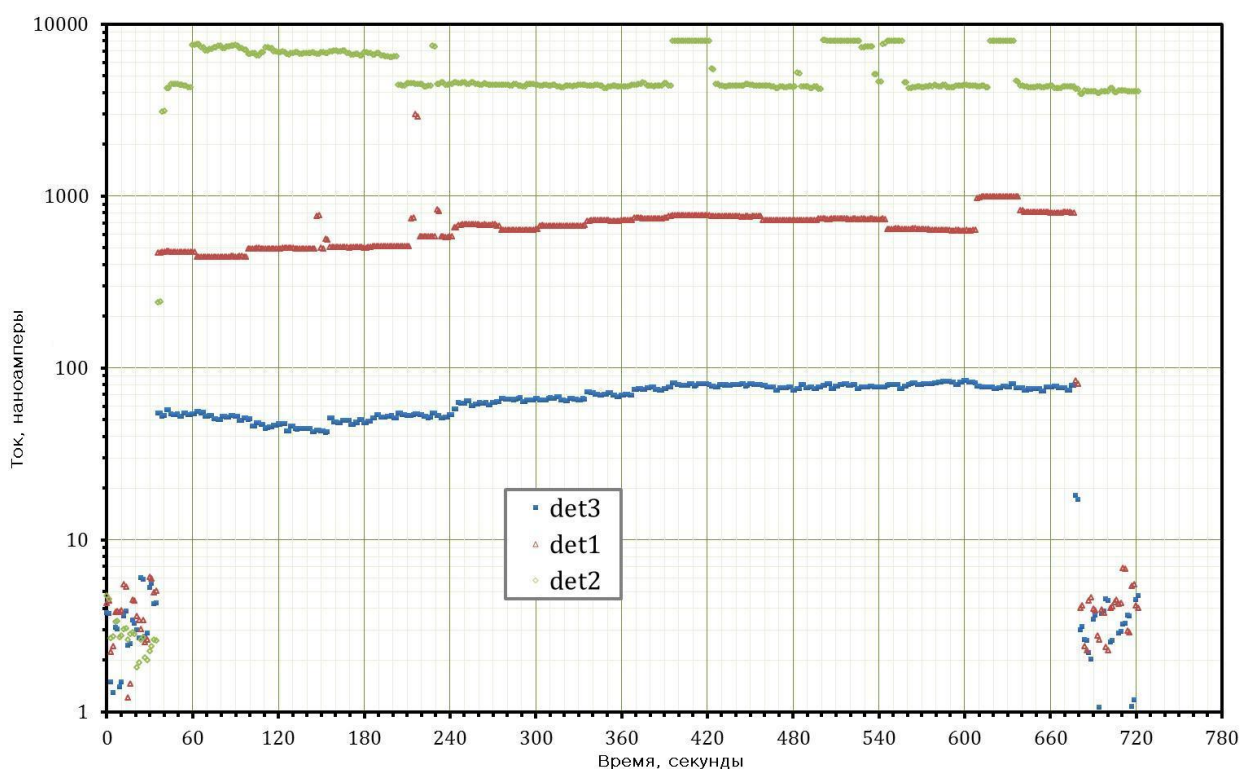


Рисунок 14 - График зависимости тока в камере от времени измерений. Длительность измерения одно координаты – 30 с. Видно, что камера имеет значительное число неоднородностей.

Для получения карты детектора нужно извлечь среднее значение по каждой из точек, поэтому выбирается соответствующее этой точке плато. Поскольку плато получается ровным, и флуктуации незначительны, достаточно, если облучение каждой точки будет производиться в течение 1÷2 секунд, что, при коллиматоре 3 см, соответствует скорости 1÷3 см/сек. В случае непрерывного скана координата будет

получена путем простого умножения времени сканирования от начала ряда на заранее известную скорость сканирования.

На рисунке 15 приведен пример карты токов утечки.

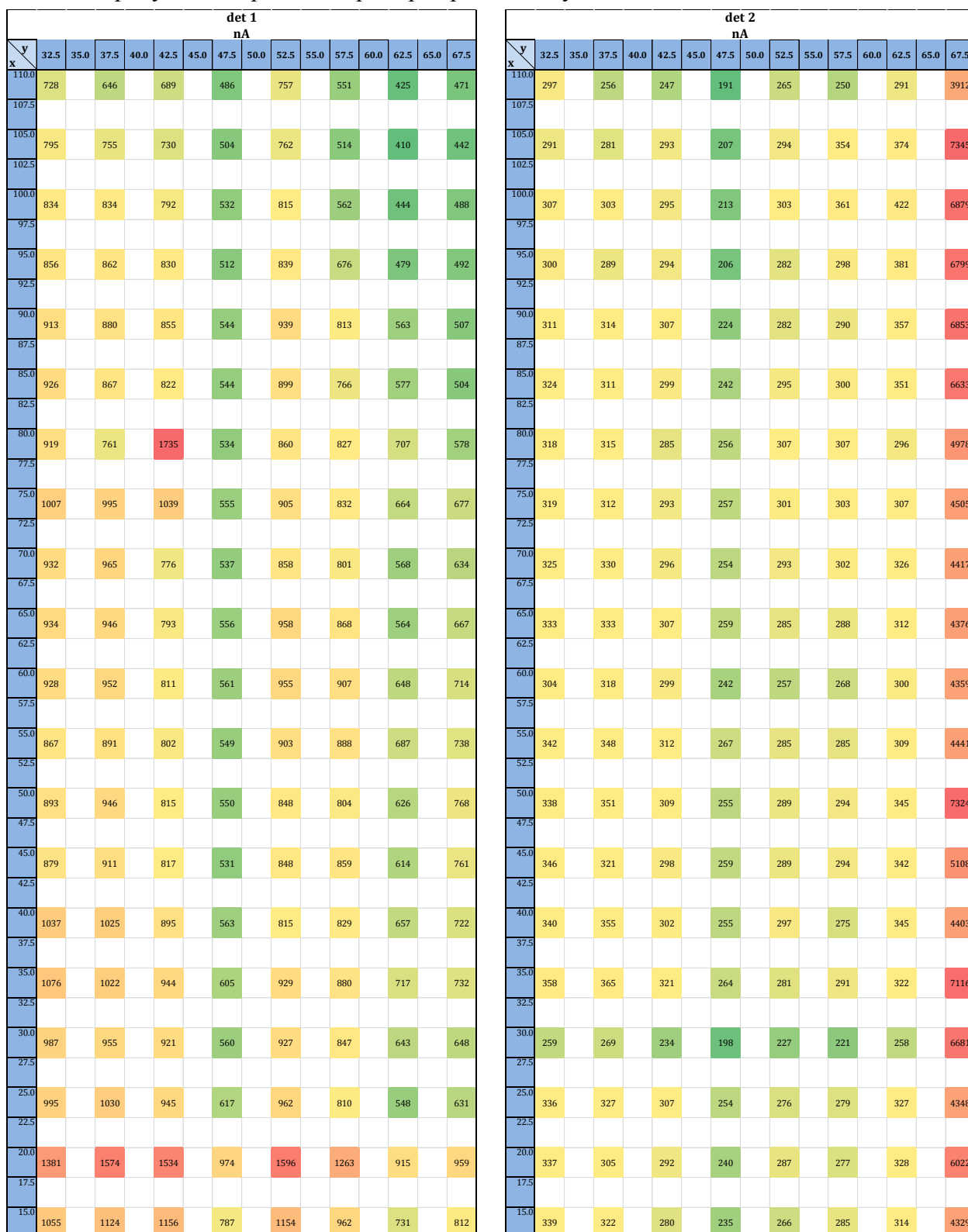


Рисунок 15 - Масштабные карты токов утечек при облучении детекторов 1 и 2 квадруплета. В зависимости от величины тока цвет меняется от зеленого к красному. В квадратиках показаны значения тока в наноамперах.

Координаты отсчитываются от правого верхнего угла квадруплета. Представлены только координаты, на которых присутствуют все 4 камеры. Облучение проводилось по дискретным областям, удаленным друг от друга на 2,5 см для того, чтобы проанализировать независимые друг от друга области, не допуская перекрытия. Несмотря на отсутствие промежуточных координат, проведенные эксперименты позволяют оценить как объем данных, так и способ их представления для того, чтобы сделать заключение о пригодности данных камер для установки в АТЛАС.

Определение размеров области сканирования для РС контроля качества выполнено на основании проекта создания НМК [9]. Все детекторы НМК собираются в сборные конструкции, которые называются «большими» и «малыми» секторами (см. рисунки 16 и 17).

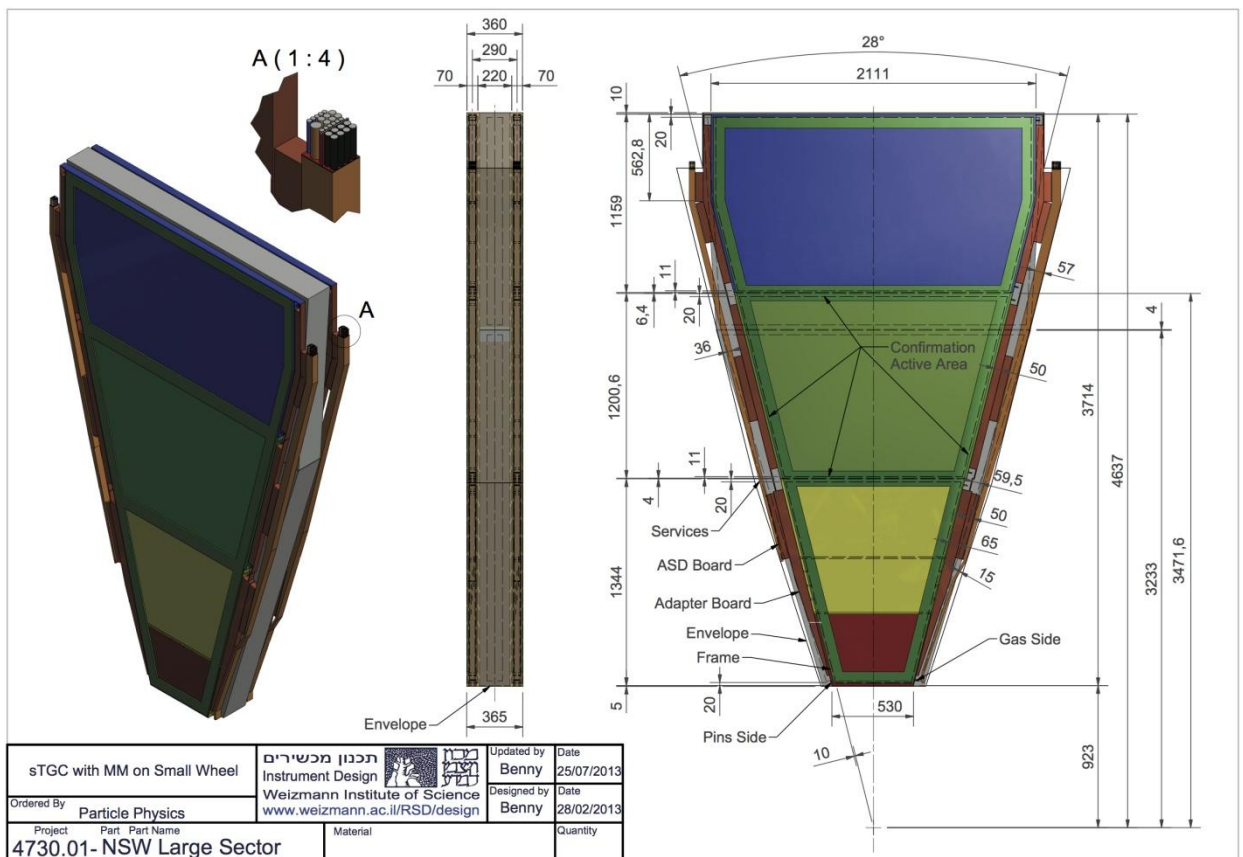


Рисунок 16 - «Большой» сектор с собранными камерами НМК.

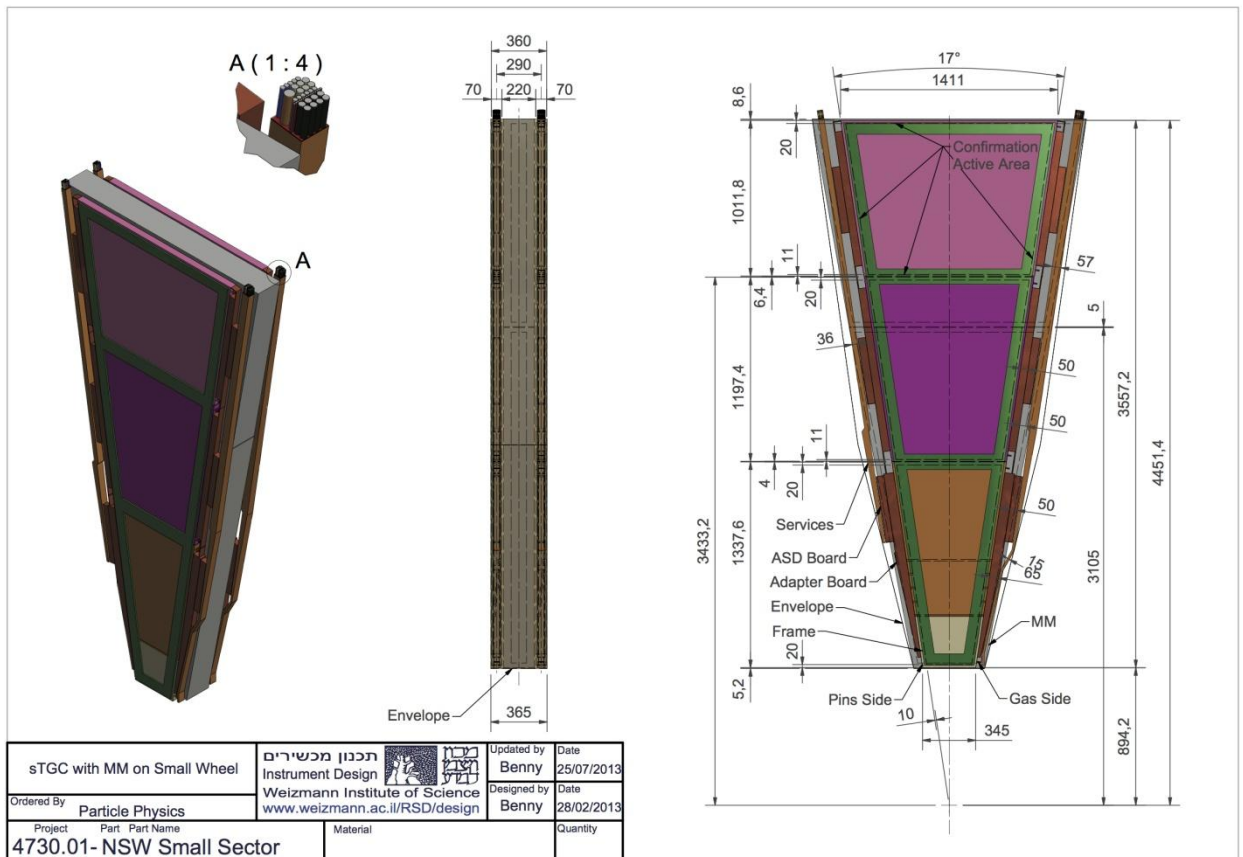


Рисунок 17 - «Малый» сектор НМК.

Камеры ТЗК имеют три разных конфигурации, называемые модулями: внешний, средний и внутренний, причем модули разных конфигураций будут производиться в разных странах, на разных сборочных участках. В таблице 5 сведены данные о размерах отдельных модулей детекторов ТЗК и местах их изготовления.

Таблица 5. Сборочные участки и размеры модулей детекторов ТЗК.

Конфигурация модуля и его размер, мм	«Большой» сектор			«Малый» сектор			Макс. размер для сборочного участка
	Внешний модуль 2111x1159	Средний модуль 1814x1200	Внутренний модуль 1215x1344	Внешний модуль 1411x1012	Средний модуль 1109x1197	Внутренний модуль 751x1338	
Канада		+		+			1814 x 1200
Китай					+		1109 x 1197
Чили						+	751 x 1338
Израиль	+		+				2111 x 1344
Максимальный размер для всех сборочных участков							2111 x 1344

Из таблицы видно, что максимальный размер модулей ТЗК в миллиметрах составляет 2111 x 1344.

Детекторы МИК имеют две разных конфигурации, называемые внешним и внутренним модулями, размеры которых и места их производства приведены в табл. 6.

Таблица 6. Сборочные участки и размеры модулей МИК.

Конфигурация модуля и его размер.	«Большой» сектор		«Малый» сектор		Макс. размер для сборочного участка (мм)
	Внешний модуль LM2 (мм) 2220x1410	Внутренний модуль LM1 (мм) 2008x2310	Внешний модуль SM2 (мм) 1821x1350	Внутренний модуль SM1 (мм) 1319x2210	
Италия				+	1319x2210
Германия			+		1821x1350
Франция		+			2008x2310
Россия+Греция	+				2220x1410
Максимальный размер для всех сборочных участков					2220x2310

Таким образом, из приведенных таблиц можно сделать вывод, что если задать размеры области сканирования для стенда контроля качества газовых детекторов как 2220x1410 мм, то такой стенд будет способен сканировать все модули детекторов ТЗК и часть модулей детекторов МИК, за исключением модулей LM1 и SM1, для которых в дальнейшем необходимо будет разработать стенд с большей областью сканирования.

Поэтому на данном этапе было зафиксировано техническое требование по максимальному размеру области сканирования 2220x1410 мм, что позволяет разработать наиболее эффективную модель стенда, способную сканировать большинство модулей детекторов НКМ. Технические требования для РС сведены в таблицу 7.

Таблица 7. Технические требования к характеристикам стендов контроля газовых детекторов ионизационных камер на основе рентгеновского сканера

№	Требование
1.	<u>Стенд контроля газовых детекторов ионизационных камер</u>
1.1	Максимальный сканируемый размер (горизонтальный x вертикальный) 2220x1410 мм
1.2	Вес груза на каретке - до 3 кг
1.3	Скорость перемещения каретки - до 5 см/сек
1.4	Точность позиционирования каретки – не менее 1 мм
1.5	Полное время безостановочного сканирования образца (области размером 2220x1410 мм) – от 2 часов до 24 часов
1.6	Корпус сканера должен быть установлен на колеса и предусматривать жесткое фиксирование (винтовые опоры) к полу.

2. <u>Сканирование</u>	
2.1	Дискретное сканирование с заданным шагом от 1 мм и с размером площади облучения до 30 см. Время облучения (> 1 сек) каждой точки.
2.2	Непрерывное сканирование со скоростью движения рентгеновской трубки: 0,1÷10 см/сек
2.3	Время начала измерения после включения рентгеновской трубки – 0,3 сек.
2.4	Параметры рентгеновской трубки для сканирования: 35кВ,95мкА/40кВ,80мкА
2.5	Время на продув перед началом работ со всеми четырьмя камерами при потоке 5 л/час – сутки. При сканировании – 2.5 л/час. Действительно для детектора объемом 9 литров.
2.6	Напряжение на камеры: +2900 В, если сканирование производится с СО ₂ и до 3300 если сканирование производится со смесью н-пентана и СО ₂
2.7	Расстояние между краем коллиматора и детектором: 1÷300 мм
3. <u>Программно-аппаратный комплекс</u>	
3.1	1/2/4 каналные модули высоковольтного питания. Диапазон напряжений от 0 до +4кВ. Диапазон токов от 0 до 10÷20мкА.
3.2	Компьютер с программным обеспечением (ПО) для управления рентгеновской трубкой и с ПО для снятия значений тока
3.3	Сканер должен быть оснащен программой анализа и визуализации результатов измерений.
4. <u>Рентгеновская трубка</u>	
4.1	Жесткий спектр
4.2	Мишень: Ag или Au
4.3	Напряжение от 5 до 40 кВ
4.4	Ток от 0 до 200 мкА
4.5	Вес: от 300 до 1000 грамм
4.6	Возможность использования функции interlock
4.7	Высота x Длина x Ширина: 25-40мм x 147-160мм x 58-70мм
4.8	Диаметр рентгеновского пучка на камере до 30 см
5. <u>Требования к защите от ионизиационного излучения</u>	
5.1	Для защиты от альбедо рекомендуется использовать экраны из листов дюралюминия и свинца
5.2	Расстояние от рабочего места оператора до сканера не рекомендуется оставлять

	менее 2 метров
5.3	Требования по радиационной безопасности при работе с испытательным стендом должны соответствовать нормам, принятым в учреждении, где будет установлен испытательный стенд
6. <u>Газовая система (не входит в комплект поставки)</u>	
6.1	Для проведения сканирования необходима газовая система с регулировкой подачи газа).
6.2	Расположение газовых баллонов и оборудование для работы с горючими газами должны соответствовать положению об охране труда, принятому в учреждении, где будет установлен испытательный стенд.

5.4 Стенд испытаний сцинтилляционных счетчиков для «горячих зон» – СЦС

В ИФВЭ и других институтах участниках сотрудничества АТЛАС методика сцинтилляционных счётчиков и калориметров на их основе используется давно и в больших масштабах.

Соответственно, разработка технического задания для проверки пластин для горячих зон АТЛАС была выполнена с учётом возможности использования имеющегося оборудования.

Техническое задание на этот стенд представлено в Приложении И.

Проектируемые стенды позволят при изготовлении камер НМК выполнить достаточный объём промежуточных и выходных контрольных операций для обеспечения долговременной эффективной работы камер в составе установки АТЛАС.

6 Разработка двух вариантов дрейфовых трубок малого диаметра (ДТМ) и изготовление их лабораторных образцов

В соответствии с решением сотрудничества АТЛАС, в рамках первой фазы модернизации предполагается изготовить и установить в составе детектора АТЛАС 12 новых трековых камер (так называемых камер типа ВМГ) в секторах 12-14, а именно внутри опор детектора между мюонными камерами типа ВМФ. Детектирующими ячейками этих новых камер должны быть дрейфовые трубки диаметром 15мм. Площадь каждой камеры – $0,815 \times 1,5 \text{ м}^2$. Камера состоит из двух мультислоев, в каждом из которых 4 слоя дрейфовых трубок, по 54 трубки в слое. Количество дрейфовых трубок в камере – 432 шт.

С точки зрения работоспособности при увеличенных загрузках, связанных с повышением светимости БАК, преимущество дрейфовых трубок уменьшенного (15 мм) диаметра по сравнению с ныне используемыми 30-мм дрейфовыми трубками складывается из следующих факторов:

- при той же рабочей газовой смеси (93% Ar + 7% CO₂) и допустимом газовом усилении (2×10^4), максимальное время дрейфа для 15 мм дрейфовой трубки составляет ~ 200 нс, что в 3,5 раза меньше, чем для 30 мм трубки, у которой максимальное время дрейфа ~ 700 нс;
- интегральный счет дрейфовой трубки пропорционален ее диаметру, поэтому для трубки вдвое меньшего диаметра имеет место выигрыш в 2 раза в интегральном счете.

Эти 2 фактора обеспечивают в 7 раз большую загрузочную способность дрейфовых трубок малого диаметра по сравнению со «стандартными» 30 мм трубками АТЛАС.

Расчеты, подтверждающие достаточность загрузочной способности трубок малого диаметра после реконструкции БАК, приведены в работе [39]. В частности, показано, что для 30 мм трубок эффективность восстановления сегмента трека начинает деградировать при загрузках 200 – 300 кГц, трубки диаметром 15мм сохраняют близкую к 100% эффективность даже при загрузках, превышающих 1000 кГц на трубку, ожидаемых при светимости $5 \times 10^{34} \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$ для трубок длиной 50 см, расположенных в наиболее «горячих» местах мюонного спектрометра АТЛАС.

Отправной точкой при разработке первого варианта ДТМ послужила конструкция дрейфовой трубки [40], разработанной и успешно используемой в настоящее время в мюонном спектрометре АТЛАС. Корпусом и катодом дрейфовой трубки данной базовой конструкции является алюминиевая труба с внешним диаметром 30 мм и толщиной стенки 0,4 мм. На концах трубы методом обжима через резиновые прокладки зафиксированы торцевые заглушки, служащие для герметизации внутреннего объема дрейфовой трубки и позиционирования и фиксации анодной проволоки, натянутой вдоль оси трубки с усилием 350 г. Торцевые заглушки изготовлены методом литья под давлением из пластика “noryl GFN3” с двумя закладными деталями – центральной латунной трубкой-вставкой и наружным алюминиевым кольцом. После отливки алюминиевая поверхность торцевой заглушки протачивается на токарном станке до

диаметра $30,01 \pm 0,01$ мм и в дальнейшем, при склейке дрейфовых трубок в детектирующие слои, служит опорной поверхностью. Электрический контакт между корпусом и алюминиевым кольцом торцевой заглушки обеспечивается вставленной между ними гофрированной пружинкой из нержавеющей стали. В центральную латунную вставку прессовывается латунная пластинка толщиной 0,5 мм, в которой лазерным лучом прожигается отверстие диаметром 60 ± 7 мкм с допуском на отклонение от оси опорной поверхности не более 10 мкм. Это отверстие предназначено для точного позиционирования 50 мкм анодной проволоки, которая на выходе из торцевой заглушки фиксируется методом обжима в медной капиллярной трубке с внутренним диаметром 0,35 мм.

Подача рабочего газа в дрейфовую трубку осуществляется через отверстие в центральной трубке-вставке торцевой заглушки. Последовательное газовое соединение соседних трубок осуществляется с помощью пластмассовых газовых переходников. Герметизация объема трубки обеспечивается резиновыми прокладками и запорными колпачками, которые также служат для подачи высокого напряжения на сигнальную проволоку с одного конца дрейфовой трубки и подключения к усилителю-формирователю с другого конца.

Конструкция разработанного в ГНЦ ИФВЭ в рамках настоящих ПНИЭР первого варианта ДТМ отличается от базового варианта дрейфовой трубки АТЛАС практически только уменьшенным диаметром алюминиевой трубы (15 мм вместо 30 мм) и, соответственно, посадочным диаметром торцевых заглушек с сохранением их внутреннего устройства. На рисунке 18 показана фотография «базовых» торцевых заглушек (диаметром 30 мм) и модифицированных заглушек диаметром 15 мм для ДТМ.



Рисунок 18 - Фотография дрейфовой трубки диаметром 30 мм, лабораторного образца ДТМ ($\varnothing 15$ мм) и соответствующих им торцевых заглушек.

На левой заглушке ДТМ – газовый соединитель для последовательного продува дрейфовых трубок после их склейки в детектирующие блоки. На этой же фотографии –

«базовая» дрейфовая трубка диаметром 30мм и изготовленный лабораторный образец ДТМ диаметром 15 мм.

Принимая во внимание, что в ряде физических экспериментов принципиально важным требованием является минимизация количества вещества на пути регистрируемых частиц, мы поставили себе задачу переработать в целом удачную конструкцию описанного варианта дрейфовой трубки с тем, чтобы вместо алюминиевой трубы использовать трубу, изготовленную из лавсановой пленки. Разработанный второй вариант ДТМ является особо тонкостенной ДТМ с корпусом из лавсановой пленки толщиной 125 мкм с двухсторонним алюминиевым покрытием (напылением). Лавсановая труба диаметром 15 мм изготавливается методом ультразвуковой сварки на изготовленной в ГНЦ ИФВЭ установке (см. рисунок 19), состоящей из стапеля с устройствами закрепления шлифованного стержня - шаблона диаметром 15мм и подвижной тележки, на которой установлена ультразвуковая колебательная система аппарата “Гиминей-ультра” АУС-0.2/22-ОМ (см. www.u-sonic.ru — ультразвуковые технологии и аппараты).



Рисунок 19 - Ультразвуковая сварочная установка

Лавсановый лист-заготовка оборачивается вокруг стержня и закрепляется в ложементх сварочного стапеля. Ультразвуковая колебательная система движется вдоль оси стержня по направляющим со скоростью 1 см/с и сваривает сложенные внахлест края лавсановой пленки.

Сварка труб производится при 90% мощности аппарата с нагрузкой 1,2 кг на контактную площадь ($2,5 \times 0,8 \text{ мм}^2$) сменного рабочего инструмента. Разрывное усилие сварочных швов составляет $8 \div 10 \text{ кг/см}$ (см. рисунок 20). Пластическая деформация лавсановой пленки начинается при усиллии $\geq 15 \text{ кг/см}$.

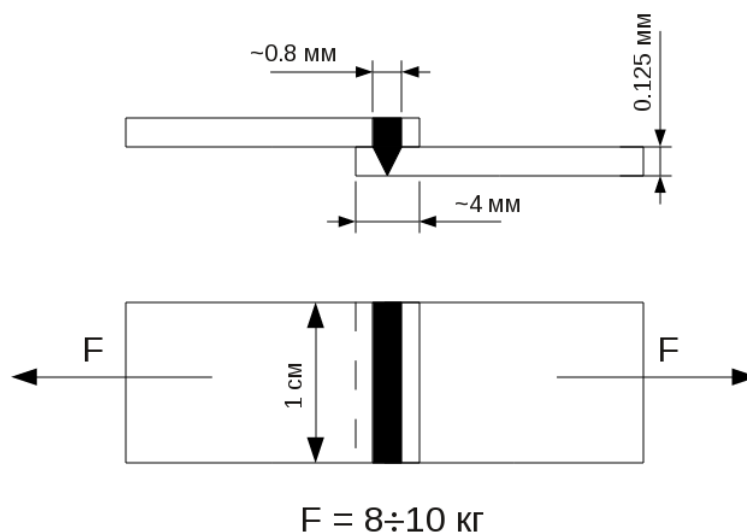


Рисунок 20 - Иллюстрация процедуры испытания сварочного шва на разрыв

Сваренная лавсановая труба снимается с шаблона и после вакуумной очистки от пыли поступает на сборку. На сборочном стенде через трубу и торцевые заглушки протягивается анодная позолоченная вольфрам-рениевая (97%W+3%Re) проволока $\varnothing 50$ мкм, которая фиксируется в одной из торцевых заглушек. Торцевые заглушки вклеиваются в лавсановую трубу с помощью эпоксидного клея “ARALDITE AW-106”. Для получения электрического контакта внутреннего алюминиевого слоя лавсановой трубы с торцевой заглушкой клеевое соединение обжимается резиновыми кольцами. Затем труба устанавливается на вспомогательный стапель, на котором выдерживается определенный размер по длине во время затвердевания клея. Потом с помощью натяжного устройства проволока натягивается с усилием 350 г с последующей фиксацией проволоки на второй торцевой заглушке. На рисунке 21 представлена фотография с изготовленными и готовыми к испытаниям лабораторными образцами описанного второго варианта ДТМ, разработанного в ГНЦ ИФВЭ.



Рисунок 21 - Фотография лабораторных образцов второго варианта ДТМ

Предварительные проверки изготовленных образцов ДТМ позволят в дальнейшем выбрать работоспособный вариант трубок для изготовления мюонных камер, размещаемых в зонах опор установки АТЛАС.

- 7 Исследование вариантов и возможностей использования газовых и жидкоаргоновых калориметров, изучение сцинтилляционных и черенковских счётчиков, ионизационных детекторов и детекторов вторичной эмиссии с целью выбора типа детектора для переднего миникалориметра

Высокая радиационная стойкость является одним из основных требований, так как передний миникалориметр располагается в самой "горячей" зоне установки. При исследовании вариантов учитывалась также возможность включения калориметра в действующую установку. На основе аналитического обзора литературы (см. раздел 1 отчёта) сделаны следующие заключения:

Современные сцинтилляторы на основе пластиков или кристаллов не удовлетворяют требованиям к миникалориметру прежде всего по радиационной стойкости: при ожидаемых на БАК потоках частиц они не выдержат и года облучения. Кроме того, необходимость вывода сцинтилляционного света из зоны с высокой радиацией на вакуумные или полупроводниковые фотоприемники при помощи, например, волоконной оптики создаст ряд сложных проблем при монтаже миникалориметра в установку.

Как известно, инертные газы и жидкости (Ar, Kr, Xe) являются радиационностойкими и хорошо сцинтиллируют, но спектр их сцинтилляций находится в далёкой ультрафиолетовой области, в которой современные фотодетекторы нечувствительны. Решить проблему можно путем использования оптоволоконных световодов с переизлучателями (спектросдвигающие). Но радиационная стойкость таких световодов изучена слабо. Кроме того остается проблема их вывода из зоны с высокой радиацией.

Из кристаллических полупроводниковых детекторов практически единственным кандидатом на использование в миникалориметре являются детекторы на основе искусственных алмазов. Эта возможность детально изучалась канадскими физиками в 2010-2012 г.г. Было показано, что такие калориметры, обладая хорошими физическими характеристиками, всё-таки не являются достаточно радиационностойкими, их стоимость слишком высока и неясно, можно ли получить в обозримое время необходимое количество кристаллов с нужными свойствами.

Жидкостные ионизационные калориметры с активным веществом на основе Ar, Kr, или Xe являются радиационно стойкими, так как основные их компоненты изготавливаются из металлов. Они обладают достаточно высоким энергетическим разрешением и за счёт тонкой грануляции могут иметь хорошее пространственное разрешение. Их основной недостаток - плохое временное разрешение из-за малой скорости дрейфа электронов. Частично этот недостаток может быть компенсирован уменьшением зазора между электродами до десятков микрон, что проще всего сделать при цилиндрической геометрии электродов, и подходящим формированием (дифференцированием) сигнала. При больших потоках ионизирующего излучения могут также возникнуть проблемы с образованием пространственного заряда положительными

ионами, что требует специального изучения. Наконец, необходимость использования криогеники усложняет их эксплуатацию и монтаж в установку.

Свойства газовых ионизационных калориметров были подробно изучены в цикле экспериментов на ускорителе ИФВЭ. Они обладают всеми достоинствами жидкостных ионизационных калориметров и кроме того скорость дрейфа электронов в некоторых газах (например, CF_4) почти в 100 раз выше, чем в инертных жидкостях, т.е. их временное разрешение может быть достаточно хорошим. "Внедрение" газового калориметра в установку значительно проще, чем жидкостного. Он прост в изготовлении и эксплуатации, стоимость его невысока, в нем может использоваться любая геометрия электродов. Тем не менее, газовый вариант переднего миникалориметра требует макетирования с целью оптимизации выбора рабочего газа, его давления и напряжения на электродах, исследования радиационной стойкости некоторых элементов и изучения влияния пространственного заряда ионов на форму и амплитуду ионизационных сигналов.

Изучались и некоторые другие детекторы, например, основанные на принципе вторичной эмиссии и регистрации черенковского излучения, но их характеристики оказались значительно хуже, чем у рассмотренных выше.

Таким образом, на основании проведенного анализа можно сделать заключение, что наиболее предпочтительными, а может и единственными, вариантами переднего миникалориметра для установки АТЛАС являются ионизационные газовые калориметры или калориметры на жидком аргоне (аргон значительно дешевле криптона и ксенона). Для газовых калориметров предпочтительной является ячеистая геометрия электродов, а для жидкоаргоновых - цилиндрическая. Они обладают достаточно хорошими физическими характеристиками, являются радиационностойкими и сравнительно дешёвыми.

Для окончательного выбора типа калориметра и его конструкции, а также изучения влияния пространственного заряда положительных ионов на его свойства необходимо изготовить макеты калориметров и облучить их интенсивными пучками ионизирующих излучений.

Для проведения указанных исследований необходимо приобрести и/или изготовить аппаратуру для мониторинга и контроля характеристик пучков частиц: сцинтилляционные счётчики и годоскопы, газовые черенковские счётчики, ионизационные камеры и камеры вторичной эмиссии. Необходимо также приобрести электронику для регистрации и анализа формы сигналов с макетов калориметров и передачи этой информации в ЭВМ для хранения и on-line обработки.

8 Выбор материалов и компонентов для изготовления образцов сцинтилляционных счётчиков для горячих зон

В установке АТЛАС широко используются детекторы на основе пластмассовых сцинтилляторов, причём часть таких детекторов находится в тяжёлых радиационных условиях. Основным вариантом решения проблемы повышения радиационной стойкости сцинтилляторов, позволяющим получить положительные результаты, можно считать смещение максимума спектра излучения сцинтилляторов по крайней мере в зелёную или красную области спектра. В указанных областях спектра радиационные дефекты меньше влияют на световыход и прозрачность сцинтилляторов и пластиковых спектросдвигающих материалов.

В целом ряде сцинтилляционных детекторах АТЛАСа сцинтилляционное излучение собирается с помощью спектросдвигающих волокон, что в свою очередь требует использования спектросдвигающих волокон с максимумом спектра поглощения, соответствующим спектру излучения сцинтилляторов, и максимумом излучения по крайней мере в оранжевой части спектра. Смещение спектров в красную или инфракрасную области потребует использования фотодетекторов с высокой чувствительностью в указанных областях спектра. Доступными по стоимости фотодетекторами в этой области являются кремниевые фотоумножители (SiPMТ или МРР), которые благодаря своей миниатюрности удачно вписываются в конфигурации современных сцинтилляционных детекторов со спектросдвигающим сборанием излучения. Квантовая чувствительность этих фотоприёмников практически постоянна от 600 нм до 800 нм, то есть во всей нужной области.

Были также определены необходимые компоненты для изготовления опытных образцов сцинтилляторов. Предварительные исследования показали, что перспективным материалом для изготовления радиационно-стойких сцинтилляторов являются сцинтилляторы на основе полистирольных гранул. Поэтому основными заказываемыми материалами являются полистирольные гранулы, кремниевые фотоумножители, электронные компоненты, полированная нержавеющая сталь для изготовления форм, в которых планируется изготавливать сцинтилляционные пластины и различные расходные материалы, используемые при работе.

Перечень заказываемого оборудования включает в себя хроматограф для определения остаточного мономера, содержащегося в сцинтилляторах и в значительной мере определяющего их радиационную стойкость, лабораторный сушильный шкаф, дозатор для клеивания спектросдвигающих волокон в тело сцинтилляторов.

9 Разработка, изготовление и испытания лабораторных образцов электроники цезиевой системы калибровки сцинтилляционного калориметра (ЭЦСК)

В связи с повышением светимости БАК и, связанным с этим, переходом к новой схеме сбора данных сцинтилляционного калориметра, цезиевая система калибровки калориметра нуждается в модернизации. Первоочередной задачей являлась разработка 3-х новых основных модулей управления цезиевой системы калибровки, а именно модулей управления помпами (3U-Pump), клапанами (3U-Valve) и модуля связи с периферийным оборудованием (3U-ETH).

9.1 Испытания лабораторных образцов модулей управления помпами, клапанами и связи с периферийным оборудованием супердетектора АТЛАС с помощью существующего стендового оборудования

Модули управления помпами (функциональная схема приведена на рисунке 22) предназначены для управления работой помп в автоматическом и ручном режимах.

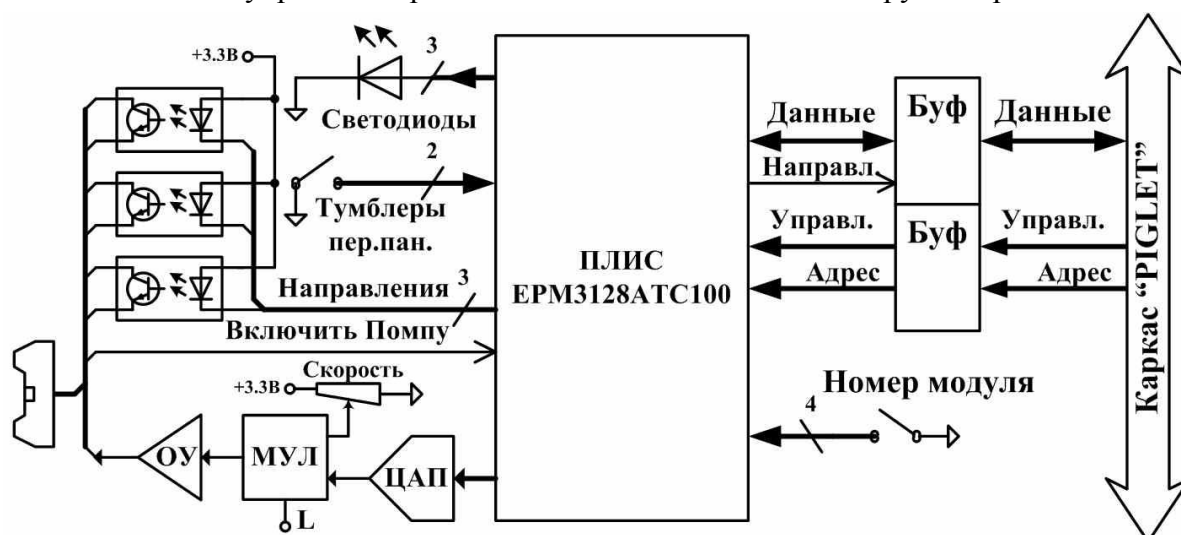


Рисунок 22 - Функциональная схема модуля управления помпами (3U-Pump).

В автоматическом режиме работы по каналу каркаса PIGLET в модуль записывается и из него читается информация о включении помпы, направлении и скорости потока жидкости. В ручном режиме имеется возможность включения помпы, выбора направления потока жидкости и задания скорости потока жидкости от 0 до максимума ($50 \text{ см}^3/\text{сек}$).

Модули 3U-Valve (функциональная схема приведена на рисунке 23) предназначены для управления клапанами.

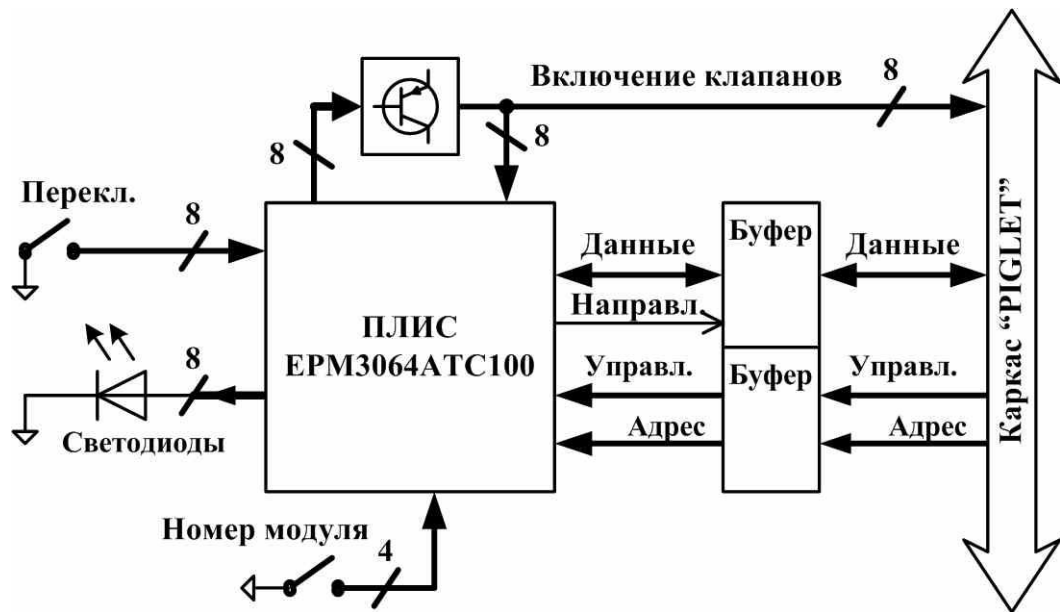


Рисунок 23. Функциональная схема модуля 3U-Valve.

Через двоянный двунаправленный восьмиразрядный буфер данные и управляющие сигналы поступают на микросхему ПЛИС, которая управляет работой всей платы. К ней подключены тумблеры и светодиоды, расположенные на передней панели.

Управление указанными выше модулями осуществляет модуль связи с периферийным оборудованием 3U-ETH (функциональная схема приведена на рисунке 24).

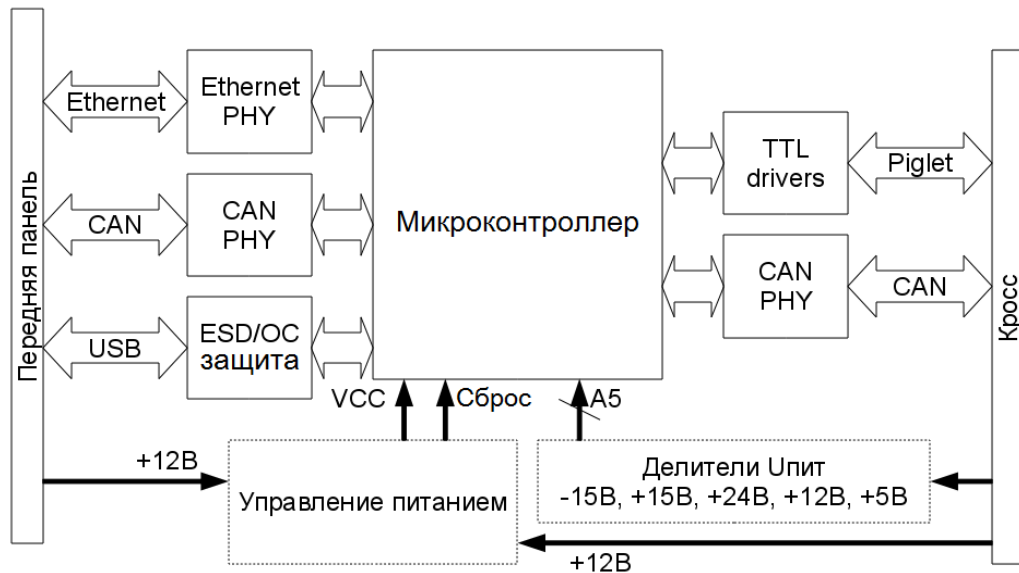


Рисунок 24 - Функциональная схема модуля связи 3U-ETH.

Декодирование команд в модуле связи выполняется в микроконтроллере типа PALCE16V8-25PC. Адресация обращений модуля управления к узлам модулей 3U-Pump и 3U-Valve осуществляется через дополнительный четырехбитный регистр типа КР1804ИР1.

Были изготовлены лабораторные образцы описанных выше модулей в количестве 3шт. каждого типа. Проведены стендовые испытания, которые показали соответствие

работы лабораторных образцов модулей управления помпами, клапанами и модуля связи с периферийным оборудованием условиям функционирования цезиевой системы калибровки сцинтилляционного калориметра.

Методика и протоколы испытаний модулей управления и связи представлены в приложении К.

9.2 Разработка лабораторных образцов 3-х типов плат для уровнемера ЦСК

Произведена разработка принципиальных электрических схем устройства прецизионного измерения уровня жидкости (точность измерения ± 50 мл.) Устройство состоит из 3 основных частей – плат датчиков, индикации и передачи данных, приема данных в стандарте 3U. Функциональная схема уровнемера приведена на рисунке 25.

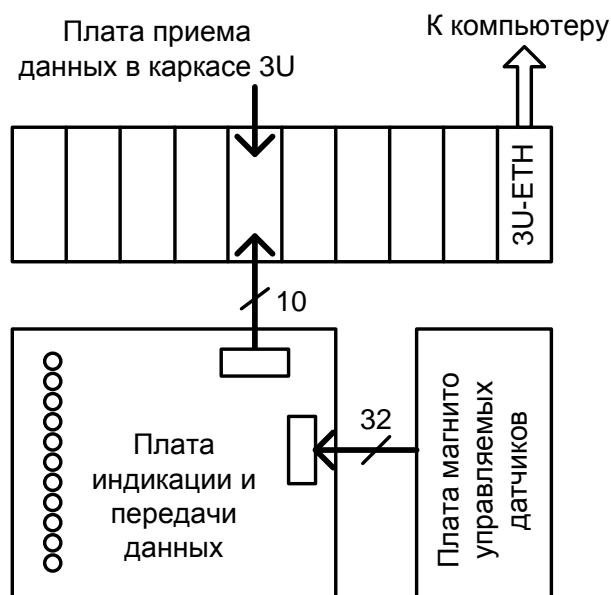


Рисунок 25 - Функциональная схема взаимодействия уровнемера с компьютером управления мониторирующей системой.

Подсистема измерения уровня жидкости должна опрашивать датчики с частотой 10÷20 Гц, осуществлять индикацию уровня жидкости и передавать данные в управляющий каркас стандарта 3U для дальнейшего использования при контроле и управлении цезиевой системой калибровки сцинтилляционного калориметра.

- 10 Обоснование характеристик и разработка элементов электроники жидкоаргонового калориметра (ЖАК)
- 10.1 Разработка динамического мультиплексора данных для передачи сигналов в триггерную систему

Основной модуль жидкоаргоновой системы цифровой обработки (LDPS – LAr Digital Processing System)[41] состоит из 31 модуля цифровой обработки (LDPB – LAr Digital Processing Blade), изготовленных в формате ATCA (Advanced Telecommunications Computing Architecture) (см. <http://www.picmg.org>). На каждом модуле LDPB содержится 4 модуля АМС (Advanced mezzanine card), выполняющие основные функции по цифровой обработке данных в электронике жидкоаргонового калориметра.

Вычислительное ядро модулей АМС построено на программируемой логической интегральной схеме (ПЛИС) серии Arria10 фирмы ALTERA.

Задачи, выполняемые вычислительным ядром модуля АМС:

- Приём данных плат ЛТДБ по ВОЛП;
- цифровая обработка сигналов – восстановление амплитуды и времени оцифрованных осциллограмм. При этом восстановленная амплитуда соответствует энергии, выделенной в калориметре;
- группировка вычисленных значений энергии по каналам от одной Триггерной башни (ТТ – Trigger Tower) для подсистем eFEX, jFEX и gFEX Триггерной системы калориметра L1Calo;
- передача сгруппированных значений в Триггерную систему калориметра L1Calo.

Разработкой дизайна ПЛИС модуля АМС занимается международная группа, в которую кроме Института ядерной физики СО РАН входят участники из нескольких университетов Франции, Германии, США и Японии.

Здесь описан модуль динамического мультиплексора (ДМ), разрабатываемый Институтом ядерной физики СО РАН. Этот модуль выполняет группировку вычисленных значений энергии по каналам для триггерной подсистемы eFEX.

Модуль АМС одновременно вычисляет до 320 отдельных каналов от суперячеек калориметра (SC – super Cell). При этом вычисления производятся независимо друг от друга. Группировка вычисленных данных необходима для того, чтобы отдельные модули триггерной системы калориметра обрабатывали локализованную информацию в пространстве η - φ (переменные, соответствующие полярному и азимутальному углу в сферической системе координат).

Данные оцифровки передаются в модули АМС по 40 волоконно оптическим линиям передачи (ВОЛП). При этом по одной линии связи передаётся информация от 8 суперячеек калориметра с частотой 40×10^6 выборок АЦП от каждой суперячейки, т.е. за

25 нс в АМС по одной ВОЛП поступает значения АЦП от 8 суперячеек. В связи с этим в ПЛИС удобно производить мультиплексирование данных по времени и производить цифровую обработку данных с частотой в 8 раз выше частоты оцифровки, т.е. 320×10^6 вычислений в секунду.

Для ввода 40 ВОЛП в модуль АМС используются компактные промышленные модули приёмники microPOD фирмы AVAGO. Один такой приёмник имеет 12 приёмников-усилителей оптического сигнала. Поэтому на одном модуле АМС будет располагаться 4 таких модуля всего на 48 входных каналов: 40 рабочих каналов плюс 8 резервных.

На одну триггерную башню приходится 10 суперячеек. Один модуль АМС будет обрабатывать сигналы 32 триггерных башен. Соответственно, в дизайне ПЛИС модуль ДМ будет имплементирован 32 раза.

Всего в системе предполагается 124 модуля АМС. В связи с неоднородностью распределения каналов калориметра и наличию особых зон на границах калориметра соответствия между набором суперячеек, передаваемым по отдельной оптоволоконной линии связи, и геометрическому положению этих суперячеек в калориметре не будет универсальным для большинства модулей АМС. Поэтому группировка каналов в модулях ДМ должна позволять настраивать схему мультиплексирования уникально для каждого экземпляра модуля АМС.

Структурная схема спроектированного модуля ДМ показана на Рисунке 26.

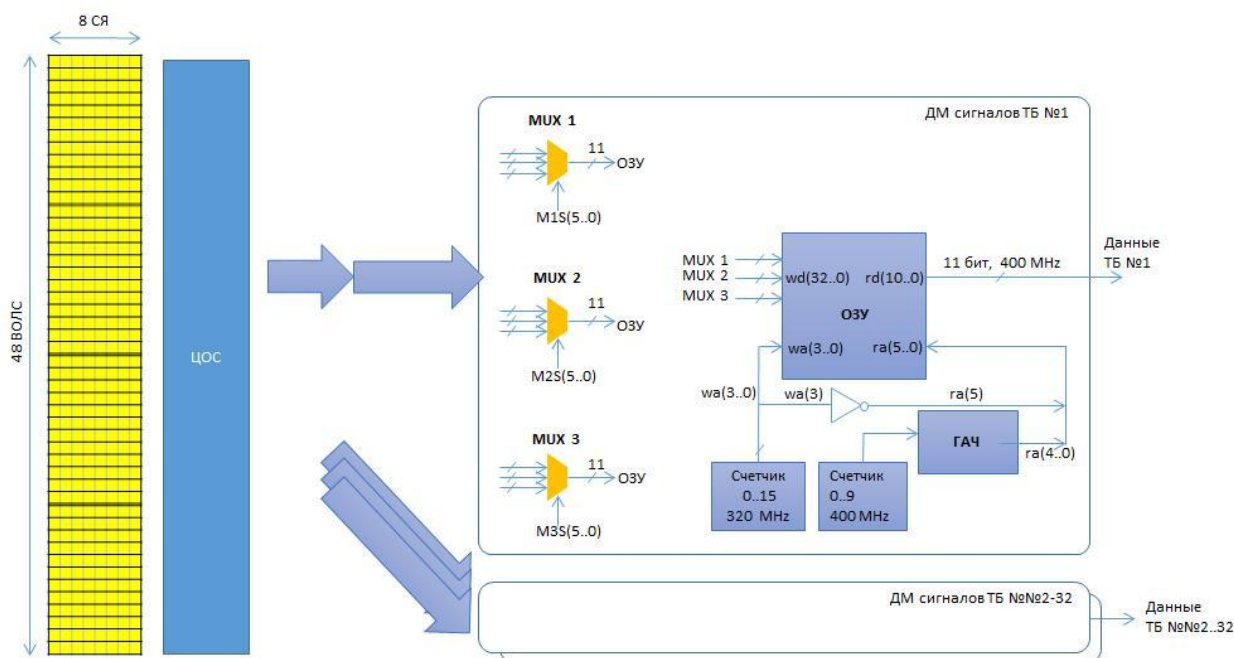


Рисунок 26 - Структурная схема модуля динамического мультиплексора eFEX

Выходные данные модуля цифровой обработки сигналов (ЦОС – DSP) поступают

на входы 32 модулей ДМ. Каждый модуль ДМ принимает данные от 320 суперячеек по 48 каналам (8 из которых резервные). При этом в каждом канале данные мультиплицированы по времени.

Модуль ДМ содержит 2 уровня обработки. Первый уровень состоит из мультиплексоров «48 в 1». На этом уровне из 48 входных сигналов выбираются только те, которые содержат данные суперячеек, принадлежащие Триггерной башне (ТТ) этого ДМ. Номер канала мультиплексора задаётся сигналом $MiS(5..0)$, где i – номер мультиплексора. Количество таких мультиплексоров задаётся параметром модуля ДМ, и в процессе компиляции дизайна имплементируется это количество мультиплексоров. Минимальное количество мультиплексоров равняется 2. Это достигается в случае, когда данные 10 суперячеек одной ТТ передаются по 2 ВОЛП. Максимальное количество мультиплексоров равняется 10 для наихудшего случая, когда все суперячейки ТБ передаются по разным ВОЛП.

Второй уровень обработки состоит из элементов блочной памяти ПЛИС, имеющей два независимых порта на запись и чтение и имеющей разную ширину шины данных на запись и на чтение. Кроме этого, эта память имеет разные частоты тактовых сигналов: 320 МГц для шины записи данных, что соответствует темпу входных данных и 400 МГц для шины чтения из элементов памяти, так как из памяти необходимо считывать 10 значений суперячеек за каждые 25 нс.

Более широкая шина данных на запись позволяет более эффективно использовать имеющиеся в ПЛИС ресурсы блочной памяти и, как следствие, сократить их используемое общее количество.

Адрес на шине адреса на запись формируется в виде циклической последовательности адресов 0,1,2...,15,0,1 и т.д. Это позволяет иметь интервал времени 25 нс, когда все выборки АЦП, относящиеся к одному моменту оцифровки находятся в блочной памяти (например, по адресам $0 \div 7$), данные выборки АЦП следующего момента оцифровки сохраняются в других ячейках памяти (по адресам $8 \div 15$ в указанном примере). В этом интервале можно выполнять чтение из памяти данных, заведомо относящиеся к одному моменту оцифровки.

Для программирования последовательности, по которой считываются данные, используется вспомогательная память генерации адреса чтения RAL (Read-address LUT). Эта последовательность появляется на выходе RAL при формировании на входе линейно-возрастающего адреса от 0 до 9 за период оцифровки. Программирование памяти RAL а также формирование сигналов $MiS(5..0)$ необходимо делать на этапе конфигурирования модуля АМС.

Описанный выше модуль ДМ позволяет собирать вычисленные данные суперячеек от одной ТТ. При этом имеется большая гибкость в настройке схемы мультиплексирования, что позволит использовать универсальный дизайн для ПЛИС модуля АМС и настраивать схему мультиплексирования под конкретный экземпляр модуля АМС.

Спроектированный модуль ДМ eFEX представляет собой иерархию файлов на языке VHDL (Very high-speed hardware description language), компилируемую в среде

разработки дизайнов QuartusII для ПЛИС фирмы ALTERA.

Перечень параметров модуля ДМ приведён в таблице 8.

Таблица 8 – Параметры модуля ДМ

Параметр	Назначение	Значение по умолчанию
EFEX_REMAP_DATA_CWIDTH	Ширина шины данных	11
EFEX_REMAP_NUM_MUXES	Количество мультиплексоров на первом уровне модуля ДМ	3

Перечень входных и выходных сигналов модуля ДМ приведён в таблице 9.

Таблица 9 - Сигналы модуля ДМ

Сигнал	Назначение
clock	Тактовый сигнал входных данных. 320 МГц.
clock_out	Тактовый сигнал выходных данных. 400 МГц.
e_data_in_start	Строб входных данных. Маркер начала пакета из 8 суперячеек
e_data_in	Входные данные
e_mux_sel	Сигналы управления мультиплексорами MiS(5..0)
raddr_gen_wclk	Тактовый сигнал записи памяти RAL
raddr_gen_we	Строб разрешения записи памяти RAL
raddr_gen_wa	Адрес записи в память RAL
raddr_gen_wd	Данные записи в память RAL
e_data_out_start	Строб выходных данных. Маркер начала пакета из 10 суперячеек
e_data_out	Выходные данные

Дизайн модуля ДМ был выполнен и проверен с помощью моделирования в среде ModelSim. Было подтверждено в среде разработки QuartusII, что временные ограничения на быстродействие спроектированной логики удовлетворены. Для этого была выбрана ПЛИС 10AX115R3F40ISGES как наиболее вероятный кандидат на использование в модуле АМС. Использование логических ресурсов ПЛИС показано в Таблице 10.

Таблица 10 – Использование ресурсов ПЛИС модулем ДМ

Ресурс	Использование в физ. единицах, шт.	Использование в % от общего объёма ресурсов FPGA
ALM - блоки комбинаторной логики	12704	3.0 %
Регистры	18688	2.3 %
Модули блочной памяти M20K	96	3.5 %

10.2 Моделирование динамического мультиплексора данных ЭЖАК для передачи в триггерную систему

Для проверки работы модуля ДМ было проведено его тщательное моделирование в среде моделирования ModelSim фирмы Mentor Graphics. Для этого был разработан стенд для формирования входных сигналов модуля ДМ и проверки выходных сигналов модуля в автоматическом режиме.

Схема стенда для моделирования показана на рисунке 27.

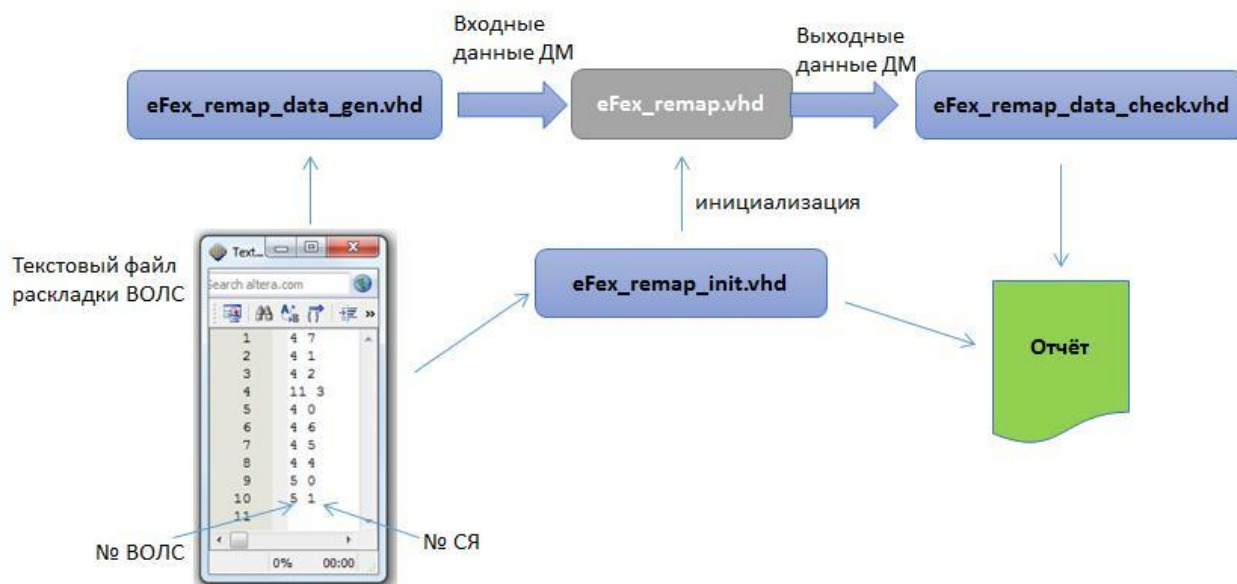


Рисунок 27 - Схема стенда для моделирования модуля ДМ

Для анализа модуля ДМ (на рисунке представлен только верхний уровень иерархии модуля – `eFex_remap.vhd`) используется 2 модуля `eFex_remap_init.vhd` и `eFex_remap_data_gen.vhd` для формирования входных сигналов. Оба эти модуля при старте моделирования загружают файл карты суперячеек ТТ, в котором прописана таблица раскладки суперячеек по ВОЛП в следующем формате.

В файле всего 10 строк и каждая строка соответствует отдельной суперячейке, рассматриваемой ТТ. В строке 2 числа: первое число – это номер ВОЛП (от 0 до 47), по которому передаются данные АЦП этой суперячейки, а второе число – это порядковый номер этой суперячейки в пакете данных, передаваемых по указанной ВОЛП.

Модуль `eFex_remap_init.vhd`, загрузив файл карты, вычисляет управляющие сигналы для мультиплексоров 1 уровня модуля ДМ и данные для записи в память RAL. После этого формирует последовательность сигналов для записи нужных данных в память RAL и управляющие сигналы для мультиплексоров 1 уровня. По завершению этой операции модуль ДМ готов для выполнения моделирования его поведения для таблицы заданной в файле карты.

Модуль `eFex_remap_data_gen.vhd` формирует непосредственно входную последовательность упакованных данных для анализируемого модуля ДМ, имитируя сигналы с плат ЛТДВ. При этом данные суперячейки, относящиеся к имитируемой ТТ, представляют собой линейную последовательность, а данные, не относящиеся к имитируемой ТТ, имеют нулевое значение. Таким образом, при правильной работе модуля ДМ на выходе будет линейная последовательность, что можно проверить в автоматическом режиме без анализа временных диаграмм сигналов.

Для выполнения такого анализа разработан модуль `eFex_remap_check.vhd`, который при наличии линейной последовательности на его входе в течении 1 мс выдаёт диагностическое сообщение о корректной работе модуля ДМ, и сообщение об ошибке при нарушении линейной последовательности. Таким образом, запуская моделирование с разными файлами карт раскладки суперячеек, достигается полное покрытие возможных

ситуаций. Протокол моделирования модуля динамического мультиплексора для разных файлов карт раскладки суперячеек следует далее.

Для проверки корректности работы были подготовлены различные файлы карт раскладки суперячеек по ВОЛП, и для каждого файла было проведено моделирование. Результат моделирования представлен в Таблице 11.

Таблица 11 – Результат моделирования модуля ДМ

Файл раскладки суперячеек	Результат моделирования	Комментарий
normal_map_2fiber.txt	УСПЕШНО	Использовано 2 ВОЛП, прямой порядок суперячеек в пакетах
reverse_map_2fiber.txt	УСПЕШНО	Использовано 2 ВОЛП, обратный порядок суперячеек в пакетах
normal_map_3fiber.txt	УСПЕШНО	Использовано 3 ВОЛП, прямой порядок суперячеек в пакетах
reverse_map_3fiber.txt	УСПЕШНО	Использовано 3 ВОЛП, обратный порядок суперячеек в пакетах
normal_map_4fiber.txt	УСПЕШНО	Использовано 4 ВОЛП, прямой порядок суперячеек в пакетах
reverse_map_4fiber.txt	УСПЕШНО	Использовано 4 ВОЛП, обратный порядок суперячеек в пакетах
normal_map_5fiber.txt	УСПЕШНО	Использовано 5 ВОЛП, прямой порядок суперячеек в пакетах
reverse_map_5fiber.txt	УСПЕШНО	Использовано 5 ВОЛП, обратный порядок суперячеек в пакетах
normal_map_6fiber.txt	УСПЕШНО	Использовано 6 ВОЛП, прямой порядок суперячеек в пакетах
reverse_map_6fiber.txt	УСПЕШНО	Использовано 6 ВОЛП, обратный порядок суперячеек в пакетах
normal_map_7fiber.txt	УСПЕШНО	Использовано 7 ВОЛП, прямой порядок суперячеек в пакетах
reverse_map_7fiber.txt	УСПЕШНО	Использовано 7 ВОЛП, обратный порядок суперячеек в пакетах
normal_map_8fiber.txt	УСПЕШНО	Использовано 8 ВОЛП, прямой порядок суперячеек в пакетах
reverse_map_8fiber.txt	УСПЕШНО	Использовано 8 ВОЛП, обратный порядок суперячеек в пакетах
normal_map_9fiber.txt	УСПЕШНО	Использовано 9 ВОЛП, прямой порядок суперячеек в пакетах
reverse_map_9fiber.txt	УСПЕШНО	Использовано 9 ВОЛП, обратный порядок суперячеек в пакетах
map_10fiber.txt	УСПЕШНО	Использовано 10 ВОЛП, номера ВОЛП по порядку от 1 до 10
map_10fiber_random1.txt	УСПЕШНО	Использовано 10 ВОЛП, случайный набор ВОЛП, вариант 1
map_10fiber_random2.txt	УСПЕШНО	Использовано 10 ВОЛП, случайный набор ВОЛП, вариант 2
map_10fiber_random3.txt	УСПЕШНО	Использовано 10 ВОЛП, случайный набор ВОЛП, вариант 3

10.3 Разработка технических требований к новой электронике считывания для торцевого ЖАК, включая «холодные» усилители и предварительные формирователи

Разработаны следующие технические требования для изготовления новых «холодных» усилителей:

- Усилители должны выдерживать более высокие радиационные нагрузки, по сравнению с существующими усилителями. Интегральная доза по нейтронам, согласно новым расчетам с уточненной геометрией детектора, составляет $1 \div 3 \cdot 10^{15}$ н/см². Для достижения этой цели должна быть применена новая технология на основе технологии IHP CMOS (Innovations for High Performance Microelectronics Complementary Metal Oxide Semiconductor).

Согласно проведенному моделированию рабочих характеристик электроники, основные электрические параметры должны быть следующими:

- Входное сопротивление - 50 Ом
- Выходное сопротивление - 50 Ом
- Коэффициент усиления - 500 мВ/мА
- Диапазон входных токов - 25 нА ÷ 1 мА
- Эквивалентный шумовой ток приведенный ко входу одного усилителя - не более 25 нА

Одна микросхема усилителя должна включать в себя восемь усилительных каскадов с возможностью использования компенсации полюса нулем и два драйвера для полной идентичности с предыдущей версией без замены соединительных кабелей.

Для изготовления новых предварительных формирователей разработаны следующие технические требования:

- Формирователи должны быть изготовлены на базе микросхемы ASIC и совмещены с основным формирователем CR·RC² типа, который разрабатывается для электромагнитного калориметра
- Должна быть предусмотрена возможность использования каскада с компенсацией полюса нулем при невозможности использования такого каскада в предварительном усилителе:
- Использование такого каскада предпочтительнее, чем компенсация полюса нулем в предварительном усилителе, так как в данном месте возможно построение программированного каскада, что позволит использовать точную подстройку для конкретного канала калориметра. Функционально такой каскад компенсации полюса нулем показан на рисунке 28.

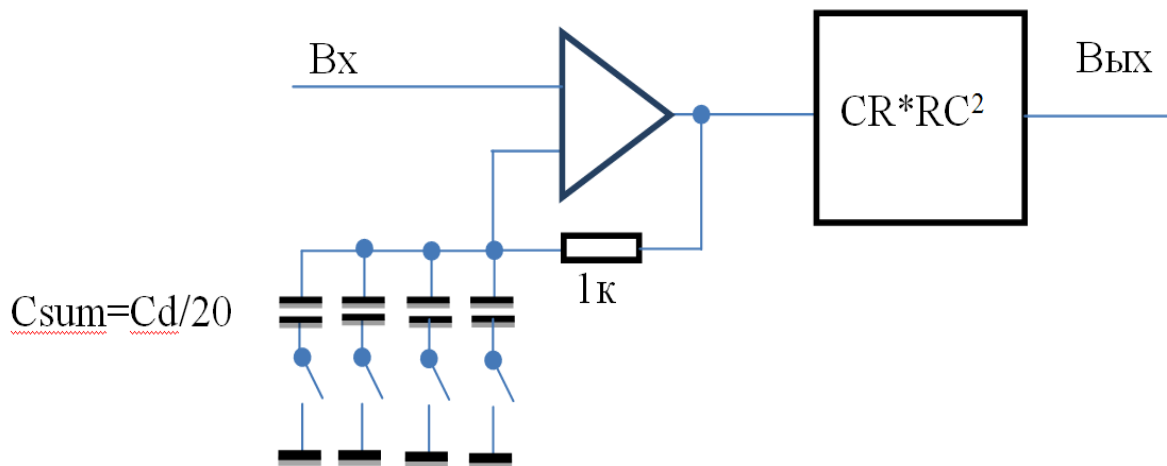


Рисунок 28 - Настраиваемый каскад компенсации полюса нулем с $CR \cdot RC^2$ - формирователем. Управление ключами осуществляется компьютером. Подключаемая емкость, C_{sum} , должна быть равна емкости данной ячейки детектора C_d .

Основные электрические характеристики предварительного формирователя определены из соответствующих характеристик предварительного усилителя и основного формирователя для согласования входных и выходных сигналов по амплитудам и формам:

- Диапазон входных сигналов $12 \text{ мкВ} \div 500 \text{ мВ}$; сигналы положительные.
- Диапазон выходных сигналов, как и коэффициент усиления, будут определены после окончательной разработки основного формирователя. Предварительные значения усиления приняты как «два» для переднего колеса калориметра и «четыре» для заднего колеса, соответственно.
- Дополнительно вносимый шум должен быть не более 5% от шума предварительного усилителя.
- Точность подбора емкости в каскаде компенсации определяется из условия, чтобы фронт выходного сигнала после основного формирователя мог быть установлен равным 50 нс с точностью не хуже $\pm 1 \text{ нс}$. Из такого требования и известного диапазона емкостей детекторных ячеек ($24 \div 430 \text{ пФ}$) следует, что данная емкость должна варьироваться в диапазоне $1 \div 25 \text{ пФ}$ с шагом 1 пФ.

- 10.4 Расчет радиационной нагрузки в области размещения холодной электроники ЖАК и переднего калориметра с учетом результатов первого сеанса работы БАК. Расчеты деградации энергетического разрешения ЖАК при регистрации струй адронов на основе экспериментальной и генерированной методом Монте-Карло информации

Жидкоаргоновые калориметры АТЛАС схематично показаны на рисунке 29.

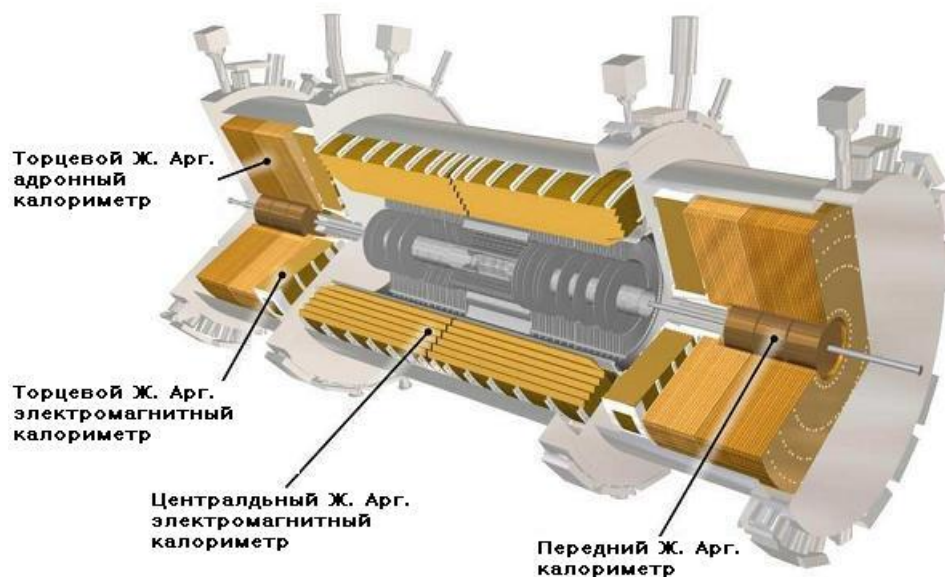


Рисунок 29 – Общий вид жидкоаргоновых калориметров АТЛАС.

Отличительной особенностью жидкоаргоновых адронных торцевых калориметров (НЕС) является размещение части электроники считывания сигнала внутри криостата для более стабильной работы при температуре жидкого аргона. Это исключает возможность доступа к ней для замены поврежденных радиационным воздействием элементов и требует тщательного подбора электронных компонент по уровню их радиационной стойкости.

Исследованию радиационной стойкости материалов и электроники было уделено большое внимание при разработке калориметров, и их последующая успешная работа во многом обязана этой предварительной деятельности.

При запланированной интегральной светимости 3000 fb^{-1} в зоне расположения усилителей адронного калориметра внутри криостатов, суммарный флюенс нейтронов (в единицах 1 МэВ - эквивалента на кремнии, Si-NIEL) оценивается в $4,1 \times 10^{14} \text{ н/см}^2$, при этом неопределенность в оценке числа нейтронов учтена введением мультипликативного фактора, равного 2. Это превышает оценки, сделанные на этапе строительства БАК и создания АТЛАС.

В течение первого периода работы БАК были предприняты действия с целью определения радиационной нагрузки заряженными частицами, нейтронами и гамма-квантами в зонах расположения подсистем детектора АТЛАС. Это позволило сравнить полученные экспериментальные данные с результатами расчетов методом Монте-Карло, которые были положены в основу требований к радиационной стойкости электроники и материалов. В качестве детекторов излучения были применены кремниевые детекторы МРХ. Схема их размещения по объему детектора АТЛАС показана на рисунке 30.

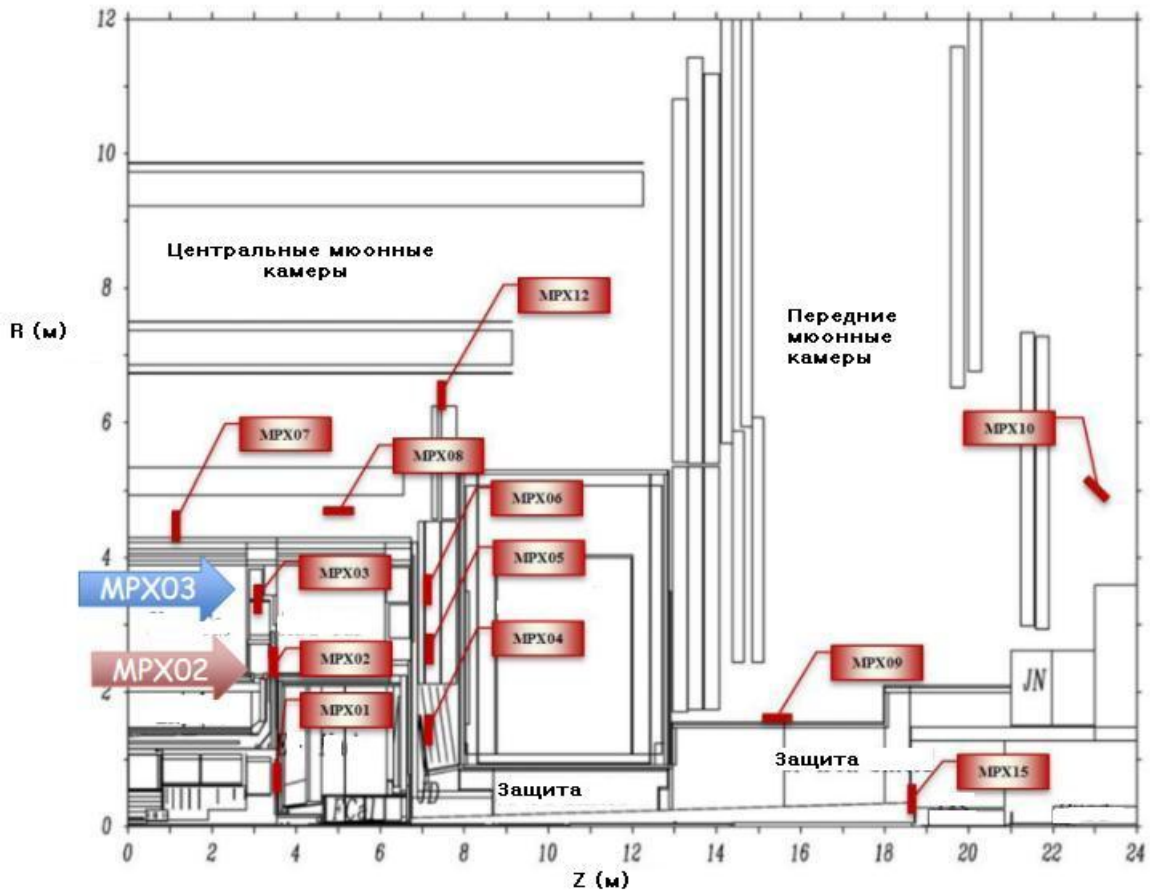


Рисунок 30 - Схема расположения детекторов MPX в рабочем объеме установки.

Отметим, что детекторы MPX02-03 расположены в интересующей нас зоне расположения холодной электроники адронного калориметра.

На рисунке 31(a) представлен измеренный MPX датчиками (красные точки) и рассчитанный методом Монте-Карло с помощью широко используемых программ GCALOR (зеленая линия) и FLUGG (синяя линия) интегральный поток тепловых нейтронов в различных точках по объему детектора АТЛАС. На рисунке 31(b) показано отношение измеренных и вычисленных величин нейтронных флюенсов.

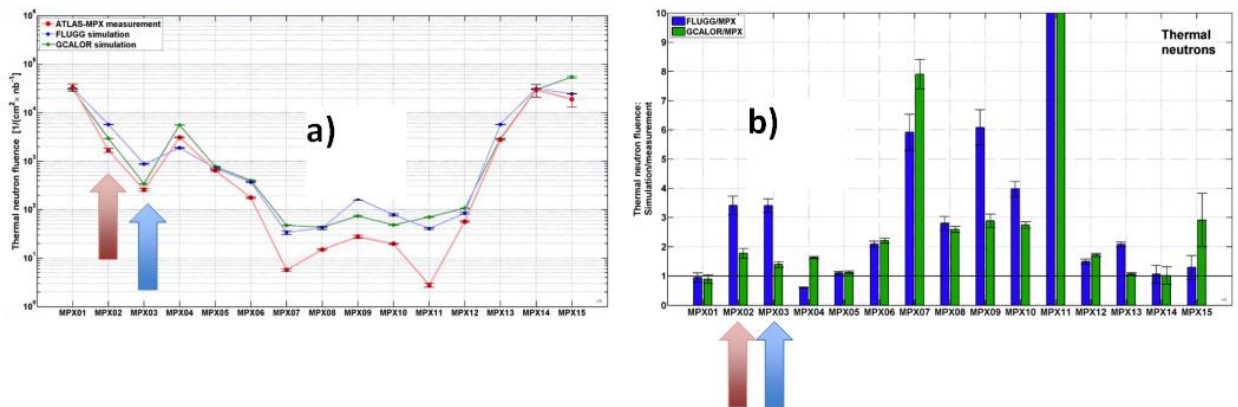


Рисунок 31 - Сравнение расчетных и экспериментальных радиационных нагрузок. Показания близких к расположению «холодной» электроники датчиков MPX02-03 отмечены стрелками.

Видно, что количественные измерения радиационных полей в различных зонах детектора АТЛАС проведены с хорошей статистикой во всех зонах и имеют разброс в величине интенсивности более, чем 7 порядков. В зонах с высокими потоками согласие между моделированными и измеренными флюенсами находится в пределах фактора 2÷3, причем моделирование, в основном, даёт более высокие значения.

Для получения величины нейтронного флюенса в зоне расположения «холодных» преусилителей и формирователей электроники считывания жидкоаргонового адронного торцевого калориметра АТЛАС было проведено детальное Монте-Карло моделирование в следующих предположениях: энергия протон-протонных столкновений 14 ТэВ при неупругом сечении взаимодействия 79,3 мбарн и интегральной светимости 3000 фб⁻¹ после 10 лет работы БАК. При этом, для учета неопределенности моделирования, применялся «фактор безопасности», равный 2. Приведенная ниже таблица 12 показывает результаты расчета нейтронных флюенсов и полной ионизирующей дозы в зоне расположения «холодной» электроники.

Таблица 12. Рассчитанные методом Монте-Карло величины нейтронных флюенсов (NIEL) и полных ионизирующих доз (TID) в зоне расположения электроники считывания жидкоаргонового адронного торцевого калориметра. Расчет выполнен для 4-х продольных секций калориметра (0-3).

Сегмент	Z [cm]	Флюенс нейтронов для 3000 фб ⁻¹ [n _{eq} cm ⁻²]	Поглощенная доза для 3000 фб ⁻¹ [Грэй]	Сегмент	Z [cm]	Флюенс нейтронов для 3000 фб ⁻¹ [n _{eq} cm ⁻²]	Поглощенная доза для 3000 фб ⁻¹ [Грэй]
0	431	1.17E+14	3143.85	1	460	6.99E+13	1228.17
	435	1.11E+14	2673.09		466	5.96E+13	916.85
	439	1.03E+14	2397.83		475	5.07E+13	727.11
	439	1.03E+14	2397.83		481	4.18E+13	846.52
	443	9.76E+13	1907.52		486	3.63E+13	548.38
	443	9.76E+13	1907.52		489	3.39E+13	453.55
	447	9.28E+13	2106.38		493	3.02E+13	442.24
	447	9.28E+13	2106.32		496	2.84E+13	415.55
	451	8.15E+13	1603.39		499	2.74E+13	443.83
	451	8.15E+13	1603.39		502	2.5E+13	362.42
	455	7.87E+13	1298.78		506	2.46E+13	284.41
	455	7.87E+13	1298.78		510	2.1E+13	361.23
	455	7.87E+13	1298.78				
	455	7.87E+13	1298.78				
2	528	1.36E+13	293.42	3	579	3.81E+12	76.13
	532	1.31E+13	198.75		584	3.18E+12	65.68

536	1.1E+13	161.47	588	3.89E+12	91.93
540	9.58E+12	116.89	588	3.89E+12	91.93
540	9.58E+12	116.89	592	3.96E+12	70.24
544	8.1E+12	136.79	592	3.96E+12	70.24
544	8.1E+12	136.79	595	3.68E+12	88.75
548	8.27E+12	267.03	595	3.68E+12	88.75
548	8.27E+12	267.03	599	4.25E+12	66.95
552	7.32E+12	100.61	599	4.25E+12	66.95
552	7.32E+12	100.61	599	4.25E+12	66.95
552	7.32E+12	100.61	599	4.25E+12	66.95

Холодные GaAs усилители внутри криостатов расположены на внешней окружности адронного калориметра с радиусом $R = 204$ см и в области вдоль пучка $430 \text{ см} < Z < 600$ см.

На рисунке 32 показан ожидаемый в АТЛАС Si-NIEL флюенс, поглощенный предусилителями жидкоаргонового адронного калориметра в зависимости от расположения соответствующих им ячеек калориметра в R-Z-плоскости.

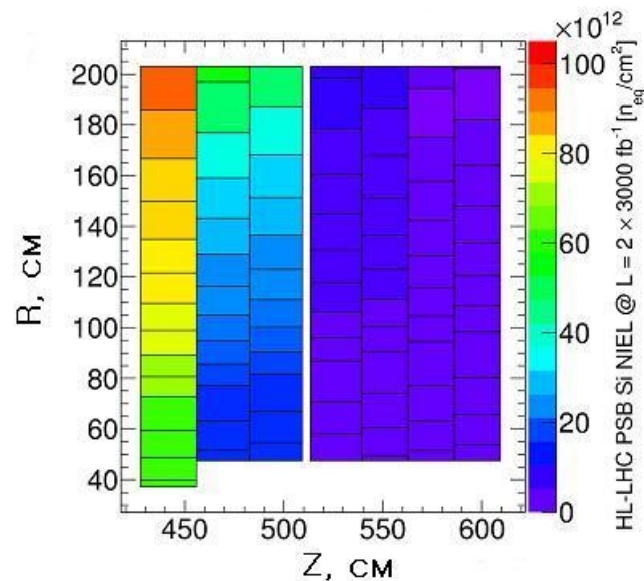


Рисунок 32 - Si-NIEL поглощённый флюенс в АТЛАС после набора 3000 фб^{-1} и с применением «фактора безопасности», равного 2, для учета неопределенностей моделирования. Цветовая кодировка величин флюенса представлена в координатах R-Z для соответствующих ячеек считывания жидкоаргонового адронного торцевого калориметра.

В целом, сравнивая результаты измерений, выполненные в ходе первого сеанса работы БАК, с расчетами, можно заключить, что проведенные для повышенной светимости коллайдера оценки радиационных нагрузок в различных подсистемах

детектора АТЛАС являются достоверными и могут быть использованы для сертификации электроники и материалов.

Деградация электроники считывания проявляется, в основном, в снижении коэффициента усиления и увеличении нелинейности калориметрического сигнала. Для учета этих факторов мы использовали данные нескольких экспериментов, в которых размещенная в ЖАК электроника облучалась в пучках нейтронов и гамма-квантов, а ее параметры измерялись для различных уровней радиационных нагрузок.

Данные на рисунках 33 и 34 демонстрируют результаты, полученные при радиационных испытаниях GaAs электроники на ускорителе в Ржеже (Чехия) для деградации коэффициента усиления и нелинейности, соответственно.

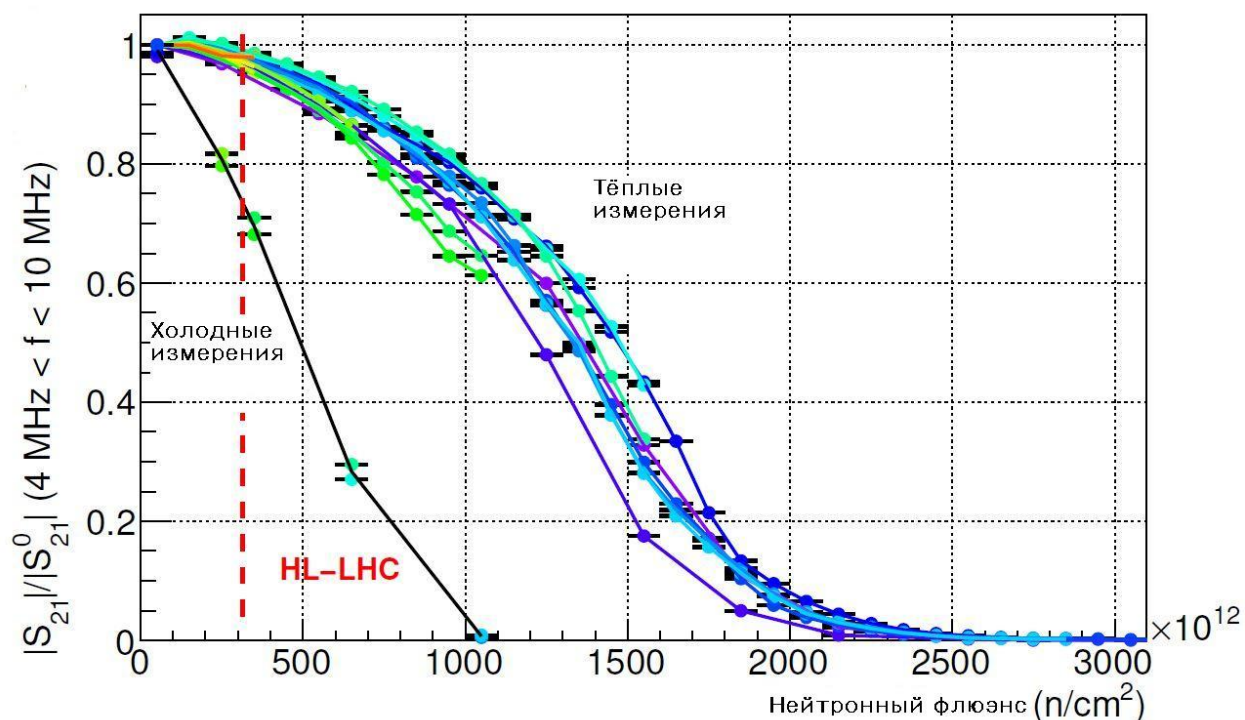


Рисунок 33 - Экспериментальные данные по изменению коэффициента усиления с ростом нейтронного флюенса.

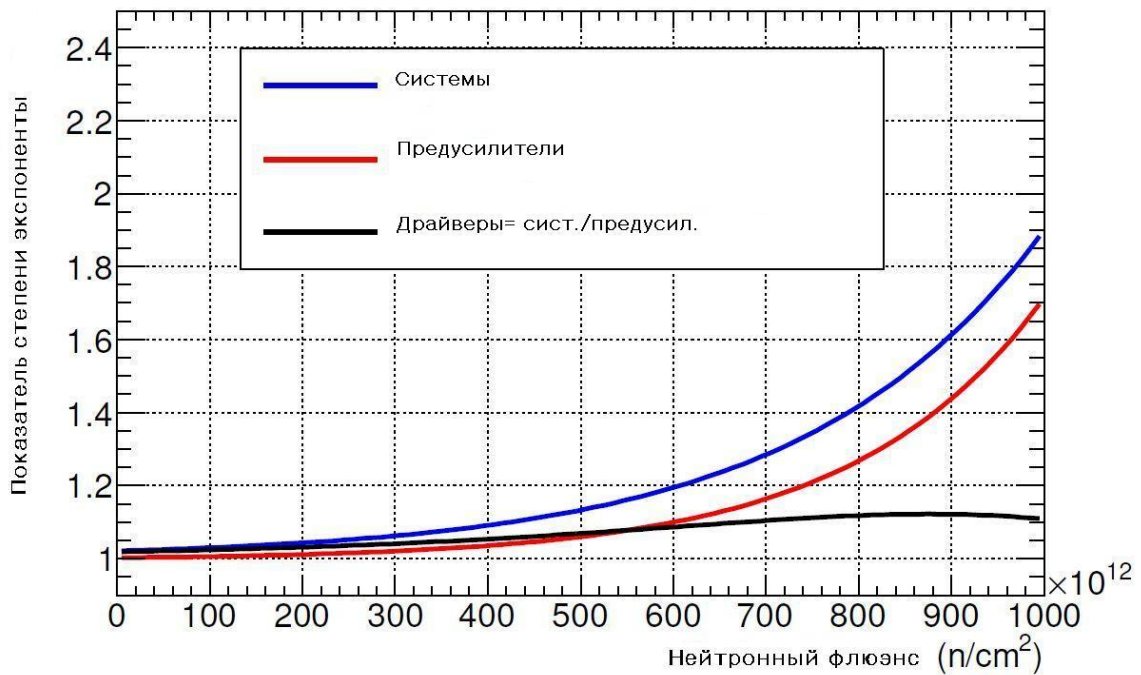


Рисунок 34 - Рост нелинейности отклика GaAs предусилителя с увеличением нейтронного флюенса.

На рисунке 35 показаны ожидаемые сигналы в жидкоаргоновом адронном калориметре для разных уровней поглощенной нейтронной дозы.

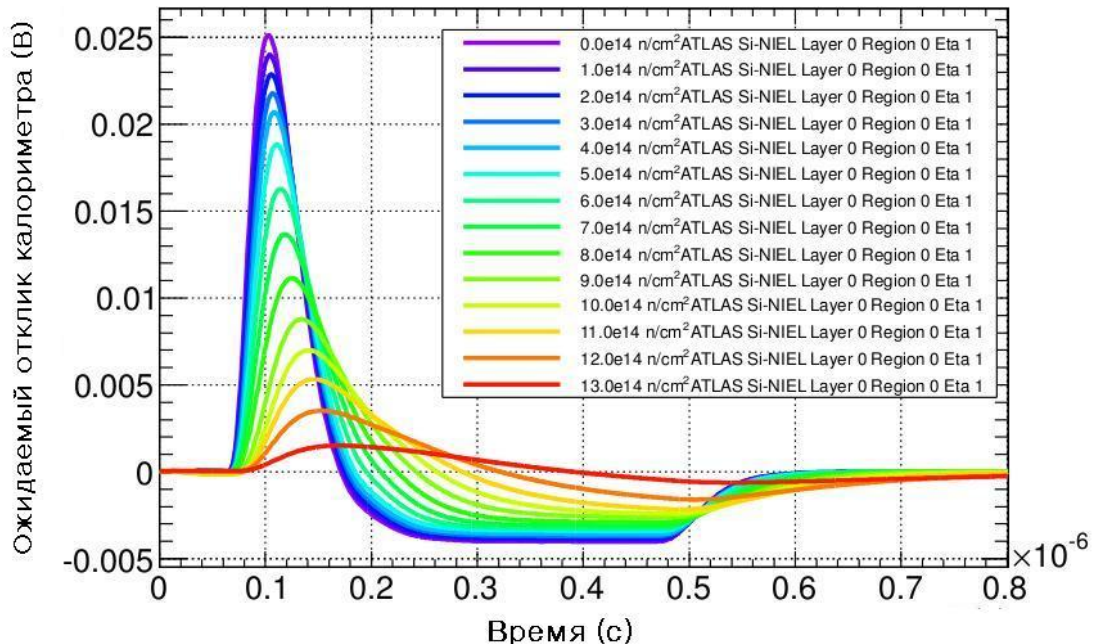


Рисунок 35 - Результаты моделирования электронной цепи канала считывания с учетом измерений параметров облученных элементов.

Симулирование отклика производилось с учетом проведенных ранее измерений образцов, облученных в ходе тестов. Эти расчеты использовались затем при моделировании отклика ЖАК на сигнал от адронных струй.

Для расчетов деградации энергетического разрешения ЖАК при регистрации струй адронов с помощью программы RUTHIA был сгенерирован набор двух-струйных событий с двумя лидирующими струями адронов в области геометрических параметров, соответствующих занимаемому ЖАК пространству. Все треки адронов были протрассированы через геометрию детектора с помощью пакета программ GEANT4, при этом в программы моделирования были введены результаты изучения изменения откликов предусилителей и нелинейности передачи в цепи электроники считывания под действием нейтронного облучения.

На начальной стадии моделирования был создан специальный набор данных, который содержал значения энергии, выделенной в каждом зазоре адронного калориметра для каждого сгенерированного события. Деградация электроники вводится в процесс моделирования заменой «начальных» значений энергии «новыми» значениями, которые отражают радиационные повреждения электроники ЖАК. Величины нейтронного флюенса для оценки деградации характеристик электроники считывания выбирались в соответствии с расположением каждого отдельного предусилителя внутри криостата. Средние величины параметров, представленные в таблице 13, и дисперсии средних значений использовались для случайного розыгрыша по распределению Гаусса параметров каждого из предусилителей ЖАК.

Таблица 13. Ожидаемые средние величины нейтронного флюенса, деградации коэффициента усиления и нелинейности для GaAs предусилителей в различных продольных сегментах ЖАК и для разных значений «фактора безопасности», SF.

Сегмент	SF=1	SF=2	SF=3	SF=4	SF=5
Средняя величина нейтронного флюенса по продольному сегменту в [10 ¹² н/см ²]					
Сегмент_0	59	117	176	234	293
Сегмент_1	35	70	104	139	174
Сегмент_2	7	14	20	27	33
Сегмент_3	2	4	6	9	10
Деградация коэффициента усиления (по сегментам)					
Сегмент_0	0.977	0.953	0.930	0.907	0.883
Сегмент_1	0.986	0.972	0.958	0.944	0.930
Сегмент_2	0.997	0.995	0.992	0.989	0.986
Сегмент_3	0.999	0.998	0.997	0.997	0.996
Относительной рост нелинейности (по сегментам)					
Сегмент_0	0.977	0.953	0.930	0.907	0.883
Сегмент_1	0.986	0.972	0.958	0.944	0.930
Сегмент_2	0.997	0.995	0.992	0.989	0.986
Сегмент_3	0.999	0.998	0.997	0.997	0.996

«Новое» значение выделенной в зазоре энергии вычисляется с использованием фактора g_i , учитывающего деградацию коэффициента усиления: $E_{deg} = E_{init} \cdot g_i$. Выходные сигналы предусилителей суммируются электроникой, размещенной на печатных платах. Сигналы системы калибровки калориметра, посылаемые ею на входы предусилителей, могут быть использованы для коррекции деградации усилителей. Так, для группы из 4-х предусилителей вычисляется один корректирующий коэффициент $C_g = 4/(g_1+g_2+g_3+g_4)$, который применяется индивидуально к каждому из 4-х предусилителей так, что $E_{degr} = E_{deg} / C_g$.

Нелинейность электроники не может быть поправлена с помощью системы калибровки. Для учета её был разработан специальный *off-line* метод, в котором, в конечном итоге, нелинейность вводится как степенной фактор при вычислении нового значения энергии $E_{new} = (E_{degr})^p / C_{norm}$, где C_{norm} – нормировочный коэффициент, связанный с выделенной в зазоре «видимой» энергией и геометрией поглотителя.

Результаты Монте-Карло моделирования для адронных струй промежуточного интервала энергий показаны на рисунке 36 для разных значений SF.

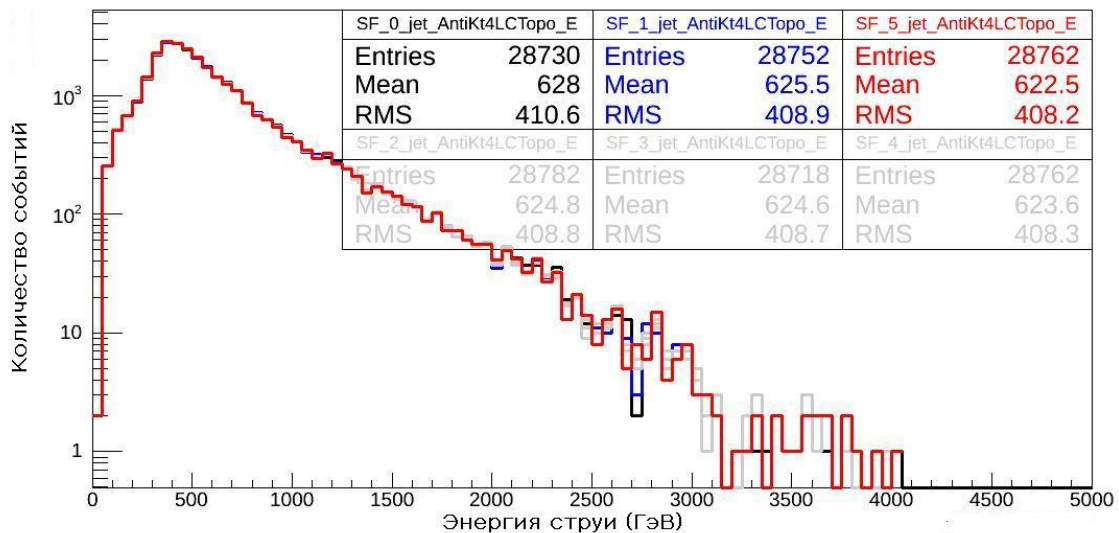


Рисунок 36 - Распределение по энергии струй, реконструированных с помощью AntiKt - алгоритма для случаев без учета деградации (черная линия) и для нескольких значений «фактора безопасности» - SF=1 (синий цвет) и SF=5 (красный цвет).

Видно, что различие в спектрах энергий струй невелико.

Основными параметрами, характеризующими качество работы калориметра являются энергетическое разрешение и линейность отклика. Реконструированные адронные струи сравнивались со сгенерированным в Монте-Карло «истинными» струями и изучались распределения разности энергий реконструированных и истинных струй в разных интервалах энергий. Зависимость ширины исследуемых распределений от величины энергии струи характеризует энергетическое разрешение калориметра для данного набора струй, а отношение величин восстановленной и истинной энергий – нелинейность его отклика.

Результаты моделирования деградации энергетического разрешения и относительной нелинейности ЖАК при регистрации струй адронов на основе экспериментальной и генерированной методом Монте-Карло информации представлены на рисунках 37 и 38, соответственно.

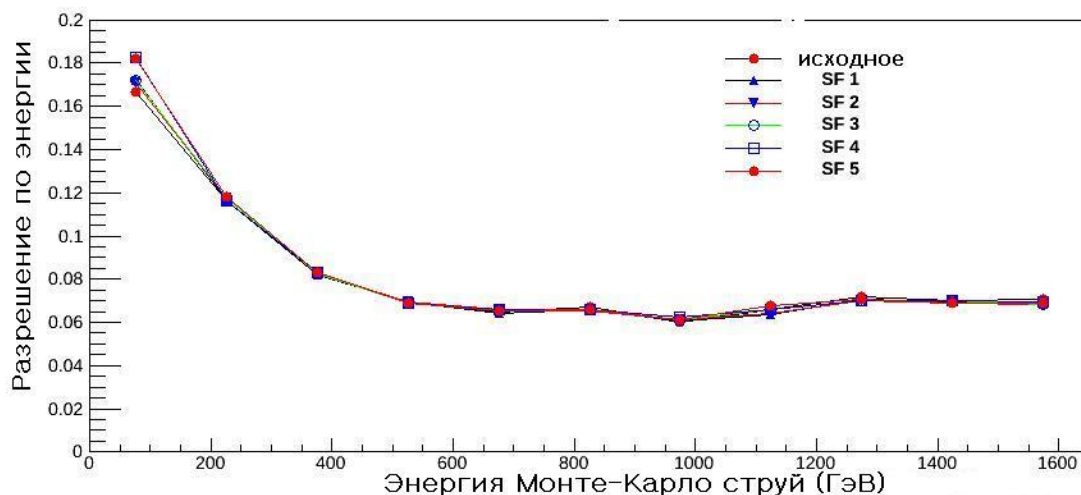


Рисунок 37 - Энергетическое разрешение для разных значений SF=1-5.

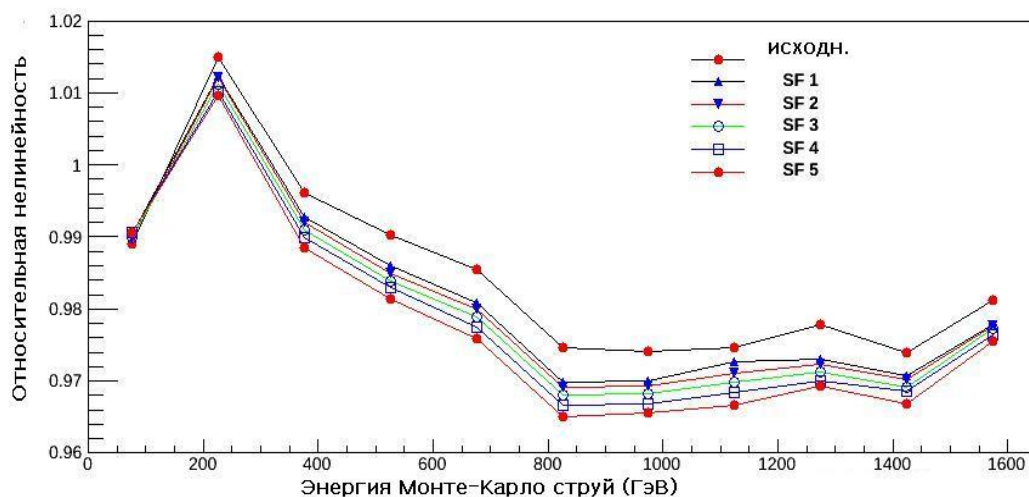


Рисунок 38 - Относительная нелинейность для разных значений SF=1-5.

В целом, основываясь на результатах проведенного анализа, можно утверждать, что влияние деградации «холодной» электроники ЖАК на такие важные характеристики калориметра как энергетическое разрешение адронных струй и нелинейность не столь значительно, как ожидалось и проявляется на уровне не свыше 1%. Этот важный результат необходимо проверить с учетом так называемого «pile-up»-эффекта, усиливающегося при повышении светимости БАК. Тем не менее, если вывод о незначительном масштабе эффекта деградации подтвердится, это позволит отказаться от одного из самых рискованных сценариев модернизации калориметрической системы АТЛАС, связанной с отогревом и открытием жидкоаргонового криостата с целью замены «холодной» электроники.

11 Работы по оптическим кабелям жидкоаргонового калориметра

11.1 Разработка номенклатуры и спецификации кабелей

Специальные оптические кабели предназначены для применения в электронных платах ЛТДБ (LTDB - LAr Trigger Digitizer Board — платы оцифровки триггерных сигналов с электроники жидкоаргонового калориметра) и должны быть изготовлены в четырех разных вариантах по индивидуальным спецификациям с различным числом оптических разъемов. Два типа кабелей имеют общую длину 350 мм и два - 150 мм.

В специальных оптических кабелях должно быть использовано радиационно стойкое мультимодовое оптическое волокно 50/125 класса OM3 ДракаЭлит Сверхрадиационностойкое (DrakaElite Super RadHard) [42], производства компания Драка (Draka), Нидерланды, выпускаемого в виде оптического волокна с первичным защитным покрытием внешним диаметром 242 мкм. Именно это оптическое волокно рекомендовано к использованию в работах по фазе модернизации по результатам проводившихся в ЦЕРН исследований.

Номенклатура специальных оптических кабелей, которые должны быть собраны и поставлены в ЦЕРН состоит из четырех типов, а именно:

Тип 1 - специальный оптический кабель, имеющий с одной стороны разъем типа MPO/MTP на 12 волокон, и разветвляющийся на 10 оптических кабелей, имеющих на своем конце соответствующий разъем. Общая длина составляет 350 мм.

Тип 2 - специальный оптический кабель, имеющий с одной стороны разъем типа MPO/MTP на 12 волокон, и разветвляющийся на 8 оптических кабелей, имеющих на своем конце соответствующий разъем. Общая длина составляет 350 мм.

Тип 3 - специальный оптический кабель, имеющий с одной стороны разъем типа MPO/MTP на 12 волокон, и разветвляющийся на 10 оптических кабелей, имеющих на своем конце соответствующий разъем. Общая длина составляет 150 мм.

Тип 4 - специальный оптический кабель, имеющий с одной стороны разъем типа MPO/MTP на 12 волокон, и разветвляющийся на 8 оптических кабелей, имеющих на своем конце соответствующий разъем. Общая длина составляет 150 мм.

Соединения в специальных оптических кабелях типов 1 и 3 должны соответствовать требованиям, приведенным в Таблице 14.

Таблица 14. Соединения для кабелей типа 1 и 3.

Таблица соединений для типов №1 и №3	
Сторона МТР	Сторона LC
1	Не используется
2	LC1
3	LC2
4	LC3
5	LC4
6	LC5
7	LC6
8	LC7
9	LC8
10	LC9
11	LC10
12	Не используется

Соединения в специальных оптических кабелях типов 2 и 4 должны соответствовать требованиям, приведенным в Таблице 15.

Таблица 15 – Соединения для кабелей типа 2 и 4.

Таблица соединений для типов №2 и №4	
Сторона МТР	Сторона LC
1	Не используется
2	Не используется
3	LC1
4	LC2
5	LC3
6	LC4
7	LC5
8	LC6
9	LC7
10	LC8
11	Не используется
12	Не используется

Конкретный тип оптического разъема, которым должны быть укомплектованы специальные оптические кабели с разветвленной стороны, на сегодняшний день не определен. Он будет уточнен и принят сотрудничеством ЖАК (Liquid Argon Collaboration) весной 2015 г. после соответствующих тестов и испытаний прототипов электроники. Соответственно, после этого будут созданы сборочные схемы специальных оптических кабелей.

11.2 Разработка технической документации по сборке и тестированию оптических кабелей

В ходе работ по технической документации подготовлена инструкция по сборке и тестированию оптических кабелей, представленная в этом разделе.

Специфические технические термины, используемые в тексте:

Патч-корд (patching-cord) – коммутационный шнур (кабель) служащий для соединения электронных устройств. Является частью структурированной кабельной системы. Обычно максимальная длина – не более 5 м. В нашем случае длина патч-корда составляет 350 мм или 150 мм.

Пигтейл (Pigtail) - представляет собой отрезок кабеля, оборудованный с одной стороны коннектором определённого типа.

МРО/МТР разъем:

МРО - многополюсный оптический интерфейс МРО (Multi-Fiber Push On).

МТР – торговая марка модернизированного разъема типа МРО, запатентованная компанией US Cones.

Ферул (центратор) - керамическая втулка внутри корпуса разъема, в которой закрепляется (закрепляются) оптическое волокно (оптические волокна).

Класс оптической полировки торца оптического волокна – это не только чистота обработки поверхности (размер максимальной шероховатости), но и специальная форма торца волокна. Поверхность может быть плоской и перпендикулярной оси волокна, сферической и плоской, но не перпендикулярной к оси волокна с отклонением от перпендикуляра порядка 8° . Существуют следующие классы оптической полировки:

РС – physical contact (физический контакт);

SPC – super physical contact (супер физический контакт);

UPC – ultra physical contact (ультра физический контакт);

APC – angle physical contact (физический контакт под углом).

DrakaElite Super RadHard (Radiation Hardened) MMF – радиационно стойкое мультимодовое оптическое волокно класса OM3, используемое для производства оптического кабеля. Производитель – компания Draka, Нидерланды. Выпускается в виде оптического волокна с внешним защитным покрытием внешним диаметром 242 мкм. Диаметр внутреннего волокна – 50 мкм, диаметр внешнего – 125 мкм, волокно покрыто двумя слоями оболочки. Именно это оптическое волокно рекомендовано к использованию в работах по первой фазе модернизации АТЛАС, по результатам проводившихся в ЦЕРН исследований. Оптический кабель внешним диаметром 0,9 мм должен быть изготовлен на основе этого волокна, а затем из этого кабеля будут собираться патч-корды.

Рассматриваемые варианты патч-корда в настоящей инструкции представляют собой 8 или 10 пигтейлов, соединенных с разъемом МРО/МТР. Ферул применяемого МРО разъема рассчитан на 12 волокон. Общая длина патч-кордов 350 мм или 150 мм.

Ввиду того, что окончательный дизайн патч-кордов будет утвержден только весной 2015 года, все операции по сборке и тестированию будут описаны, исходя из

существующего варианта использования коннекторов типа LC для оконцевания пигтейлов.

Общие требования к работам – все операции по сборке и тестированию оптических патч-кордов должны проводиться квалифицированным персоналом, имеющим соответствующие разрешения и допуски, в чистом помещении с классом чистоты не ниже 10000, оборудованном приточно – вытяжной вентиляцией.

Сборка и тестирование специальных оптических кабелей должна происходить в следующем порядке:

I Получение оптического кабеля внешним диаметром 0,9 мм на основе Draka Elite Super RadHard MMF отрезками по 250 м (10 различных цветов) – итого - 2,5 км.

II. Входное тестирование полученного кабеля, для чего выполняется:

- Оконцевание каждого отрезка соответствующими коннекторами для подсоединения к тестовому оборудованию – рефлектометру.
- Измерение оптических характеристик каждого отрезка (снятие рефлектограмм) с сохранением результатов в общей базе данных оптического контроля. Все тестовые измерения проводятся с помощью многомодового оптического рефлектометра (Optical Time Domain Reflectometer - OTDR) на длине волны 850 нм.
- Результаты измерений должны соответствовать предъявляемым требованиям – общее затухание не должно превышать 1,575 дБ ($0,35 \text{ дБ} * 2 + 3,5 \text{ дБ/км} * 0,25 \text{ км}$) для длины волны 850 нм.
- Передача протестированных отрезков оптического кабеля на участок сборки.

III Последовательность сборки оптических патч-кордов:

- Резка оптического кабеля на заготовки для изготовления пигтейлов;
- Изготовление пигтейлов – оконцевание каждой заготовки соответствующим коннектором (тип коннектора будет определен весной 2015 г.). В процессе установки коннектора оптическое волокно освобождается от защитных слоев на участке фиксации в феруле коннектора и закрепляется в центраторе с помощью специального эпоксидного компаунда или с помощью термокля торговой марки «Hot Melt» производства компании «ЗМ».
- Скол выступающих из ферул концов оптических волокон с последующей шлифовкой и оптической полировкой торцов волокон по требуемому классу (класс полировки будет определен весной 2015 г.).
- Сборка патч-кордов из пигтейлов и разъемов МРО/МТР с фиксацией оптических волокон в ферулах МРО разъемов.
- Шлифовка и оптическая полировка торцов оптических волокон закрепленных в феруле разъема МРО/МТР по требуемому классу.
- Выходной контроль оптических характеристик (снятие рефлектограмм) изготовленных патч-кордов на соответствие требованию, чтобы общее затухание для каждого измерения между коннектором LC пигтейла и соответствующим выходом коннектора МРО не превышало 0,7014 дБ ($0,35 \text{ дБ} * 2 + 3,5 \text{ дБ} * 0,4 * 10^{-3}$). Регистрация результатов всех измерений в общей базе данных контроля качества.
- Упаковка собранных патч-кордов для транспортировки.

- IV. Транспортировка готовых патч-кордов в ЦЕРН.
- V Подготовка патч-кордов к монтажу.
 - Входной контроль всех патч-кордов (со снятием рефлектограмм) для сравнения данных, полученных после транспортировки с данными, полученными после их изготовления (перед отправкой). Внесение полученных данных в общую базу данных контроля качества.
 - Анализ полученных данных путем их сравнения со снятыми ранее измерениями для оценки изменений, внесенных транспортировкой.
 - Передача оптических патч-кордов и всей сопутствующей информации по их тестированию ответственному персоналу сотрудничества АТЛАС.

11.3 Разработка перечня приобретаемых элементов спецоборудования для тестирования кабелей ЖАК (рефлектометр)

Измерение потерь в коротких оптических патч-кордах является достаточно сложной технической задачей, для решения которой используются специализированные оптические рефлектометры.

В настоящее время существует широкий спектр оптических рефлектометров, их характеристики постоянно совершенствуются. Поэтому основные требования к прибору, необходимому для тестирования, сформулированы по критерию цена/качество на основе с номенклатуры приборов, представленных на рынке на сегодняшний день. В дальнейшем возможна некоторая коррекция этих требований, исходя из новых возможностей выпускаемых рефлектометров.

Для тестирования потерь при отражениях в коннекторах собираемых патч-кордов а также для оценки рассеяния в оптических волокнах пигтейлов необходим оптический рефлектометр, позволяющий производить измерения со следующими параметрами:

- длина волны тестового излучения – 850 нм;
- мертвая зона измерений по отражению – не более 1,2 м;
- мертвая зона измерений по затуханию – не более 4,5 м;
- коэффициент увеличения приставки электронного микроскопа – не менее 200;
- разрешение экрана оптического рефлектометра– 640 x 480 и выше;
- порог чувствительности – не хуже, чем 0,0001 дБ;
- минимальное количество хранимых в памяти измерений – не менее, чем 1000.

Выбор и приобретение модели оптического рефлектометра и блоков расширения к нему будут сделаны, в соответствии с календарным планом, на втором и третьем этапах работ.

- 12 Теоретические расчёты возможностей измерений редких сигналов с помощью модернизированного супердетектора АТЛАС». Теоретические исследования возможностей изучения парного образования калибровочных бозонов при взаимодействиях протонов сверхвысоких энергий с помощью модернизированного супердетектора АТЛАС

Условия работы БАК во время второго сеанса, начало которого запланировано на май 2015 г., создают определённые сложности для реализации программы физики тяжёлых ароматов эксперимента АТЛАС, по сравнению с аналогичными условиями в течение первого сеанса [25]. Основными факторами, определяющими эти сложности, являются:

- возрастающая светимость коллайдера, приводящая к необходимости повышения порогов триггерного отбора событий;
- наложение нескольких протон-протонных взаимодействий (pile-up) в одном столкновении пучков, усложняющее реконструкцию сигнальных процессов как при обработке данных оффлайн, так и на уровне триггера.

В течение второго сеанса работы планируется набрать данные, соответствующие интегральной светимости 100 фб^{-1} : около 15 фб^{-1} в течение 2015 г. и по $40\text{-}45 \text{ фб}^{-1}$ в 2016 и 2017 гг. Примерный план работы на 2015 г. представлен в таблице 16.

Таблица 16. План работы Большого Адронного Коллайдера и детектора АТЛАС на 2015 г.

Период	Временной промежуток столкновений пучков	Интегральная светимость	Мгновенная светимость	Среднее число взаимодействий в столкновении пучков
май 2015 г.	50 нс	$1,0 \text{ фб}^{-1}$	$4,6 \cdot 10^{33} \text{ см}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$	27
июнь-август 2015 г.	25 нс	$5,1 \text{ фб}^{-1}$	$7,4 \cdot 10^{33} \text{ см}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$	22
сентябрь-ноябрь 2015 г.	25 нс	$9,5 \text{ фб}^{-1}$	$1,3 \cdot 10^{34} \text{ см}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$	39

Основой триггерного отбора событий для физики тяжёлых ароматов в АТЛАС служит поиск т. н. димюонной сигнатуры — пары мюонов, фитируемых к общей вершине. Данная стратегия позволяет отбирать как события с рождением прямых и не прямых J/ψ и Y мезонов, распадающихся в пару мюонов, так и редкие сигналы, включая полулептонные ($B \rightarrow \mu^+ \mu^- X$) и лептонные ($B \rightarrow \mu^+ \mu^-$) распады b -адронов. Ограничение величины потока событий при таком отборе достигается различными методами, основной из которых - повышение порога поперечного импульса мюонов.

В течение первого сеанса работы БАК, большую часть времени этот порог находился на уровне 4 ГэВ для обоих мюонов ($2\mu 4$), причём в периоды наибольшей светимости один или оба из них отбирались только в центральной ($|\eta| < 1,05$) части

детектора, тем самым сохраняя высокий акцептанс в той области, где разрешение по инвариантной массе пары мюонов наилучшее.

Во время второго сеанса работы БАК, в связи с возрастающей светимостью указанный порог будет повышаться. В зависимости от условий набора данных и эффективности других мер по снижению потоков событий, прорабатываются три опорных сценария работы двухмюонных триггеров [43]:

- «оптимистичный» сценарий: порог $2\mu_4$ в 2015 г., $2\mu_6$ в 2016—2017 гг.;
- «реалистичный» сценарий: $2\mu_4$ в мае 2015 г., $\mu_4\mu_6$ в течение лета 2015 г., $2\mu_6$ осенью 2015 г. и в 2016-2017 гг.;
- «пессимистичный» сценарий: $2\mu_6$ в 2015 г., $2\mu_{10}$ в 2016—2017 гг.

Последние оценки показывают, что использование возможностей топологического процессора в триггере первого уровня АТЛАСа [44, 45] в комбинации с порогами на поперечный импульс мюонов позволит удерживать эти пороги на достаточно низких значениях, приближенных к «оптимистичному» сценарию.

Для указанных триггерных сценариев были проведены оценки возможностей проведения различных физических анализов в области физики тяжёлых ароматов на данных, которые будут набраны в течение второго сеанса; в частности, были оценены возможности наблюдения сигналов редких процессов и измерения их параметров. Так, для редкого полуплептонного распада $B^0 \rightarrow K^{*0} \mu^+ \mu^-$, анализ которого был проведён в сотрудничестве АТЛАС на данных 2011 г. (анализ полного набора данных первого сеанса работы ведётся в настоящее время), было показано, что по сравнению с данными первого сеанса ожидаемое число сигнальных событий в данных второго сеанса увеличивается в два раза в случае реализации «пессимистичного» триггерного сценария и в 4÷5 раз для «оптимистичного». Это позволяет утверждать, что данный анализ, как и ряд других, входящих в планируемую программу физики тяжёлых ароматов АТЛАС, остаётся конкурентным по сравнению с другими экспериментами и позволит существенно увеличить точность измерений.

В таблице 17 приведены оценки точности измерения фазы ϕ_s , измеряемой в распаде $B_s^0 \rightarrow J/\Psi(\mu^+\mu^-)K^{*0}$ и характеризующей степень СР нарушения, в значении которой могут проявиться эффекты новой физики за пределами стандартной модели,

Таблица 17. Ожидаемые значения погрешности измерения фазы ϕ_s на разных этапах работы БАК при разных порогах триггера димюонов.

	2011	2012	2015-2017		2019-2021	2023-30+
Детектор	Текущий	Текущий	С В-слоем		С В-слоем	С новым трекером
Среднее число взаимодействий	6-12	21	60		60	200
Инт. светимость, fb^{-1}	4,9	20	100		250	3000
Порог димюонного триггера, ГэВ	4-4(6)	4-6	6-6	11-11	11-11	11-11
Сигн, событий на 1fb^{-1}	4400	4320	3280	460	460	330

Сигн. событий	22000	86400	327900	45500	114000	810000
Всего событий для анализа	130000	550000	1874000	284000	758000	6461000
Ожидаемая стат. погрешность φ_s , рад.	0,25	0,12	0,054	0,10	0,064	0,022

Из приведённых данных видно, что предстоящие новые измерения позволят существенно уточнить существующие данные в этой области исследований.

Изучение образования пар векторных бозонов в сеансе 2 открывает уникальные возможности благодаря увеличению энергии сталкивающихся протонов и светимости. Это позволит как сделать очень точные измерения основных характеристик этих процессов, так и провести поиск новых эффектов. Измерение полных сечений образования дибозонов в сеансе 1 при энергиях сталкивающихся протонов 7 и 8 ТэВ уже дали неожиданные результаты. Так измерение сечения образования пары W бозонов в двух основных экспериментах АТЛАС и CMS, выполненные при энергиях 7 ТэВ и 8 ТэВ, дали значения сечений больше, чем предсказывались теорией. Так при энергии 7 ТэВ результат АТЛАС $51,9 \pm 2,0$ (стат) $\pm 3,9$ (сист) $\pm 2,0$ (светимость) пикобарна, а расчеты давали $45,3 \pm 2,0$ пикобарна. При энергии протонов 8 ТэВ предварительный результат дал сечение $71,4 \pm 1,2 \pm 4,8 \pm 2,2$ пикобарн, а теоретические предсказания дают $58,7 \pm 2,8$ пикобарн. Основная часть ошибок связана с систематической неопределенностью. В ней основными компонентами являлись точность знания фона от топ кварка и эффективность в отборе событий с ограничениями на струи для подавления фона от топ-антитопа. В статьях сейчас активно обсуждаются эти расхождения в эксперименте и теории, в частности P.Jaiswal, T.Oki [46] рассматривают сложности и неопределенности вычислений сечений образования WW бозонов при наличии двух масштабов, первого порядка $2M_W$, связанного с порогом образования пары, а второго порядка 40 ГэВ, определяемого ограничением на поперечный импульс дополнительных струй.

Интересная особенность возникает также при вычислениях сечений процесса образования WZ . В лидирующем порядке (LO) процесс идет от взаимодействия кварка и антикварка, при расчетах в следующем порядке по теории возмущений (NLO) процесс может идти от взаимодействия глюона и кварка. Поскольку в протоне присутствует большая доля глюонов, это приводит к значительному изменению в оценке сечения, к-фактор – отношение сечений в NLO к сечению в лидирующем порядке может достигать гигантских чисел (порядка 20). Эта проблема обсуждается в работе Campanario et al [47].

Измерение сечений образования пар векторных бозонов и основных характеристик этих процессов также интересно с точки зрения установления ограничений на так называемые аномальные трех-бозонные константы ($aTGC$), параметризующие взаимодействие трех векторных бозонов за рамками Стандартной модели. Сравнивая измеренные распределения по поперечному импульсу одного из образовавшихся векторных бозонов с теоретическими предсказаниями, включающими дополнительные взаимодействия калибровочных бозонов, можно получить ограничения на новые константы связи. Такие ограничения были получены, но на данных сеанса 2 можно будет существенно улучшить

их, поскольку наибольшая чувствительность достигается при больших значениях поперечных импульсов, и увеличение энергии сталкивающихся пучков позволит уточнить ограничения на аномальные константы.

- 13 Работы по модернизации специального программного обеспечения
- 13.1 Расширение информационной модели и развитие структуры данных ПО АТЛАС ГРИД Информационной Системы (АГИС) в условиях высоких загрузок

Компьютерная модель эксперимента АТЛАС базируется на использовании ГРИД инфраструктуры - технологии географически распределенных параллельных вычислений, также известной как ГРИД-вычисления или ГРИД-сети. Возросший поток данных с детектора в ближайшие годы требует совершенствования ПО систем распределенной обработки и передачи данных эксперимента АТЛАС. В свою очередь, развитие и расширение распределенной системы обработки затрагивают модернизацию информационного обеспечения ГРИД сети эксперимента – информационной системы АГИС (ATLAS Grid Information System).

Информационная система представляет собой совокупность технического и программного обеспечения, осуществляющего централизованное хранение различных конфигурационных параметров, статических и динамических данных, необходимых для настройки, управления и функционирования систем и сервисов распределенной ГРИД-сети эксперимента АТЛАС. Информационная модель системы призвана описывать топологию ГРИД-сайтов, доступные ресурсы и ГРИД-сервисы сети эксперимента для систем и служб распределенной обработки данных, включая центральную систему распределенного хранения данных (DDM, ATLAS Distributed Data Management) и систему распределенного анализа и запуска заданий (PanDA, ATLAS Production and Distributed Analysis).

Важной особенностью информационной модели системы АГИС является разделение ресурсов (как программных сервисов, так и физических компьютерных мощностей) предоставляемых ГРИД-сайтам и используемых в эксперименте АТЛАС. На рисунке 39 изображена упрощенная структура информационной модели системы, которая включает в себя базовые информационные единицы с точки зрения компьютерной модели эксперимента.

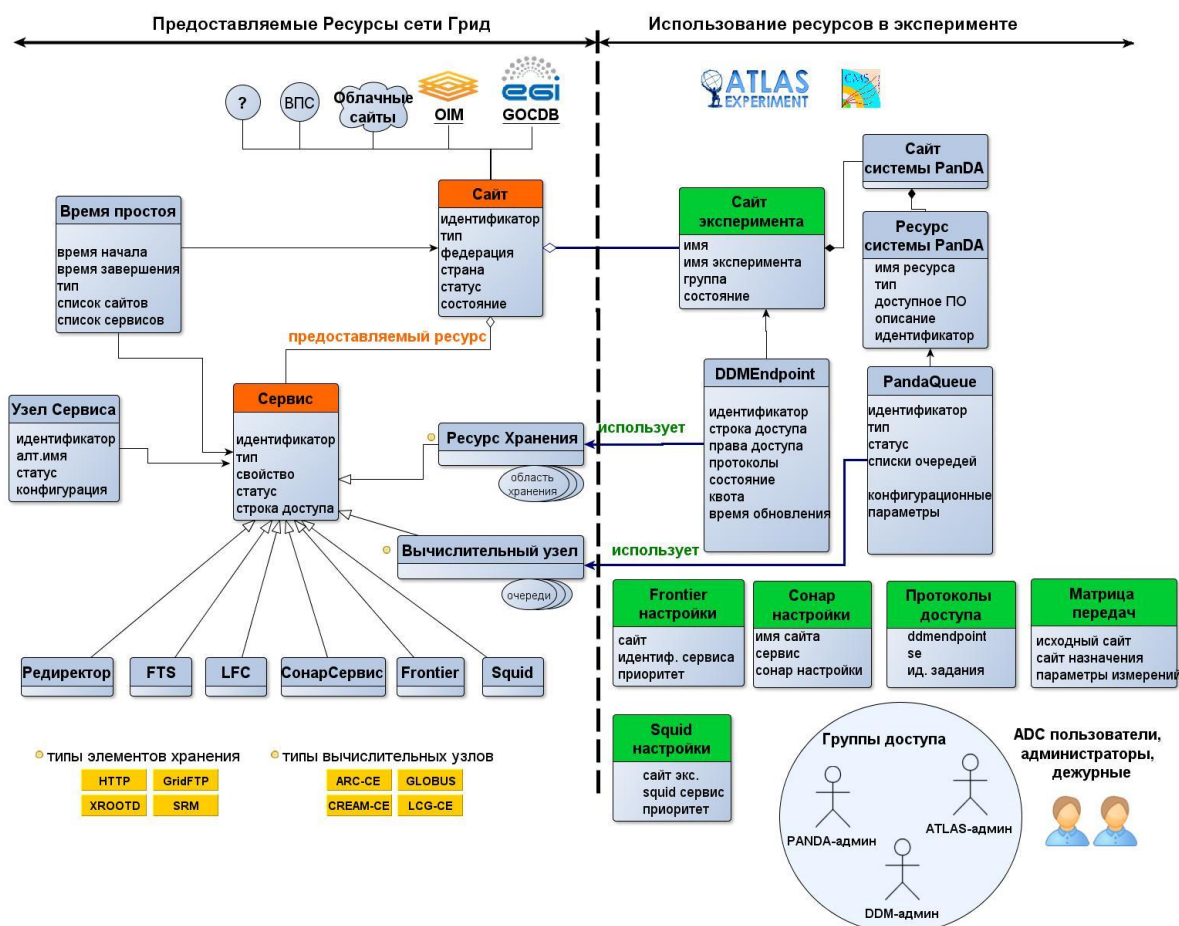


Рисунок 39 - Базовая информационная модель системы: разделение ресурсов предоставляемых грид-сайтам и их отображение на эксперименто-зависимое описание компьютерной модели АТЛАС.

К ним относятся: центральная модель физического ГРИД-сайта (Site), предоставляемые ГРИД-узлом сервисы и службы (CE, SE, FTS, LFC, Frontier, Squid, и др.), модель описания сайта, как его видит система обработки АТЛАС (ATLASSite), структуры данных определяющие ресурсы распределенного хранения (StorageElement, DDMEndpoint), структуры объектов описывающие узлы запуска заданий (ComputingElement, PandaQueue, PandaResource), различные конфигурационные структуры для описания Frontier-Squid, PerfSonar данных.

В рамках данного этапа работы было произведено обновление информационной модели системы и используемых пользовательских структур данных. Развитие структуры данных затронуло как внедрение новых информационных объектов в систему, так и расширение уже существующих.

Одним из примеров добавления новых данных, которые были реализованы в системе, является разработка и внедрение информации по учету (вкладу) предоставляемых ГРИД-центрами ресурсов хранения и вычислительных мощностей (CPU, TAPE pledges). Были реализованы инструменты (RC pledge collector) для автоматической загрузки информации в базу данных и ее обновления, используя интерфейсы API экспорта данных из системы REBUS (WLCG REsource, Balance and

USage). Было также произведено расширение пользовательского интерфейса управления AGIS WebUI - разработаны пользовательские формы для создания и редактирования значений вклада ресурсов (региональных центров) по годам, интерактивные страницы для визуализации текущих значений из базы данных AGIS, а также инструменты сравнения (RC pledge comparator) значений с данными, описанными в системе REBUS.

Любое обновление информационного ядра системы AGIS затрагивает также расширение программного API интерфейса системы в целом. Так, в рамках работы по реализации учёта предоставляемых федерациями ресурсов, были добавлены новые структуры в API интерфейс экспорта данных в формате JSON.

Другим примером развития информационной модели системы AGIS может служить выполненная работа по реструктуризации объектов моделей вычислительных ресурсов (PanDA queue objects consolidation). В рамках данного направления работы была разработана и реализована новая концепция единого описания объектов моделей вычислительных ресурсов (PandaQueue, PandaResource), основанная на общем шаблоне при декларации PandaQueue объектов. На рисунке 40 изображена обновленная структура данных PanDA объектов, в результате объединения моделей структура PandaResource была реализована как часть модели PandaQueue.

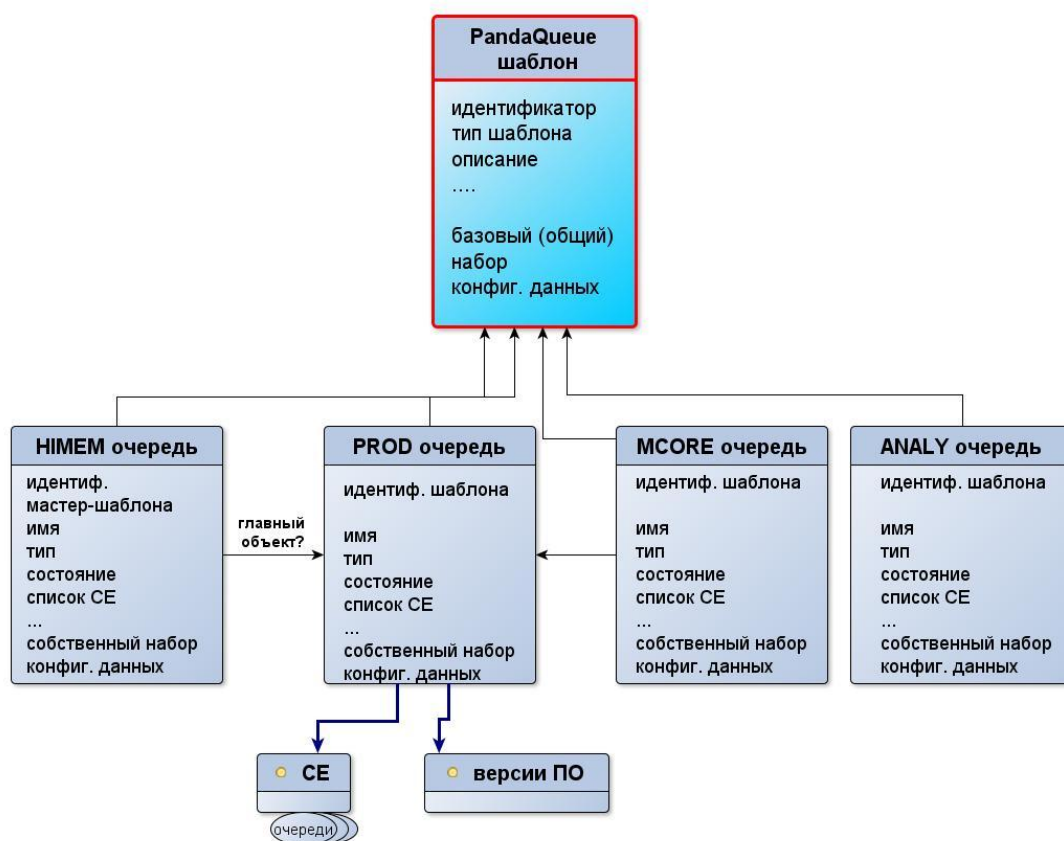


Рисунок 40 - Объединение структуры данных PanDA ресурсов.

В частности, новая реализация позволила более эффективно и удобно с точки зрения администраторов и пользователей осуществлять настройку и управление

параметрами многоядерных ресурсов (MCORE queues) и очередей с большим объемом выделенной памяти (HMEM queues) в системе AGIS.

Разработанные расширения и обновления информационной модели AGIS были успешно интегрированы в API и WebUI интерфейсы, обновленное матобеспечение установлено на сервера кластера AGIS и на сегодняшний день успешно используется в расчетах эксперимента АТЛАС.

13.2 Оптимизация СПО, описывающего геометрию трекового детектора переходного излучения (ТДПИ)

Из-за проблем с утечками в газовой системе ТРТ часть детектора в будущем будет работать на более дешевой аргоновой смеси. Режимы работы с используемой в настоящее время ксеноновой смесью и с аргоновой отличаются, что должно учитываться в программном обеспечении.

Первоначальная реализация программного обеспечения, описывающего геометрию детектора (GeoModel – Геометрическая модель), учитывала возможность использования только одной активной газовой смеси для всего детектора ТРТ - ксеноновой. В результате открывшихся в 2013 году сильных утечек активного газа и последующих восстановительных работ было принято решение об исследовании возможности использования более дешевых газовых смесей (аргоновой и криптоновой) в тех модулях, где нет возможности устранения течей. Для этого была выполнена работа по доработке ПО геометрической модели, в результате чего стало возможным использование выбранной газовой смеси отдельно для каждого модуля в центральной и торцевых частях. Также был разработан универсальный механизм для автоматической конфигурации модулей детектора с соответствующими газовыми смесями на основе чтения записей в онлайн базе данных условий эксперимента.

В результате анализа состояния детектора и расположения модулей с газовыми утечками было предложено два сценария использования дешевой газовой смеси. При этом за основную альтернативу ксеноновой смеси была выбрана газовая смесь на базе аргона.

В первом сценарии все модули в слое номер 0 барреля, колесо 5 в торцевой части А и колесо 3 в торцевой части С будут использовать аргоновую смесь.

Во втором сценарии все модули в слоях 1 и 2 барреля, в колесе 5 в торцевой части А и в колесе 3 в торцевой части С будут использовать аргоновую смесь.

Новая версия ПО геометрической модели успешно прошла тестирования, включая т.н. валидацию – исследование, подтверждающее правильное расположение «ксеноновых» и «аргоновых» модулей, согласно заданной конфигурации. На рисунке 41 приведены результаты валидации ПО геометрической модели, выполненной А.Маевским (НИЯФ МГУ).

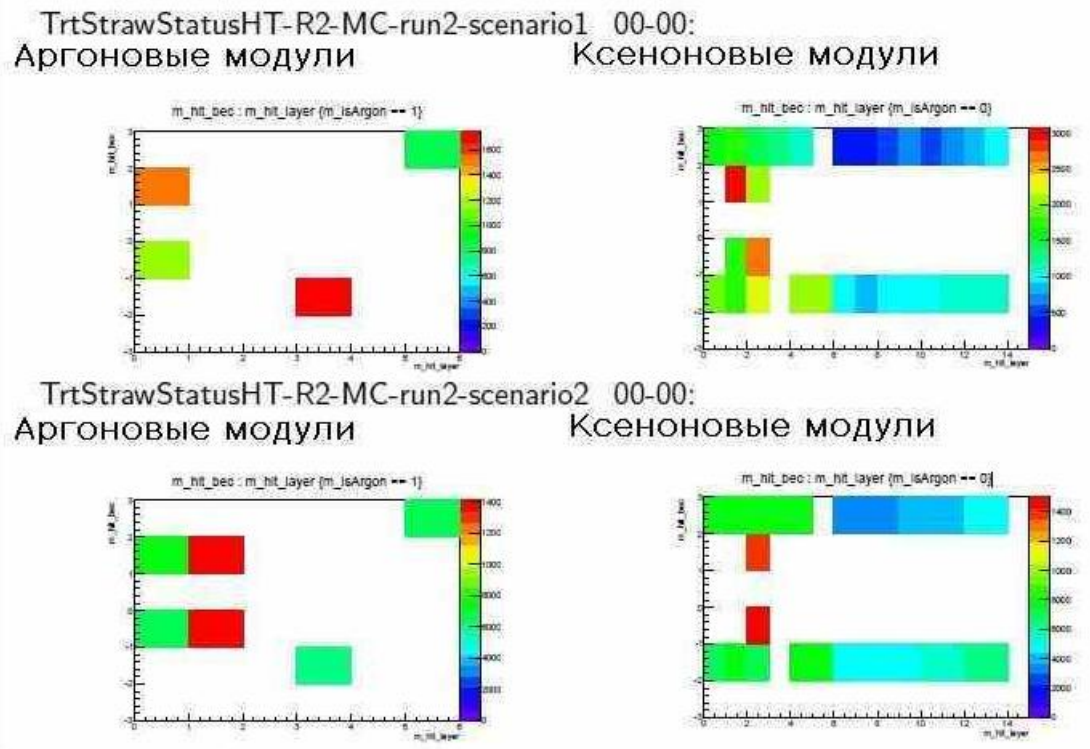


Рисунок 41 - Результаты валидации ПО геометрической модели. В верхнем ряду представлены результаты согласно первому сценарию для «аргоновых» и «ксеноновых» модулей соответственно. В нижнем ряду показаны результаты валидации согласно второму сценарию.

Совместно с другими рабочими группами были выполнены комплексная интеграция и ввод в эксплуатацию новой версии ПО геометрической модели детектора. Тестирование проводилось в условиях, так называемого моделирования полной цепочки реконструкции, включающего генерацию изначальных событий, моделирования попаданий в детектирующие элементы ТРТ, моделирование оцифровки попаданий и полной реконструкции изначальных событий. При этом были использованы общие базы данных условий, конфигураций и материалов эксперимента АТЛАС, хранящие параметры рабочих газовых смесей и параметры использования этих смесей в различных частях детектора.

13.3 Анализ текущего состояния алгоритмов для реконструкции событий во Внутреннем детекторе АТЛАС

Рост энергии и светимости БАК в будущем приведет как к увеличению времени реконструкции треков, так и объёма информации о событиях. Задачей модернизации является удержание и по возможности увеличения физического потенциала эксперимента. В связи с этим ведётся изучение возможностей использования многопроцессорных (многоядерных) систем для алгоритмов трекинга и реконструкции во Внутреннем детекторе АТЛАС. На рисунке 42 представлен кандидат распада $Z \rightarrow \mu\mu$ с 25-ю восстановленными вершинами.

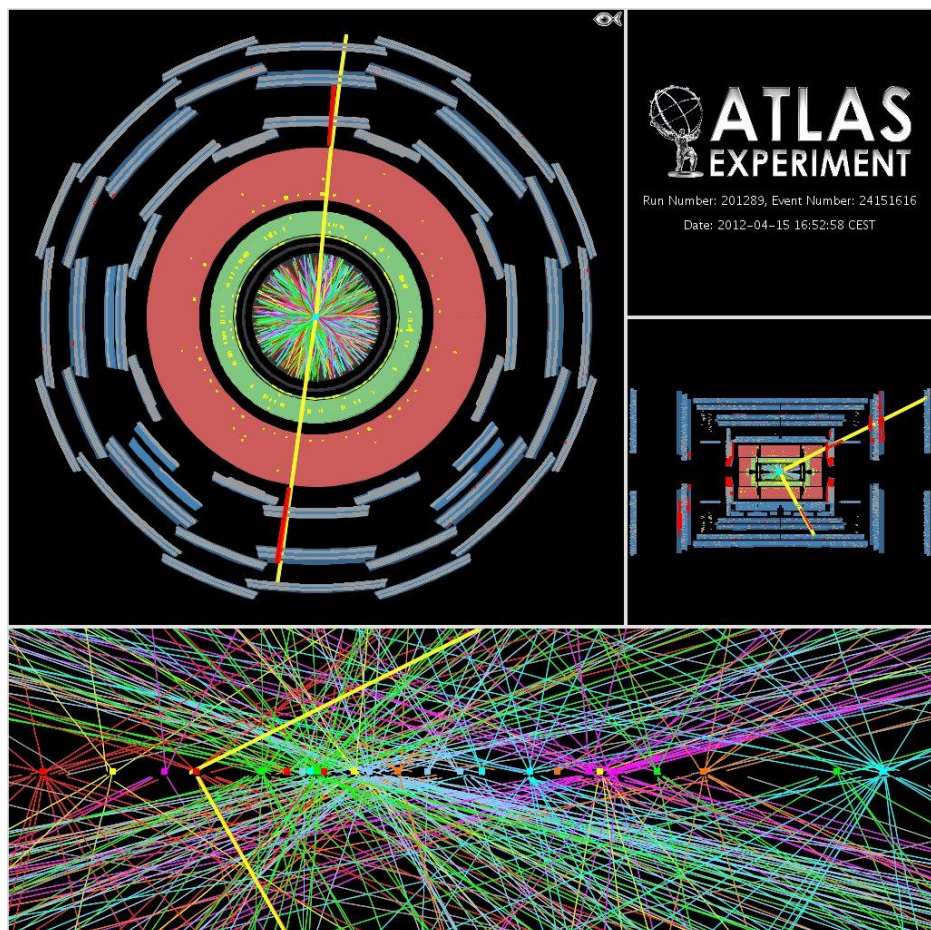


Рисунок 42 - Кандидат распада $Z \rightarrow \mu\mu$ с 25-ю восстановленными вершинами.

Рисунок демонстрирует сильное наложение событий. Алгоритм обнаружения первичных треков занимает порядка 50% от общего времени реконструкции во Внутреннем детекторе. В связи ростом светимости и энергии пучков модернизации БАК, особое внимание уделяется оптимизации реконструкции с точки зрения быстродействия и эффективности нахождения треков в событиях с большим числом дополнительных частиц, рождаемых в не триггерных столкновениях. В 2013 году все программы реконструкции были переведены на использование новой, более быстрой матричной библиотеки Eigen и новой более быстрой и надежной реализации модели данных EDM (Event Data Model – модель данных события)

Рабочей группой Трекинга в эксперименте АТЛАС была сформулирована новая тема, включающая работы по оптимизации кода во время длительной остановки ускорителя. Работа включила в себя анализ модели данных событий EDM с точки зрения ее сложности, а также таких характеристик как скорость работы и затрачиваемая память, удобство и эффективность. Модель включает описание ключевых классов для процесса Трекинга, таких как трек (и его параметры), элементарная частица, вершина распада, геометрия детектора и т.д. Определение класса трека включает как локальные, так и глобальные координаты. В расширенных версиях трек может содержать дополнительную информацию об условиях, в которых были получены параметры: информация об используемых алгоритмах, создавших трек и информацию о качестве фитирования.

Трек, проходя через детектор АТЛАС, пересекает множество поверхностей (детекторных элементов). Таким образом, параметры трека всегда выражены по отношению к измерениям на таких поверхностях. Коллекция типов поверхностей, предложенная моделью EDM, обеспечивает перекрытие всех реальных поверхностей, соответствующих считывающим элементам.

Транспортировка параметров трека (т.е. представление трека по отношению к данной поверхности) и связанных с ним ковариаций является очень частым процессом при реконструкции трека. Самые прогрессивные методы фитирования, такие как фильтр Кальмана, основаны на предсказании параметров трека на каждой пересекаемой им поверхности. Упрощенная иллюстрация экстраполяции трека на типичном шаге фильтра Кальмана представлена на рисунке 43.

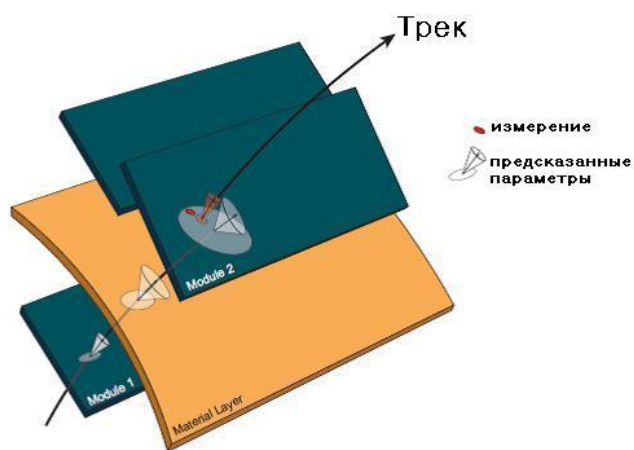


Рисунок 43 - Упрощенная иллюстрация типичного процесса экстраполяции на одном шаге фильтра Кальмана. Параметры трека на модуле 1 (module 1) могут быть экстраполированы, что делает возможным предсказание параметров трека на модуле 2 (module 2).

Прохождение слоя вещества между двумя модулями увеличивает неопределенность направления и, следовательно, вызывает корреляции в предсказаниях параметров трека.

Для алгоритмов фитирования трека необходима правильная последовательная обработка, учитывающая взаимодействие частицы с пройденным материалом детектора. Экстраполяция трека также необходима при фитировании вершин.

В процессе реконструкции в период 2010-2013 использовался формат данных AOD – объекты для анализа. Это стандартный формат, принятый в эксперименте, содержащий сжатую информацию о физических событиях. Формат реализован в виде объектно-ориентированного кода, сложным образом описывающего модель данных и являющегося частью программного обеспечения Athena (Афина). Размер события в формате AOD составляет 350-400 КБ. Недостатками этого формата является тот факт, что чтение данных занимает длительное время, в том числе потому, что необходимо осуществлять запуск Афины. Большинство пользователей отдали предпочтение в использовании промежуточного формата данных DPD – наборы физических данных. Также рабочие

группы стали производить собственные наборы данных для личного пользования. Этот формат стал доступен напрямую из среды обработки ROOT. На рисунке 44 приведена модель анализа данных в период 2010-2013.

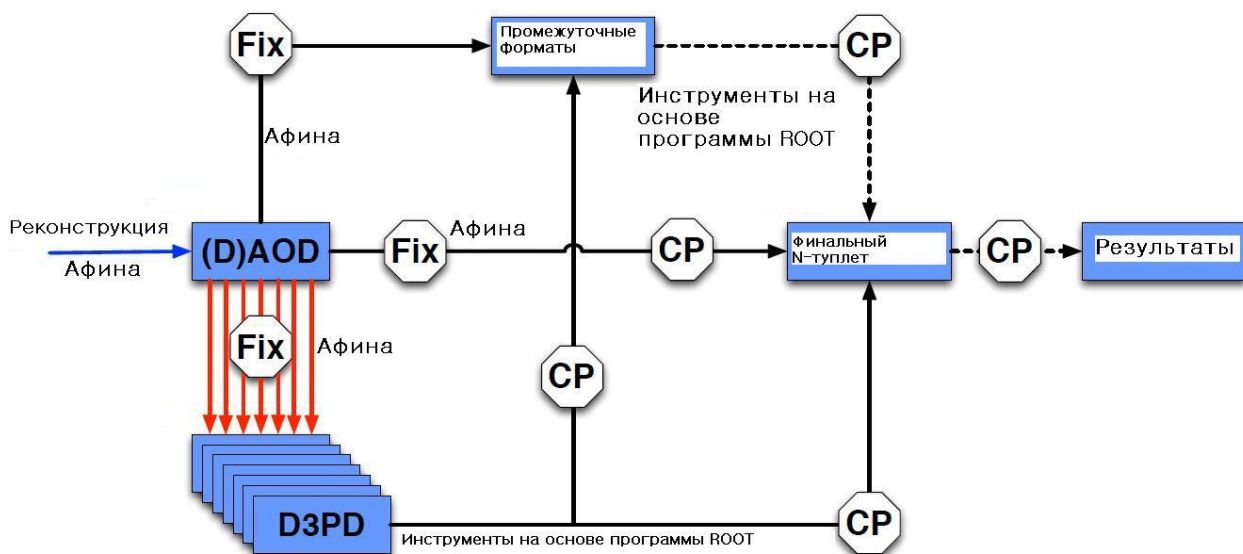


Рисунок 44 - Модель анализа в период 2010-2013, где AOD – данные объекта для анализа, D3PD – наборы физических данных, FIX – программное обеспечение реконструкции, CP – программное обеспечение для оценки производительности и анализа конечными пользователями.

Неудобства использования формата DPD связаны с тем, что эти данные производятся только по запросу, что дает задержку по времени относительно централизованного производства данных AOD. Формат данных отличен от форматов в среде Афина, что навязывает необходимость дублирования отдельных компонентов ПО. Также ПО для работы с форматом DPD различно в разных рабочих группах и размер данных DPD в три раза превышает размер соответствующих данных AOD.

Новый формат данных xAOD заменит форматы AOD и DPD во время работы ускорителя в 2015-2017 гг. Данные нового формата будут получены как результат реконструкции в среде Athena. Новый формат будет использован в качестве входных данных и как результат работы физических групп. Пользователи смогут создавать и читать эти данные в автономном режиме в системе ROOT. На рисунке 45 показана новая модель анализа данных во время работы ускорителя в 2015-2017 гг.

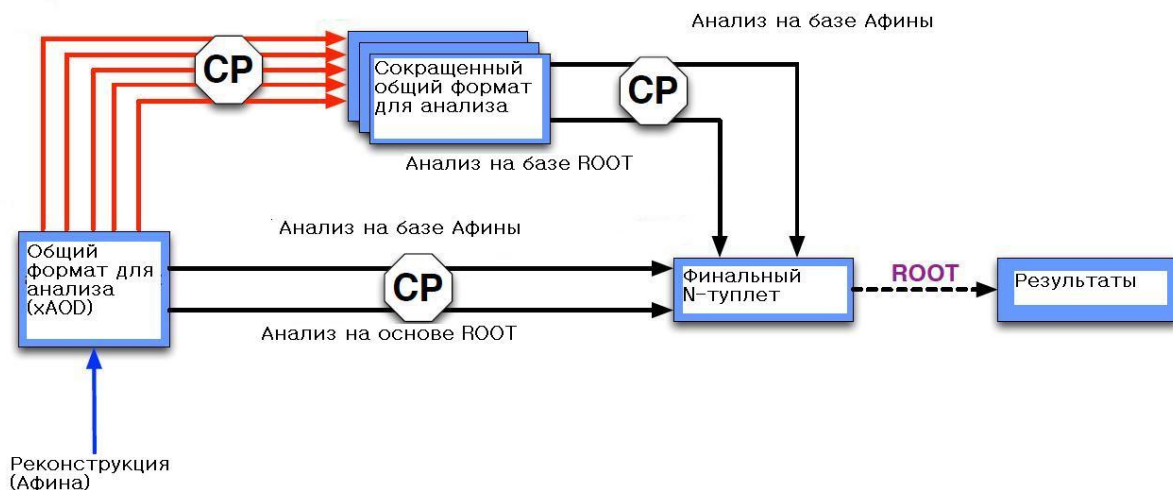


Рисунок 45 - Новая модель анализа данных во время работы ускорителя в 2015-2017 гг, где CP – программное обеспечение для оценки производительности и анализа конечными пользователями.

13.4 Модификация алгоритмов триггера для выделения редких распадов В-мезонов при повышенной светимости БАК и анализ характеристик существующих триггеров

Основным ограничивающим фактором для работы триггера В-физики во время первого сеанса являлись высокие потоки двухмюонных событий в триггере первого уровня. Они заставляли в периоды наибольшей светимости включать деление частоты (prescale) для базовых триггеров с порогом 4 ГэВ на оба мюона ($2\mu 4$) и переходить к использованию триггеров с более высокими порогами ($\mu 4\mu 6$, $2\mu 6$), а также с ограничением на область псевдобыстрот одного или обоих мюонов.

Одной из возможностей снижения этих потоков событий является использование информации о взаимной кинематике пары мюонов, доступной в триггере первого уровня. Такая возможность во втором сеансе будет предоставлена топологическим процессором триггера первого уровня (L1Тор). Он позволяет, в частности, вычислять такие параметры как разница азимутальных углов $\Delta\phi$, псевдобыстрот $\Delta\eta$, величину $\Delta R = (\Delta\phi^2 + \Delta\eta^2)^{1/2}$, инвариантную массу пары триггерных объектов (например, мюонов) с точностью, определяемой гранулярностью измерений в триггере первого уровня, и применять отбор с использованием этих результатов. Даже такая точность позволяет эффективно отсеять области с высоким уровнем фона, сохраняя те, в которых преобладают сигналы редких процессов. На рисунке 46 показаны модельные распределения величин $\Delta\phi$ и $\Delta\eta$ пары мюонов для трёх сигнальных процессов ($B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-$, $B_s \rightarrow J/\psi(\mu^+ \mu^-)\phi$, $Y \rightarrow \mu^+ \mu^-$) и фона.

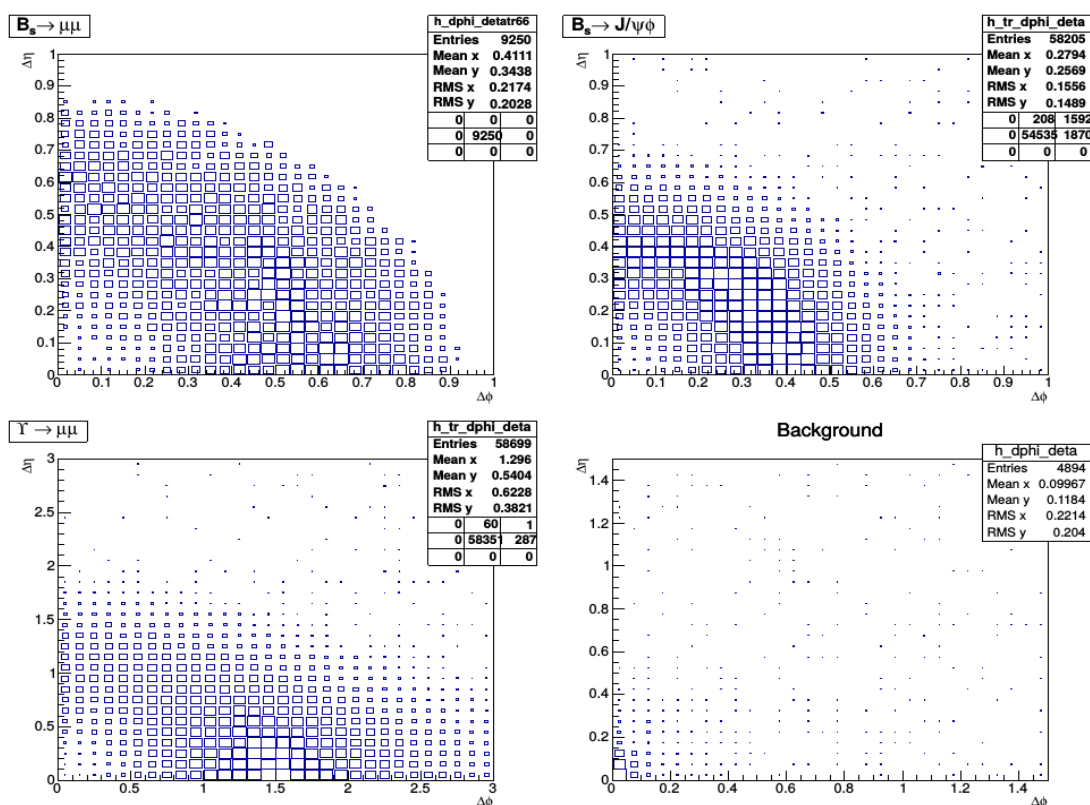


Рисунок 46 - Распределения величин $\Delta\phi$ и $\Delta\eta$ пары мюонов для трёх сигнальных процессов ($B_s \rightarrow \mu^+\mu^-$, $B_s \rightarrow J/\psi(\mu^+\mu^-)\phi$, $\Upsilon \rightarrow \mu^+\mu^-$) и фона с учётом грануляции измерений в триггере первого уровня.

При этом использовалось моделирование работы топологического процессора, учитывающее гранулярность измерений.

Видно, что выбрасывая события с $\Delta\phi < 0,2$ и $\Delta\eta < 0,2$ можно достичь значительного подавления фона, практически не воздействуя на эффективность отбора сигнальных событий в данных каналах. Впрочем, в полупетонных распадах B -мезонов $B \rightarrow \mu^+\mu^-X$ такая стратегия ухудшала бы отбор сигнала, исключая область малых масс пары мюонов.

Более детальный анализ эффективности отбора с использованием топологической информации был проведён для канала $B_s \rightarrow \mu^+\mu^-$. Исследовалась эффективность отбора сигнальных событий и подавление фона при различных критериях отбора с использованием величин $\Delta\phi$, $\Delta\eta$, ΔR , инвариантной массы пары мюонов, суммы их поперечных импульсов, вычисляемых топологическим процессором. На рисунке 47 приведены кривые эффективности отбора сигнала и подавления фона при использовании различных переменных.

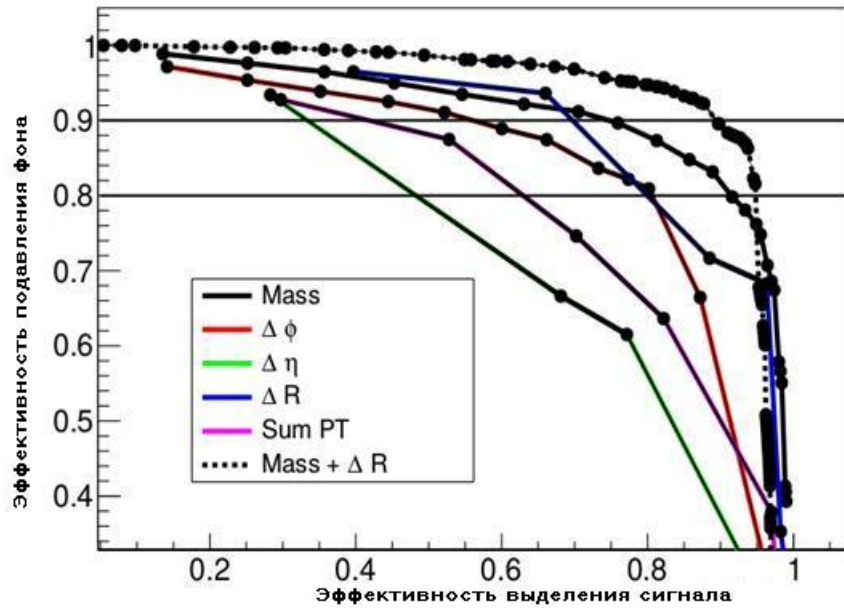


Рисунок 47 - Кривые эффективности отбора сигнала и подавления фона с использованием отбора в триггере первого уровня по различным топологическим переменным для сигнала $B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-$

Наилучшие результаты были получены при одновременном использовании отбора по ΔR и инвариантной массе: моделирование показывает, что он позволяет достичь подавления фона на уровне 90% при сохранении 90% эффективности отбора сигнала по сравнению с использованием триггера $2\mu^4$ без дополнительного отбора.

Примерные конфигурации использования топологического отбора для димюонных триггеров первого уровня, которые готовятся для второго сеанса, приведены в таблице 18.

Таблица 18. Планируемые примерные критерии топологического отбора

Критерии отбора	Отбираемые сигналы
$0.2 < \Delta R < 1.5$	$B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-$, $J/\psi \rightarrow \mu^+ \mu^-$
$m(\mu^+ \mu^-) > 2$ ГэВ	$B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-$, $J/\psi \rightarrow \mu^+ \mu^-$, $Y \rightarrow \mu^+ \mu^-$
$4 < m(\mu^+ \mu^-) < 8$ ГэВ	$B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-$
$0.2 < \Delta R < 1.5$, $m(\mu^+ \mu^-) > 2$ ГэВ	$B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-$, $J/\psi \rightarrow \mu^+ \mu^-$
$0.2 < \Delta R < 1.5$, $4 < m(\mu^+ \mu^-) < 8$ ГэВ	$B_s \rightarrow \mu^+ \mu^-$

Одновременно планируется сохранять базовые димюонные триггеры (с применением деления частоты для снижения потоков событий, либо в периоды низкой светимости), не использующие топологический отбор. Это необходимо как для контроля его работы, так и для отбора событий полулептонных распадов $B \rightarrow \mu^+ \mu^- X$, в которых применение указанных вариантов отбора существенно искажает спектр массы пары мюонов.

13.5 Изучение возможностей поиска тяжёлого бозона Хиггса (ТБХ) на основе теоретических расчётов при повышенной светимости БАК

Повышение энергии сталкивающихся протонов БАК с 8 до 13÷14 ТэВ позволит существенно расширить поиск ТБХ, поскольку сечение его рождения должно сильно возрасти, особенно при большой массе. На рисунке 48 представлены результаты расчетов в рамках СМ.

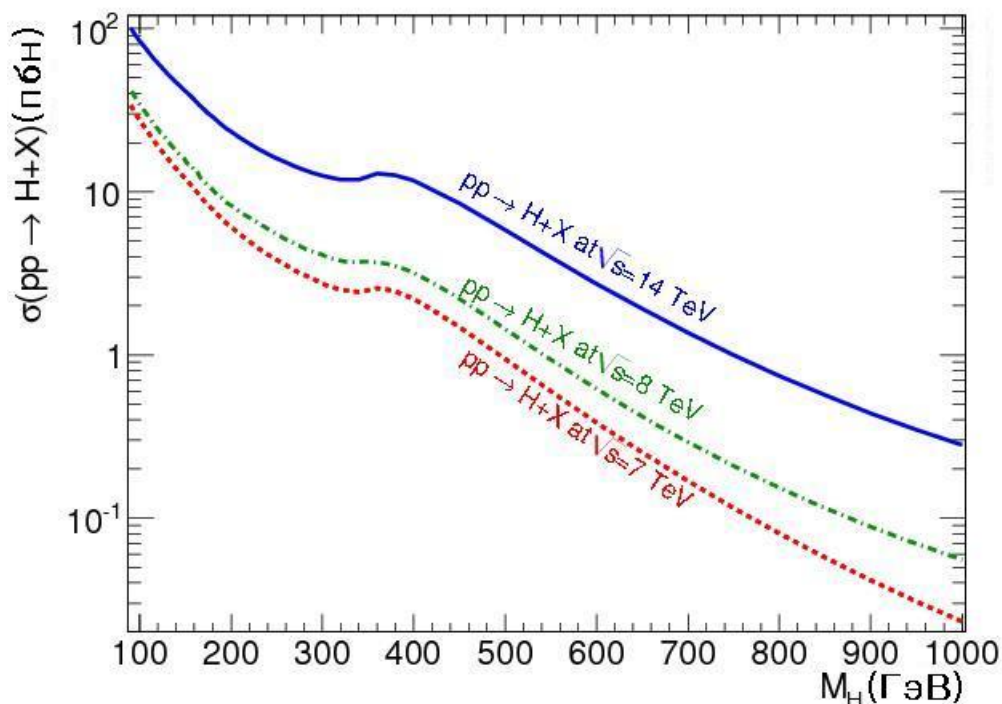


Рисунок 48 – Рассчитанное сечение рождения бозона Хиггса в зависимости его массы в предположении истинности СМ.

Видно, что при массе ТБХ 1 ТэВ, сечение его рождения увеличивается в 5 раз при подъеме энергии пучков БАК с 8 ТэВ до 14 ТэВ. Отметим, что рост сечения фоновых процессов с энергией значительно менее существенный. Что касается увеличения светимости БАК, то количество набранных событий сигнала и фона будет ей прямо пропорционально.

В качестве стартовых критериев отбора сигнала можно предложить те, которые нами использовались для поиска ТБХ в данных 2011-2012 года при энергии пучков БАК 7÷8 ТэВ. Наиболее важные из них суммированы в Таблице 19. Они относятся к диапазону поиска по массе от 200 ГэВ до 1 ТэВ.

Таблица 19 – Список наиболее важных кинематических критериев отбора, которые предлагаются для поиска ТБХ при энергии БАК 13-14 ТэВ и его повышенной светимости.

Кинематический критерий отбора	Ограничение снизу
Поперечный импульс лидирующего лептона	45 ГэВ для событий с двумя струями 55 ГэВ для событий с одной струей 60 ГэВ для событий без адронных струй
Поперечный импульс второго лептона	20 ГэВ для событий с двумя струями 35 ГэВ для событий с одной струей 30 ГэВ для событий без адронных струй
Модуль недостающего поперечного импульса MET	25 ГэВ для событий с двумя струями 35 ГэВ для событий с одной струей 45 ГэВ для событий без адронных струй
Инвариантная масса пары лептонов	60 ГэВ для событий с двумя струями 65 ГэВ для событий с одной струей 60 ГэВ для событий без адронных струй

В области масс выше 1 ТэВ имеет смысл дополнительно ввести сильное ограничение снизу на т.н. поперечную массу (см. рисунок 49), которая определяется как

$$m_T = \sqrt{(E_T^{\ell\ell} + E_T^{\text{miss}})^2 - |p_T^{\ell\ell} + E_T^{\text{miss}}|^2} \quad \text{где} \quad E_T^{\ell\ell} = \sqrt{|p_T^{\ell\ell}|^2 + m_{\ell\ell}^2}.$$

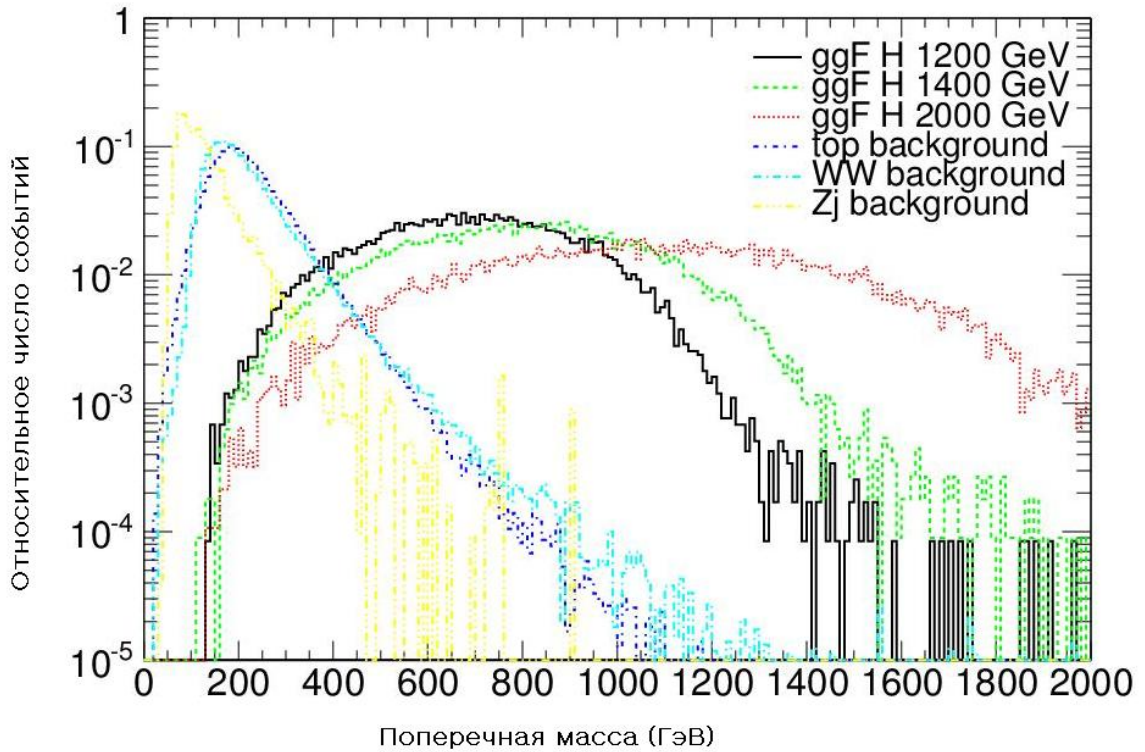


Рисунок 49 - Распределение по восстановленной поперечной массе лептонов в смоделированных событиях сигнала и фона.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В сотрудничестве с соисполнителями из Российских институтов, участвующих в эксперименте АТЛАС, на первом этапе соглашения успешно выполнены следующие работы:

- 1.1 Подготовлен аналитический обзор литературы по теме ПНИЭР.
Обоснован выбор направлений исследований.
- 1.2 Проведены патентные исследования по тематике ПНИЭР.
- 1.3 Разработана комплектность технической документации на лабораторные и экспериментальные образцы компонентов детекторных устройств, испытательные стенды и спецоборудование.
- 1.4 В рамках ПНИЭР в обеспечение создания новых малых колёс (НМК):
 - разработаны технические требования к специальному оборудованию для изготовления тонкоззорных камер (ТЗК), а именно:
 - устройства для натяжения анодных проволок;
 - устройства для напыления графитового покрытия на стеклотекстолит;
 - установки для смешивания рабочего газа;
 - разработана и изготовлена специальная оснастка и инструменты для прецизионной сборки МИК;
 - разработан и изготовлен полноразмерный рабочий «модуль 0» МИК.
- 1.5 Разработаны технические требования к характеристикам стендов:
 - проверки тонкоззорных газовых ионизационных камер – ТЗК;
 - проверки микроячейных газовых ионизационных камер – МИК;
 - контроля газовых детекторов ионизационных камер на основе рентгеновского сканера – РС;
 - испытаний сцинтилляционных счетчиков для «горячих зон» – СЦС.
- 1.6 Разработаны два варианта дрейфовых трубок малого диаметра (ДТМ) и изготовлены их лабораторные образцы.
- 1.7 Исследованы варианты и возможности использования газовых и жидкоаргоновых калориметров, изучены сцинтилляционные и черенковские счётчики, ионизационные детекторы и детекторы вторичной эмиссии с целью выбора типа детектора для переднего миникалориметра.
- 1.8 Произведён выбор материалов и компонентов для изготовления образцов сцинтилляционных счётчиков для горячих зон.
- 1.9 Разработаны, изготовлены и испытаны лабораторные образцы элементов электроники цезиевой системы калибровки сцинтилляционного калориметра (ЦСК). Разработаны лабораторные образцы 3-х типов плат для уровнемера ЦСК.
- 1.1 Обоснованы характеристики и разработаны элементы электроники жидкоаргонового калориметра (ЖАК).
- 1.11 Выполнены работы по оптическим кабелям ЖАК, а именно:
 - разработана номенклатура и спецификации кабелей;

- разработана техническая документация по сборке и тестированию оптических кабелей;
 - разработан перечень приобретаемых элементов спецоборудования для тестирования кабелей ЖАК (рефлектометр).
- 1.12 Выполнены теоретические расчёты возможностей измерений редких сигналов с помощью модернизированного супердетектора АТЛАС». Проведены исследования возможностей изучения парного образования калибровочных бозонов при взаимодействиях протонов сверхвысоких энергий с помощью модернизированного супердетектора АТЛАС».
- 1.13 Выполнены работы по модернизации специального программного обеспечения:
- расширение информационной модели и развитие структуры данных ПО АТЛАС ГРИД Информационной Системы (АГИС) в условиях высоких загрузок;
 - оптимизация СПО, описывающего геометрию трекового детектора переходного излучения (ТДПИ);
 - анализ текущего состояния алгоритмов для реконструкции событий во Внутреннем детекторе АТЛАС;
 - модификация алгоритмов триггера для выделения редких распадов В-мезонов при повышенной светимости БАК и анализ характеристик существующих триггеров;
 - изучение возможностей поиска тяжёлого бозона Хиггса (ТБХ) на основе теоретических расчётов при повышенной светимости БАК.

Работы выполнены в полном соответствии с техническим заданием и планом графиком работ по первому этапу соглашения, что позволит продолжать работы, запланированные на последующих этапах. Эффект от использования разработок в установке АТЛАС может быть надёжно оценен после первых месяцев её работы на пучках модернизированного БАК. Рекомендуется продолжить работы в избранном направлении исследований и разработок в соответствии с планом графиком второго этапа соглашения о субсидии.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 The ATLAS Collaboration Physics at a High-Luminosity LHC with ATLAS, <http://cdsweb.cern.ch/record/1470350/files/ATL-COM-PHYS-2012-1118>.
- 2 Baer et al. Discovery potential for SUSY at a high luminosity upgrade of LHC14 3 arXiv:1207.4846.
- 3 The ATLAS Collaboration, Search for squarks and gluinos with the ATLAS detector in final states with jets and missing transverse momentum using 4.7 fb^{-1} of $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ proton-proton collision data, arXiv:1208.0949 submitted to Phys. Rev. D.
- 4 The ATLAS Collaboration, Search for direct top squark pair production in final states with one isolated lepton, jets, and missing transverse momentum in $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ pp collisions using 4.7 fb^{-1} of ATLAS data, <http://cdsweb.cern.ch/record/1460270>.
- 5 The ATLAS Collaboration, Search for direct production of charginos and neutralinos in events with three leptons and missing transverse momentum in $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ pp collisions with the ATLAS detector, <http://arxiv.org/abs/1208.3144> submitted to Physics Letters B.
- 6 ATLAS Collaboration, Search for the Standard Model Higgs boson in the $H \rightarrow WW \rightarrow l\nu l\nu$ decay mode with 4.7 fb^{-1} of ATLAS data at $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$, Phys. Lett. B716 (2012) 62.
- 7 ATLAS Collaboration, Observation and measurement of Higgs boson decays to WW with ATLAS at the LHC, ATLAS-CONF-2014-060 (2014).
- 8 ATLAS Collaboration, Search for a high-mass Higgs boson in the $H \rightarrow WW \rightarrow l\nu l\nu$ decay channel with the ATLAS detector using 21 fb^{-1} of proton-proton collision data, ATLAS-CONF-2013-067 (2013).
- 9 ATLAS New Small Wheel Technical Design Report. CERN-LHCC-2013-006, ATLAS-TDR-20-2013, June, 2013.
- 10 D. Lazic, N. Lupu, A. Mincer, Y. Rozen, S. Tarem, A. Breskin, R. Chechik, D. Lellouch, G. Malamud, G. Mikenberg, K. Nagai, A. Pansky, and M. Shoa, Drift velocity in n-pentane mixtures and its influence on timing properties of thin gap chambers, Nucl.Instrum.Meth. A410 (1998) 159–165.
- 11 N. Amram, G. Bella, Y. Benhammou, a. Diaz, E. Duchovni, E. Etzion, A. Hershenhorn, A.Klier, N.Lupu, G.Mikenberg, D.Milstein, Y.Munwes, O.Sasaki, M. Shoa, V.Smakhtin, and U.Volkman, Position resolution and efficiency measurements with large scale Thin Gap Chambers for the super LHC, Nucl.Instrum.Meth. A628 (2011) 177–181, arXiv:1006.0135 [physics.ins-det].
- 12 Y. Benhammou, B. Bittner, J. Dubbert, E. Duchovni, E. Etzion, A. Klier, H. Kroha, N. Lupu, G. Mikenberg, D. Milstein, Y. Munwes, O. Sasaki, P. Schwegler, M. Shoa, and V. Smakhtin, Test of spatial resolution and trigger efficiency of a combined Thin Gap and Fast Drift Tube Chambers for high-luminosity LHC upgrades, IEEE Nucl.Sci.Symp.Conf.Rec. 2011 (2011) 1761–1766.
- 13 Y. Giomataris et al., MICROMEGAS: a high-granularity position-sensitive gaseous detector for high particle-flux environments, Nucl. Instrum. Meth. A 376 (1996) 29.

- 14 G. Barouch et al., Development of a fast gaseous detector “Micromegas”, Nucl. Instrum. Meth. A 423 (1999) 32.
- 15 I. Giomataris et al., Micromegas in a bulk, Nucl. Instrum. Meth. A 560 (2006) 405
- 16 ATLAS Collaboration, Charged-particle multiplicities in pp interactions at $\sqrt{s} = 900$ GeV measured with the ATLAS detector at the LHC, Phys. Lett. B 688, 21-42 (2010).
- 17 ATLAS Collaboration, Charged particle multiplicities in pp interactions at $\sqrt{s} = 7$ TeV measured with the ATLAS detector at the LHC, ATL-CONF-2010-024.
- 18 ATLAS Collaboration, Performance of the Minimum Bias Trigger in p-p Collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV, ATL-CONF-2010-068.
- 19 M. J. Weber. Scintillator Materials for Calorimetry. Proceed. of the Fifth International Conference on Calorimetry. BNL, 1994, p.17.
- 20 N. Canci et al. Liquid argon scintillation read-out with silicon devices. JINST 8(2013)C10007.
- 21 C Adloff et al. Track segments in hadronic showers in a highly granular scintillator-steel hadron calorimeter. JINST 8(2013)P09001.
- 22 D Allan et al. The electromagnetic calorimeter for the T2K near detector ND280. JINST 8(2013) P10019.
- 23 E Garutti et al. Silicon Photomultiplier characterization and radiation damage investigation for high energy particle physics applications. JINST 9(2014)C03021.
- 24 G. A. Alexeev et al. Beam Test Results of PbWO₄ Crystal Calorimeter Prototype. Proceed. of the Fifth International Conference on Calorimetry. BNL, 1994, p.97.
- 25 T. Adams et al. Design and performance of a cesium iodide detector. NIM A368(1996)617.
- 26 D. Menasce et al. Tracking performance of a single-crystal and a polycrystalline diamond pixel-detector. JINST 8(2013)P06006.
- 27 The CMS collaboration. Energy calibration and resolution of the CMS electromagnetic calorimeter in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV. JINST 8(2013)P09009.
- 28 M Gascón et al. Characterization of a CsI(Tl) array coupled to avalanche photodiodes for the Barrel of the CALIFA calorimeter at the NEPTUN tagged gamma beam facility. JINST 8(2013)P10004.
- 29 S.P. Denisov et al. Hodoscope Liquid Argon Spectrometer with Thin Aluminum Electrods. NIM 214 (1983) 217.
- 30 S.P. Denisov et al. MARS-2: Liquid Argon Spectrometer with Wide Gap Electrods System. NIM 227 (1984) 227.
- 31 A.Glatte et al. Liquid argon calorimeter performance at high rates. NIM A 669(2012)47.
- 32 A. Artamonov et al. The ATLAS Forward Calorimeter. JINST 3 (2008) P02010.
- 33 J.P. Archambault et al. Performance of the ATLAS Liquid Argon Forward Calorimeter in Beam Tests. JINST 8 (2013) P05006.
- 34 B.Dowler et al. Performance of the ATLAS hadronic end-cap calorimeter in beam tests. NIM A 482 (2002) 94-124.
- 35 S.P. Denisov et al. Use of heavy freons in gas ionization calorimetry. Preprint IHEP 96-74, Protvino 1996; ПТЭ 5(1997)12.

- 36 S.P. Denisov et al. A fast gas ionization calorimeter filled with C F for operation at high counting rates and hard radiation environment. NIM A419(1998)590.
- 37 V.A.Bezzubov et.al. A gas ionization electromagnetic calorimeter filled with C3F8. NIM A494(2002)369.
- 38 V.A.Bezzubov et.al. The performance of a gas electromagnetic calorimeter. NIM A525(2004)38.
- 39 Letter of Intent for the Upgrade of the ATLAS Experiment – Muons System. ATLAS collaboration, October 21, 2011.
- 40 A. Borisov et al, ATLAS monitored drift tube assembly and test at IHEP. Nucl. Inst. Meth. A, 494 (2002), 214-217.
- 41 ATLAS Liquid Argon Calorimeter Phase-I Upgrade. Technical Design Report. ATLAS-TDR-022-2013
- 42 ATLAS collaboration. ATLAS inner tracking detectors: Run 1 performance and developments for Run 2, Nuclear Physics B Proceedings Supplement 00, 2014 , pp. 1–7.
- 43 P. Reznicek, private communications (slides from B-physics sub-conveners meeting 27 Oct 2014) <https://indico.cern.ch/event/349261/material/0/0.pdf>
- 44 ATL-COM-DAQ-2014-005. Physics Uses and Hardware Constraints of the L1 Topological Trigger.
- 45 J. Kirk. ATL-DAQ-INT-2014-003. Study of L1 topological trigger for B-physics.
- 46 P.Jaiswal, T.Okui, An Explanation of the WW Excess at the LHC by Jet-Veto Resummationar, Xiv 1407.4537.
- 47 Campanario et al, Di-boson and Tri-boson production at the LHC, arXiv:1307.2261.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ
на подготовительные работы
для сборки тонкоззорных мюонных камер

1 Основание для проведения

Работа выполняется в рамках соглашения о предоставлении Минобрнауки субсидии № 14.610.21.0005 от 20 октября 2014 г. по теме: «Создание сверхбыстродействующих радиационно-стойких компонентов супердетектора новых тяжелых частиц АТЛАС Большого адронного коллайдера ЦЕРН для экспериментальных исследований рождения и распада частиц».

2 Исполнитель

Лаборатория адронной физики Отделения физики высоких энергий ФГБУ «ПИЯФ»

3 Цель выполнения

Создание участка для сборки тонкоззорных камер (ТЗК) для модернизированного мюонного спектрометра установки АТЛАС.

4 Назначение продукции

Создаваемый участок необходим для организации сборки ТЗК в ПИЯФ. ТЗК предназначена как для выработки быстрого триггерного сигнала при прохождении через нее заряженных частиц, так и для точного определения координат их треков.

5 Технические требования**5.1 Помещения и размещение оборудования них**

Помещения, предназначенные для производства ТЗК, будут расположены в макетном зале корпуса 2А и двух комнатах примыкающих к нему.

5.1.1 Макетный зал

Площадь макетного зала составляет 284 кв.м. Для организации сборки камер внутри зала создаются закрытые помещения (см. рисунок 1 зоны 3 и 4) в которых поддерживается постоянная влажность $40\pm 2\%$ и температура $22\pm 1^{\circ}\text{C}$

5.1.1.1 Зона 1

В зоне 1 устанавливается осушитель воздуха для создания в рабочих помещениях необходимых климатических условий, а также стойка для баллонов с углекислым газом, необходимым для промежуточных высоковольтных тестов во время сборки детекторов.

5.1.1.2 Зона 2 (тамбур)

Зона 2 –тамбур перед входом на сборочный участок, в котором расположены шкафчики для переодевания обслуживающего персонала.

5.1.1.3 Зона 3 (чистая комната)

Зона 3 – это чистая комната класса ИСО 4 ГОСТ Р ИСО 14644 ч.1..

Чистая комната предназначена для сборки плоскостей детектора, их герметизации и предварительных высоковольтных испытаний.

В чистой комнате устанавливаются два прецизионных гранитных стола размером 2500 x 1700 мм. Под каждым столом устанавливается вакуумный насос, предназначенный

для присасывания катодных плоскостей к столу при их сборке. На На подставках для гранитных столов размещается газовая панель с вентилями, к которой должен быть осуществлен подвод углекислого газа от стойки находящейся в зоне 1. Также к столам подводится магистраль со сжатым воздухом от компрессора расположенного в зоне 5. В чистой комнате размещается легкий и передвижной стол для нанесения клея на катодные плоскости.

В чистой зоне располагается стеллаж для хранения намотанных анодных панелей, шкаф для хранения комплектующих и расходных материалов, и инструментальная тумба.

5.1.1.4 Зона 4 (сборочный участок)

Сборочный участок - это комната класса ИСО 5 ГОСТ Р ИСО 14644 ч.1.

На сборочном участке выполняется подготовка катодных плоскостей к напылению графита, контроль этих плат после напыления, склейка анодных и катодных панелей, намотка анодных плоскостей, окончательная склейка камер, герметизация камер, промежуточные высоковольтные тесты плоскостей и камер после склейки, промежуточные тесты плоскостей и камер на герметичность.

Для этих целей участок будет оснащен тремя прецизионными гранитными столами размером 2500 x 1700 мм. Под каждым столом устанавливается вакуумный насос, предназначенный для присасывания катодных плоскостей или собранных камер к столу при их сборке.

Два стола используются для склейки анодных и катодных панелей, а третий для склейки камер. К столам должен быть осуществлен подвод сжатого воздуха от компрессора расположенного в зоне 5.

В зоне монтажно-сборочного стола предназначенного для склейки камер должны быть расположены высоковольтный источник и стенд для проверки камер на герметичность. К высоковольтному стенду осуществляется подвод углекислого газа от стойки находящейся в зоне 1.

На сборочном участке находится машина для намотки и натяжения анодных проволок и вращающийся стол, на котором фиксируются с помощью вакуумного присоса катодные плоскости. Для промывки анодных проволок после их распайки к ней выполнена подводка дистиллированной воды и сжатого воздуха от дистиллятора и компрессора.

Рядом с намоточной машиной устанавливается ванна для промывки катодных панелей перед склейкой. К ней тоже осуществляется подводка дистиллированной воды и сжатого воздуха от дистиллятора и компрессора.

Стол-верстак, находящийся в зале, предназначен для выполнения вспомогательных работ: зашкурирования стеклотекстолитовых полос, покрытия их граней лаком, и т. д.

5.1.1.5 Зона 5

Зона 5 – погрузочно-разгрузочная зона. В этой зоне осуществляется прием комплектующих и отправка готовой продукции. Кроме этого в ней устанавливается дистиллятор, компрессор и вентиляционное оборудование.

5.1.2 Комнаты 1 и 2

5.1.2.1 Комната 1 (монтажный участок)

В комнате 1 расположен монтажный участок. Здесь производятся работы по окончательному монтажу камер: организация охранного объема вокруг камеры, установка разъемов и сигнальных плат, организация земель и другие монтажные работы. В этой же комнате выполняются предварительные высоковольтные тесты и тесты на герметичность. Для выполнения монтажных работ в помещении монтажного участка располагаются два стапеля для установки камер. Рядом с ними находятся помосты для монтажников. Между стапелями должны находиться столик с высоковольтным источником и стенд для проверки камер на герметичность. К стенду должен быть осуществлен подвод углекислого газа из баллона находящегося в газовом домике.

Также на монтажном участке будет стоять монтажный стол, на котором производится распайка сигнальных и высоковольтных плат и панелей, сборка земельных короб и т. д. Кроме того, в помещении будет находиться вытяжной шкаф, в котором будут разводить клей и наносить его на мелкие детали камер. Для этих целей шкаф должен быть оснащен весами, дозатором клея и маленьким вакуумным насосом для откачки клея.

5.1.2.2 Комната 2.

В этом помещении выполняются окончательные высоковольтные испытания готовых камер.

В комнате 2 расположены высоковольтный стенд, стойка с высоковольтными источниками, газосмесительная установка и два рабочих стола для операторов. К газосмесительной установке подводится рабочая газовая смесь и углекислый газ

5.2 Требования к помещениям.

Полы во всех помещениях макетного зала и прилегающих к нему комнат должны быть ровными и покрыты не пылящим покрытием (наливные полы). Все кабель каналы, имеющиеся в зале, должны быть заужены (ширина не более 30 см) и закрыты плотными крышками.

Стены в помещениях и макетном зале должны быть покрашены не пылящей краской.

Перегородки в зале выполняются из полиуретановых сэндвич панелей высотой 3,5 метра, а потолки над ними – из поликарбанатных листов. Потолки над чистой комнатой и сборочным участком изготавливаются из листов поликарбаната арочной формы.

Дверные проемы в помещениях должны быть выполнены без порожков. Все одинарные распашные двери и правые створки двойных дверей должны быть оборудованы доводчиками дверей.

Въездные ворота в зал должны быть утепленными и оборудованы замком, а на въездной тамбур должны быть установлены стандартные вертикально открывающиеся гаражные ворота.

Все окна в помещениях и макетном зале должны быть металлопластиковыми двухкамерными стеклопакетами.

Применяемое в проекте оборудование, комплектующие и материалы должны иметь все необходимые сертификаты и соответствовать группе Г1 по ГОСТ 30244-94.

Общая освещенность чистой комнаты, сборочного и монтажного участков должны соответствовать уровню освещенности цехов по сборке точных приборов, а в помещении высоковольтного стенда – нормам помещений с долговременным пребыванием людей.

Светильники общего освещения монтируются на металлических балках предназначенных для монтажа листов поликарбоната. Все отверстия в потолке герметизируются. Приборы общего освещения участка должны иметь пылезащищенную конструкцию и обеспечивать возможность быстрой замены.

Освещенность тамбуров, зоны 1 и погрузочно-разгрузочной зоны должна соответствовать нормам освещенности помещений с краткосрочным пребыванием людей.

Отопительные батареи устанавливаются вдоль наружных стен участков на расстоянии 0,25 м от стены и 0,2 м от пола. Батареи плоские, одинарные, без декоративных экранов. На всех батареях необходимо предусмотреть возможность их шунтирования короткозамкнутым участком, что при необходимости позволит отключать отопление без перекрытия основных стояков. Теплоноситель - горячая вода от системы теплоснабжения корпуса. Температура теплоносителя 100° - 70°С.

Температурный режим во всех помещениях макетного зала и прилегающих к нему комнатах, кроме зон 1 и 5, должен поддерживаться на уровне 22°±2°С. Влажность в этих помещениях должна быть 40±2%. Скорость движения воздуха в рабочей зоне 0,3 м/с. В рабочих помещениях должны быть созданы климатические условия, необходимые для производства и соответствующие гигиеническим требованиям к микроклимату производственных помещений, устанавливаемых СанПиН 2.2.4.548-96 и СНиП 41-01-2003.

5.3 Электроснабжение.

В помещении макетного зала необходимо иметь общий раздаточный электрощит, от которого будет осуществляться подвод питания ко всем объектам зала и соседних с ним помещений.

Электропроводка помещений должна быть выполнена с учетом Правил устройства электроустановок (ПУЭ) и ГОСТ Р 50571.15-97 (МЭК364-5-52-93) «Электроустановки зданий. Часть 5. Выбор и монтаж электрооборудования. Глава 52. Электропроводки». Вся электропроводка должна размещаться скрыто в полу и стенах и/или в кабель-каналах. Электроподводы к рабочим местам должны быть выполнены с учётом ежедневной влажной уборки помещения.

К гранитным столам должно быть подано питание 220В. Каждый стол должен быть оборудован двумя колодками с одной обычной розеткой и двумя розетками с заземлением. Они располагаются на длинных сторонах стола. Максимальная потребляемая мощность на каждом столе 2 кВт. Подвод питания к гранитным столам должен быть выполнен под полом.

К намоточной машине должно быть подано питание 220В. Она должна быть оборудована тремя колодками с розетками. Две колодки с одной обычной и одной розеткой с заземлением располагаются на стойках намоточного стола, а одна колодка с тремя розетками с заземлением – на столе с управляющей системой. Максимальная потребляемая мощность 2кВт.

К столу-верстаку должно быть подано питание 220В. Он должен быть оборудован колодкой с одной обычной розеткой и двумя розетками с заземлением. Максимальная потребляемая мощность 1.5 кВт.

К стапелям должно быть подано питание 220В. На стене у каждого стапеля должны быть закреплены по одной колодке с одной обычной розеткой и двумя розетками с заземлением. Максимальная потребляемая мощность 1.5кВт.

К монтажному столу должно быть подано питание 220В. Он должен быть оборудован колодкой с одной обычной розеткой и двумя розетками с заземлением. Максимальная потребляемая мощность 500 Вт. Стол должен быть оборудован светильником для местного освещения.

К вытяжному шкафу должно быть подано питание 220В и 380В к вакуумному насосу. Шкаф должен быть оборудован колодкой с одной обычной розеткой и двумя розетками с заземлением. Максимальная потребляемая мощность 500 Вт. Мощность насоса – 1.3кВт.

К стойке с высоковольтными источниками должно быть подано питание 220В. Рядом с ней на стене должна быть закреплена колодка с одной обычной розеткой и тремя розетками с заземлением. Максимальная потребляемая мощность 2кВт.

К столам в комнате 2 должно быть подано питание 220В. Рядом с ними на стене должны быть закреплены по колодке с одной обычной розеткой и двумя розетками с заземлением. Максимальная потребляемая мощность 500 Вт.

К осушителю воздуха в зону 1 должно быть подано питание 380В. Максимальная потребляемая мощность 2.9кВт.

К кондиционеру в зону 5 должно быть подано питание 380В. Максимальная потребляемая мощность 7.5кВт.

К компрессору в зону 5 должно быть подано питание 220В. Максимальная потребляемая мощность 1.5кВт.

5.4 Вентиляция.

Во всех помещениях участка по сборке детекторов должны быть обеспечены соответствующие климатические условия. Для этой цели в зоне 5 установлен кондиционер, от которого по длинным сторонам помещений чистой комнаты и сборочного участка должны быть проложены приточный и вытяжной воздуховоды. Подачу приточного воздуха необходимо осуществлять в верхнюю зону помещений через перфорированные воздухораспределители с фильтрами НЕРА для создания ламинарных потоков, а удаление воздуха - из нижней зоны. Короба воздуховодов должны быть круглого сечения.

К чистой комнате дополнительно должен быть подключен осушитель воздуха, находящийся в зоне 1. Он также должен иметь приточное и вытяжное отверстие.

На монтажном участке и в комнате с высоковольтным стендом должны быть установлены соответствующие Сплит системы.

Кроме того, сборочное оборудование должно быть оснащено вытяжной вентиляцией.

Над каждым гранитным столом на высоте полутора двух метров должен быть расположен короб вытяжной вентиляции. Подвод короба к столу должен быть выполнен под арочным потолком помещений. Воздуховоды должны иметь круглое сечение.

Локальная вентиляция должна обеспечивать безопасность работ на каждом столе со следующими веществами:

- эпоксидная смола 600г/смена
- спирт 200г/смена
- ацетон 100г/смена.

Вытяжной шкаф также должен быть подключен к вытяжной вентиляции. Подвод к шкафу должен быть выполнен под потолком помещений. Воздуховоды должны иметь круглое сечение.

Локальная вентиляция должна обеспечивать безопасность работ в вытяжном шкафу со следующими веществами:

- эпоксидная смола 1500г/смена
- спирт 500г/смена.

Вытяжная вентиляция должна быть подключена к намоточной машине, стапелям и монтажному столу. Вытяжные воздуховоды у этих рабочих мест должны заканчиваться гибкими гофрированными шлангами с раструбами.

Локальная вентиляция должна обеспечивать безопасность работ на этих рабочих местах со следующими веществами:

- оловянно-свинцовый припой 100г/смена
- флюс 50г/смена
- спирт 100г/смена.

Рекомендуемый материал для воздуховодов приточных и вытяжных систем – оцинкованная сталь.

Все вытяжные вентиляторы должны находиться вне помещения сборочного участка.

Уровень шума в рабочем помещении при одновременной работе всех вентиляторов должен удовлетворять санитарным нормам для помещений точной сборки с постоянным пребыванием работающего персонала.

5.5 Газоснабжение.

Все газовые баллоны должны находиться в газовом домике или в стойке для баллонов, находящейся в зоне 1. От них газ должен подаваться по трубкам из нержавеющей стали диаметром 6х1мм или медицинским трубкам.

Углекислый газ из баллонов, находящихся в зоне 1, подается на газовую панель в чистую комнату и на стенд для проверки на герметичность на сборочном участке.

Углекислый газ из баллонов, находящихся в газовом домике, подается на стенд для проверки на герметичность на монтажном участке.

Также все газы, находящиеся в газовом домике, подается на газосмесительную установку в комнату с высоковольтным стендом.

Подачу сжатого воздуха на участки должна осуществляться от компрессора с системой очистки и осушки. Для разводки сжатого воздуха использовать полимерные трубы, выдерживающие давление не менее 10 атм. Трубы подводки сжатого воздуха к рабочим местам должны прокладываться на стенах помещений. В каждой точке подачи сжатого воздуха к рабочему месту необходимо предусмотреть перекрывающий шаровой вентиль.

5.6 Водоснабжение.

От ванн, находящихся на сборочном участке под намоточной машиной и рядом с ней, необходимо организовать слив воды в канализацию.

Также на участке будут расположены две раковины. Одна на сборочном участке рядом с ванной для промывки панелей и одна на монтажном участке. К ним необходимо осуществить подвод горячей и холодной воды, а также слив воды в канализацию.

5.7 Пожарно-охранная сигнализация

Все помещения должны быть оборудованы системами пожарной и охранной сигнализаций. Все помещения относятся к категории «ВЗ».

Работа системы пожарной сигнализации должна быть увязана с системами кондиционирования (отключение данных систем при срабатывании пожарной сигнализации).

5.8 Телефонная связь

Все помещения должны быть оборудованы местной телефонной связью с возможностью выхода в городскую телефонную сеть.

Разработал ведущий инженер



С.К.Патричев

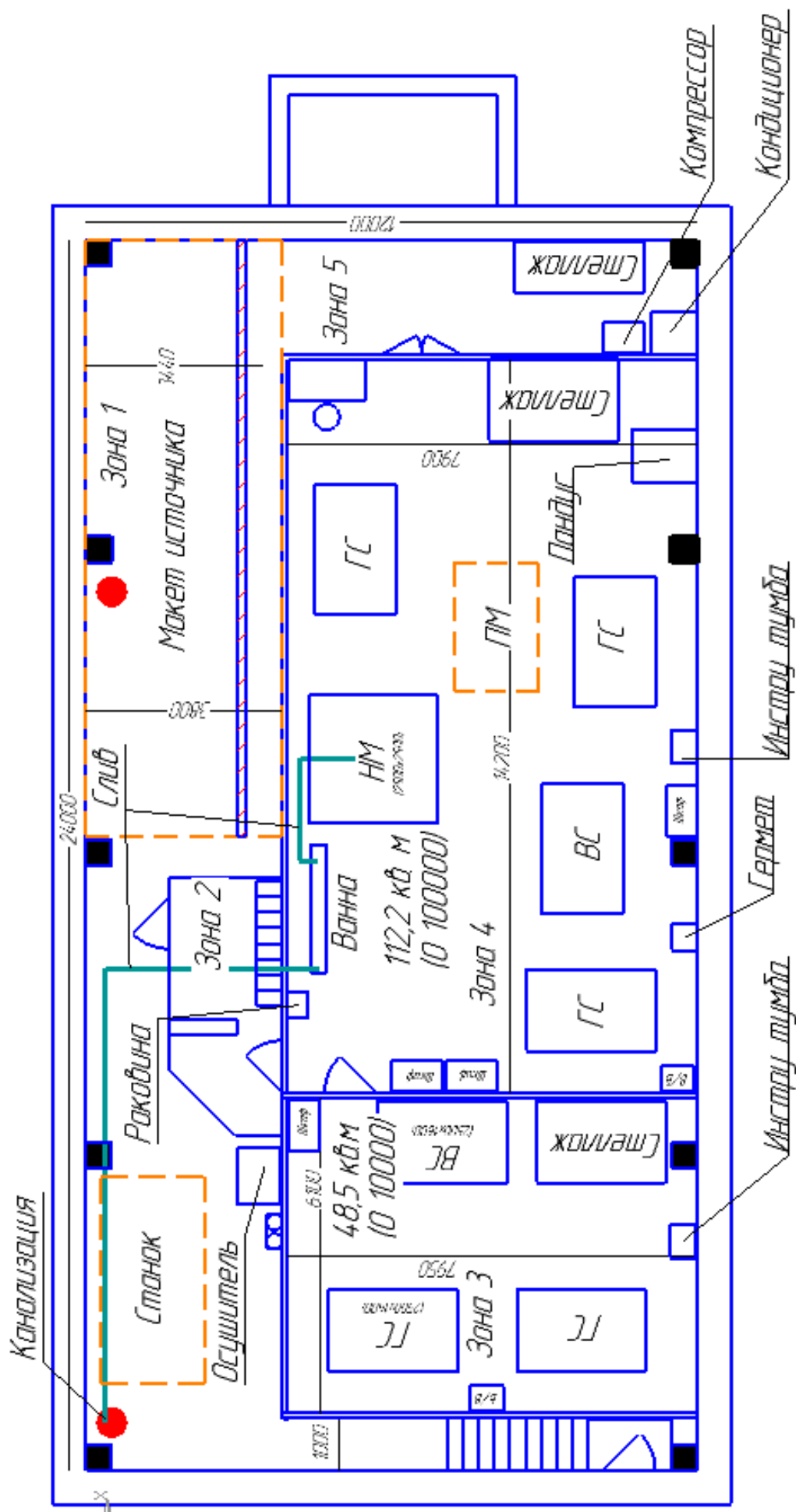


Рис 1 Зол

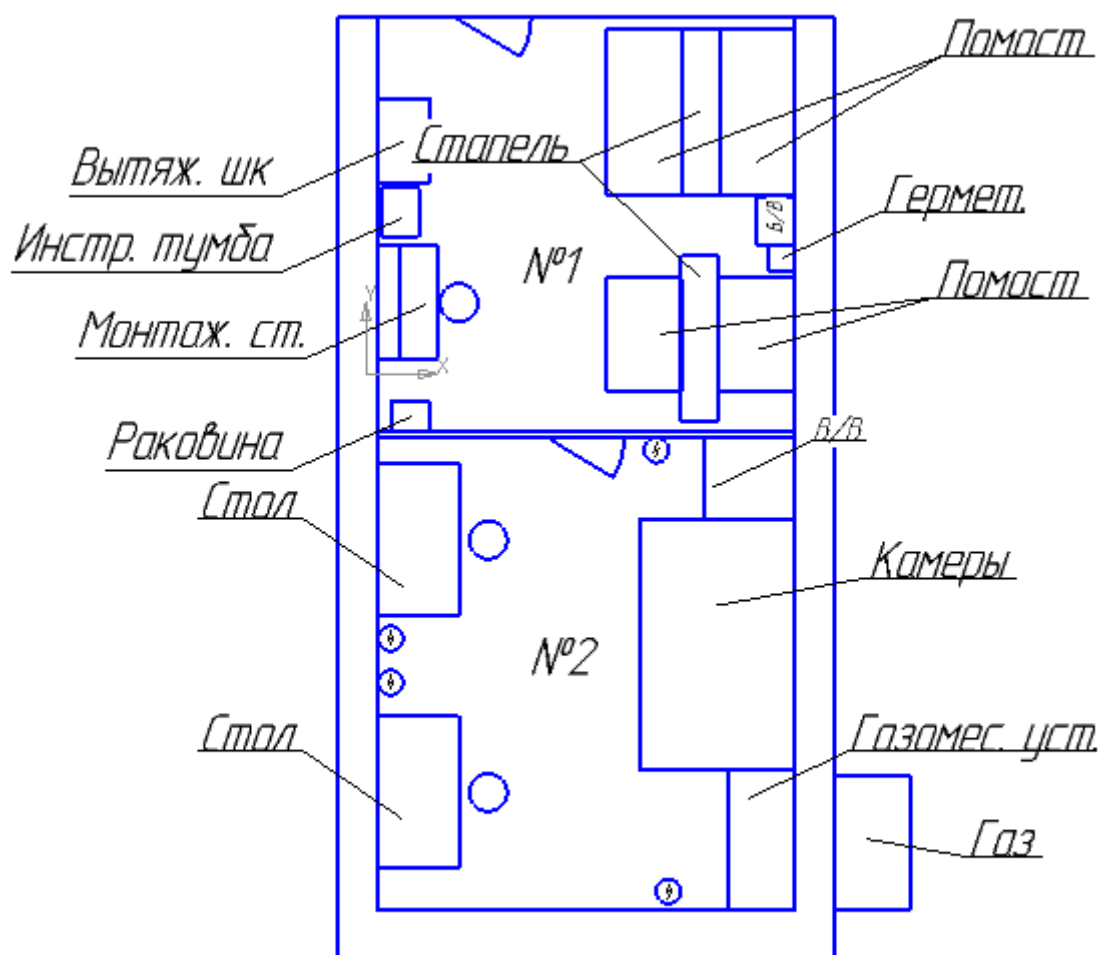


Рис. 2. Комнаты

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

на разработку устройства намотки и натяжения анодных проволок
для сборки тонкоззорных мюонных камер

1 Основание для проведения

Работа выполняется в рамках ПНИЭР по теме: «Создание сверхбыстродействующих радиационно-стойких компонентов супердетектора новых тяжелых частиц АТЛАС Большого адронного коллайдера ЦЕРН для экспериментальных исследований рождения и распада частиц».

2 Исполнитель

Лаборатория адронной физики Отделения физики высоких энергий ФГБУ «ПНЯФ»

3 Цель выполнения

Разработка устройства для намотки и натяжения анодных проволок, предназначенное для сборки тонкоззорных мюонных камер

4 Назначение продукции

Тонкоззорная мюонная камера состоит из двух катодных плоскостей, выполненных из стеклотекстолита, и одной анодной плоскости расположенной между ними. Анодная плоскость формируется с помощью золоченой вольфрамовой проволоки диаметром 50 мкм, натянутой с усилием около 700 г, и зафиксированной путем пайки к печатным платам, расположенным по двум краям катодных плоскостей. Шаг между проволоками определяется конструкцией камеры и задается расстояниями между ламелями печатной платы. Разрабатываемое устройство для намотки и натяжения анодных проволок (далее – Устройство) предназначено для намотки и натяжения анодных проволок при сборке мюонных тонкоззорных мюонных камер.

5 Технические требования**5.1 Состав продукции**

В состав разрабатываемого Устройства должны входить:

- 1) вращающийся стол, на котором с двух сторон крепятся с помощью вакуумного присасывания катодные плоскости с приклеенными к ним печатными платами;
- 2) каретка, на которой устанавливается устройство натяжения и подачи проволоки;
- 3) устройство натяжения и подачи проволоки;
- 4) система перемещения и точного измерения положения каретки вдоль направляющей.
- 5) система управления перемещением каретки, натяжением анодной проволоки и вращением стола;
- 6) станина, на которой располагается направляющая, по которой осуществляется движение каретки;
- 7) эксплуатационная документация.

5.2 Требования к показателям назначения

5.2.1 Выполняемые функции

Разрабатываемое Устройство должно обеспечивать:

- 1) намотку анодных проволок с заданным шагом и натяжением;
- 2) управление вращающимся столом (скорость вращения и направление);
- 3) измерение скорости вращения стола;
- 4) надежную фиксацию катодных плоскостей с двух сторон вращающегося стола с помощью вакуумного присасывания;
- 5) управление перемещением каретки (скорость перемещения, заданный шаг перемещения, диапазон перемещения, направление перемещения);
- 6) измерение положения каретки с заданной точностью вдоль направляющей;
- 7) измерение силы натяжения проволоки и возможность ее изменения в режиме реального времени.

5.2.2 Нормы и количественные показатели

- 5.2.2.1 Измеренное положение каретки должно сохраняться в случае отключения питания;
- 5.2.2.2 Движение каретки, с расположенной на ней системой натяжения проволоки, должно быть ограничено концевыми предохранителями;
- 5.2.2.3 Скорость вращения шагового двигателя должна обеспечивать быстрый прогон каретки из конца в конец в пределах 5-10 минут;
- 5.2.2.4 Система управления натяжением и подачей проволоки должна обеспечивать равномерную подачу проволоки с заданным натяжением, которое зависит от положения стола;
- 5.2.2.5 Подающая катушка с проволокой должна быть оборудована тормозным механизмом. Система управления должна включать тормоз в случае незапланированного падения натяжения проволоки (например, обрыв проволоки);
- 5.2.2.6 Система управления должна обеспечивать запись информации о положении стола, каретки и натяжении проволоки.

5.2.2 Технические характеристики (параметры)

- 5.2.2.1 Плоскостность вращающегося стола не хуже 300 мкм;
- 5.2.2.2 Параллельность поверхностей стола, на которых фиксируются катодные плоскости не хуже 1^0 ;
- 5.2.2.3 Скорость вращения стола от 0 до 100 оборотов в минуту;
- 5.2.2.4 Равномерность вращения стола не хуже 10%;
- 5.2.2.5 Возможность остановки и фиксации стола с точностью не хуже 1^0 ;
- 5.2.2.6 Перемещение каретки, с расположенной на ней системой натяжения проволоки, в диапазоне до 2,5 метров;
- 5.2.2.7 Перемещение каретки с расположенной на ней системой натяжения проволоки параллельно столу с точностью не хуже 1^0 ;
- 5.2.2.8 Скорость перемещения каретки от 0 до 10 мм/сек;
- 5.2.2.9 Минимальный шаг перемещения каретки 25 мкм;
- 5.2.2.10 Точность измерения положение каретки не хуже 10 мкм;
- 5.2.2.11 Диапазон регулировки натяжения должен быть в пределах 50 – 700 г;

5.2.2.12 Система управления натяжением и подачей проволоки должна обеспечивать равномерную подачу проволоки с заданным натяжением, которое зависит от положения стола как показано на рисунке 1.

5.2.4 Требования к порядку и способам взаимодействия с сопрягаемыми объектами

5.2.4.1 Технические средства разрабатываемого Устройства должны содержать стандартные интерфейсы, обеспечивающие интеграцию с персональным компьютером.

5.2.5 Требования к совместимости

Разрабатываемое устройство должно быть совместимо с аналогичными устройствами разработанными для сборки тонкозачерненных камер и используемых в зарубежных институтах и университетах участвующих в создании мюонных камер данного типа.

5.2.6 Требования по мобильности

Разрабатываемое Устройство должно быть выполнено в стационарном исполнении.

5.3 Требования к электропитанию

5.3.1 Электропитание разрабатываемого Устройства должно осуществляться от 3-фазной электросети 50 Гц 380/220 В $\pm 5\%$ (220В (+10%, -15%), 50Гц ($\pm 5\%$) в соответствии с ГОСТ 13109-88).

5.4 Требования надежности

5.4.1 Требования по безотказности

- 1) вероятность безотказной работы 0,95, не менее;
- 2) средняя наработка на отказ 10 часов, не менее;
- 3) среднее время восстановления 1 час, не более;

5.4.2 Требования по долговечности

Разрабатываемое Устройство должен удовлетворять следующим требованиям:

- 1) ресурс между средними (капитальными) ремонтами 2 года, не менее;
- 2) ресурс до списания 1000 час., не менее;
- 4) срок службы до списания 8 лет, не менее;

5.4.3 Требования по сохраняемости

Разрабатываемое Устройство должно удовлетворять следующему требованию:

- срок сохраняемости 4 года, не менее.

5.4.4 Критерии отказов и предельного состояния изделия

5.4.4.1 Отказом разрабатываемого Устройства считают:

- 1) прекращение выполнения Устройством функций, заданных требованиями п.5.2.1 настоящего технического задания;
- 2) снижение качества функционирования по производительности (п. <...> настоящего технического задания) и по точности (п. <...> настоящего технического задания) за пределы допустимого уровня.

5.4.4.2 Предельным состоянием разрабатываемого Устройства считают:

- 1) отказ одной или нескольких составных частей Устройства, восстановление или замена которых на месте эксплуатации не предусмотрена эксплуатационной документацией и должна выполняться в ремонтных органах;
- 2) снижение наработки на отказ ниже уровня; установленного требованиями п. 5.4.1 настоящего технического задания

3) превышение установленного уровня текущих (суммарных) затрат на техническое обслуживание и ремонты, определяющее экономическую нецелесообразность дальнейшей эксплуатации.

5.4.5 Подтверждение требований п.п. 5.4.1...5.4.4 настоящего технического задания проводится:

- 1) расчетным методом в соответствии с ГОСТ 27.301-95 - на этапе разработки изделия и этапе предварительных испытаний;
- 2) экспериментальным (расчётно-экспериментальным) методом по методике, согласованной с Заказчиком - на этапе приёмочных испытаний.

5.5 Конструктивные требования

5.5.1 Конструктивное исполнение входящих в разрабатываемое Устройство систем, должно обеспечивать:

- удобство эксплуатации;
- возможность ремонта;
- свободный доступ ко всем элементам, узлам и блокам, требующим регулирования или замены в процессе эксплуатации"

5.5.2 Разрабатываемое Устройство должно иметь блочно-модульную конструкцию.

5.5.3 Разрабатываемое Устройство должно соответствовать следующим требованиям:

5.5.3.1 вращающийся стол:

- габаритные размеры– 2500x1400x100 мм, не более;
- масса – 250 кг, не более;

5.5.3.2 система перемещения каретки:

- габаритные – 2600x200x1100 мм, не более;
- масса – 200 кг, не более;

5.5.3.3 способ крепления – вращающийся стол и система передвижения каретки крепится к полу

5.5.4 Все части Устройства, вступающие в контакт с реагентами и растворителями, должны быть изготовлены из коррозионно-стойких материалов или защищены коррозионно-стойкими покрытиями по ГОСТ 9.301-86"

5.5.5 Покрытия должны обеспечивать необходимую коррозионную стойкость, надежную работу и декоративный вид разрабатываемого Изделия при эксплуатации и при хранении.

5.5.6 Технические требования к металлическим и неметаллическим неорганическим покрытиям - по ГОСТ 9.301-78.

5.5.7 Требования к лакокрасочным покрытиям по внешнему виду - по ГОСТ 9.032-74.

5.5.8 Внешние электрические соединители (разъемы) должны иметь маркировку, позволяющую определить те части разъемов, которые подлежат соединению между собой. Ответные части одного и того же разъема должны иметь одинаковую маркировку. Маркировка должна наноситься на корпусах ответных частей разъемов на видном месте.

5.5.9 Кабель соединительный должен обеспечивать удаление вращающегося стола и системы перемещения каретки на расстояние друг от друга до 1 м.

5.6 Требования по эргономике и технической эстетике

5.6.1 Все средства отображения информации, органы управления и внутреннего контроля

разрабатываемого Устройства должны быть скомпонованы на лицевых панелях пультов управления в соответствии с требованиями к информационным моделям по ГОСТ 20.39.108.

5.6.2 Кодирование и компоновка средств отображения информации, органов управления на пультах управления, цветовое оформление лицевых панелей пультов разрабатываемого Устройства должны обеспечивать безошибочность и быстродействие операторов, удобство и безопасность работы в любое время суток.

5.6.3 По эргономике и технической эстетике разрабатываемое Устройство должно соответствовать требованиям ГОСТ 20.39.108

5.7 Требования к эксплуатации, удобству технического обслуживания и ремонта

5.7.1 Требования к стойкости к внешним воздействующим факторам

5.7.1.1 Разрабатываемое Устройство должно соответствовать группе климатического исполнения УХЛ по ГОСТ 15150-69.

5.7.1.2 Разрабатываемое Устройство должно соответствовать группе механического исполнения М21 по ГОСТ 30631-99.

5.7.2 Требования к эксплуатационным показателям

5.7.2.1 Разрабатываемое Устройство должно обслуживаться одним человеком со средне-техническим образованием

5.7.2.2 Разрабатываемое Устройство должно функционировать в следующих режимах:

- основной – полное функционирование Устройства;
- аварийный – автоматический безопасный останов функционирования.

5.7.2.3 Разрабатываемый Комплекс должен обеспечивать циклическую работу со следующими параметрами цикла: время установки катодных плоскостей – не более 30 мин., время намотки – не более 10 час., время удаления намотанных плоскостей – не более 30 мин., время подготовки – 10 мин.

5.7.2.4 Должна быть обеспечена аварийная остановка разрабатываемого Комплекса при возникновении следующих ситуаций:

- несанкционированное отключение питания;
- потеря давления в системе обеспечивающей присасывание катодных плоскостей к вращающемуся столу;
- обрыв анодной проволоки.

5.7.2.5 Периодическое техническое обслуживание разрабатываемого Устройства должно проводиться не реже одного раза в год.

5.7.2.6 Периодическое техническое обслуживание должно включать в себя обслуживание всех составных частей Устройства.

5.7.2.7 К обслуживанию комплекса должны допускаться лица, имеющие квалификационную группу по технике безопасности не ниже третьей и имеющие допуск к работе с электроустановками напряжением до 1000 В.

5.7.2.8 Гарантийный срок разрабатываемого Комплекса должен составлять 5 лет, не менее.

5.7.3 Требования по ремонтпригодности

5.7.3.1 Требования к ремонтпригодности прибора – по РД 50-707.

5.7.3.2 Обслуживание и ремонт разрабатываемого Устройства должны производиться без

применения специальных инструментов

5.8 Требования безопасности

5.8.1 Технические средства разрабатываемого Устройства по требованиям защиты человека от поражений электрическим током должны относиться к классу 1 и должны быть выполнены в соответствии с ГОСТ 12.2.007-0-75.

5.8.2 Разрабатываемое Устройство при монтаже, наладке, обслуживании и ремонте должен соответствовать общим требованиям безопасности по ГОСТ 12.2.003-74 и ГОСТ 12.3.002-75.

5.8.3 Условия работы персонала разрабатываемой Системы должны соответствовать санитарным нормам по СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.

5.8.5 Уровни шума и звуковой мощности в местах расположения персонала не должны превышать значений, установленных ГОСТ 12.1.003 и санитарными нормами.

5.8.6 Требования безопасности при монтаже, наладке, эксплуатации, обслуживании и ремонте разрабатываемого Устройства должны быть приведены в эксплуатационной документации.

6 Требования по видам обеспечения

6.1 Требования по программному обеспечению

6.2.1 Для разрабатываемого Устройства должна быть разработана управляющая программа.

Разработал заведующий лабораторией



О.Л.Федин

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ
на разработку устройства напыления катодных плоскостей
для сборки тонкоззорных мюонных камер

1 Основание для проведения

Работа выполняется в рамках ПНИЭР по теме: «Создание сверхбыстродействующих радиационно-стойких компонентов супердетектора новых тяжелых частиц АТЛАС Большого адронногоколлайдера ЦЕРН для экспериментальных исследований рождения и распада частиц».

2 Исполнитель

Лаборатория адронной физики Отделения физики высоких энергий ФГБУ «ПНЦФ»

3 Цель выполнения

Разработка системы для напыления катодных плоскостей, предназначенное для сборки тонкоззорных мюонных камер

4 Назначение продукции

Тонкоззорная мюонная камера состоит из двух катодных плоскостей, выполненных из стеклотекстолита, и одной анодной плоскости расположенной между ними. Катодная плоскость формируется с помощью нанесения графитой смеси способом пневматического напыления на панель из стеклотекстолита, с обеспечением поверхностного сопротивления 180 000 – 220 000 Ом и толщиной слоя напыления в пределах 0,08 – 0,4 мкм. Разрабатываемая система для напыления катодных плоскостей предназначена для напыления катодных плоскостей при сборке тонкоззорных мюонных камер.

5 Технические требования**5.1 Состав продукции**

В состав разрабатываемой системы должны входить:

- 1) Система перемещения для обеспечения автоматического движения распылительной головки в заданных направлениях, с заданной скоростью и на заданное расстояние;
- 2) Система подачи лакокрасочных материалов (далее ЛКМ) для управления подачей напыляемого материала, а также для обеспечения его равномерного напора;
- 3) Система подачи воздуха для формирования потока очищенного сжатого воздуха определенного давления и подача его на напылительную головку для формирования нужной формы струи ЛКМ;
- 4) Система управления для обеспечения управления автоматизированным процессом напыления катодных плоскостей;
- 5) Эксплуатационная документация.

5.2 Требования к показателям назначения**5.2.1 Выполняемые функции**

Разрабатываемая система должна обеспечивать:

- 1) напыление катодных плоскостей с заданной толщиной напыления;
- 2) Измерение расхода ЛКМ и воздуха;

- 3) надежную фиксацию катодных плоскостей в вертикальном положении с помощью вакуумного присасывания;
 - 4) управление перемещением кареткой (скорость перемещения, диапазон перемещения, направление перемещения);
 - 5) возможность задания произвольной траектории движения распылительной головки;
 - 6) обеспечение плавного пуска, равномерного движения и плавной остановки электродвигателя по обеим осям;
 - 7) жесткость направляющих, по которым будет осуществляться движение при напылении.
- Предпочтительней в этом случае будет порталная система, а не консольная. Пример порталной системы изображен на рисунке 1.

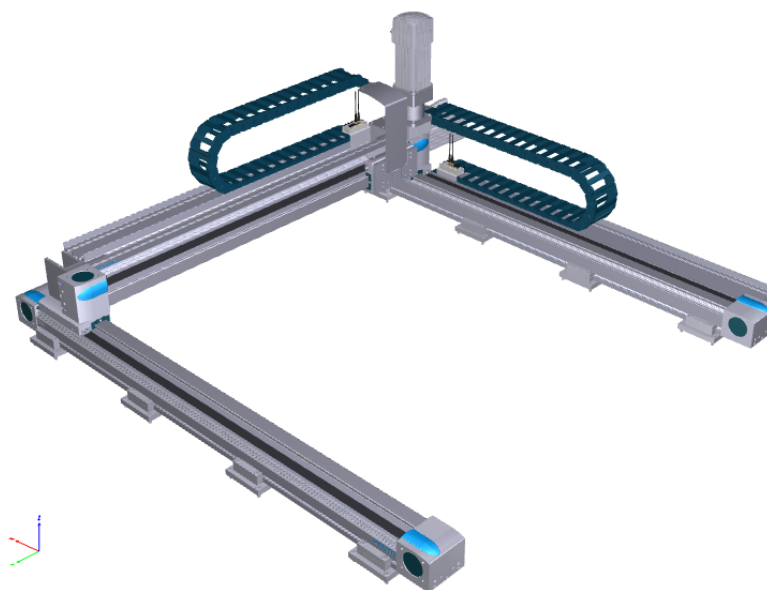


Рисунок 1 - Пример порталной системы перемещения.

5.2.2 Нормы и количественные показатели

5.2.2.1 Конструкция головки должна обеспечивать круглую форму следа, пример такой конструкции изображены на рисунке 2.

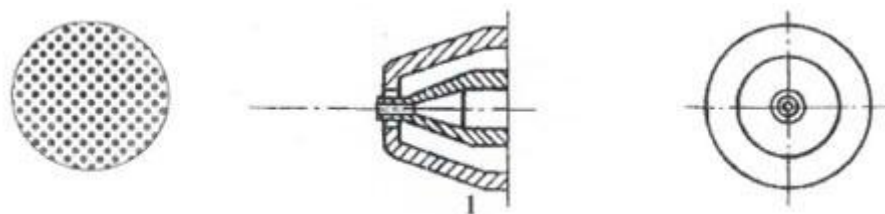


Рисунок 2 - Круглый след (слева), конструкция распылительной головки (по центру) и вид головки спереди (справа).

5.2.2.2 Подача сжатого воздуха должна осуществляться раньше подачи ЛКМ. Отключение подачи сжатого воздуха должно осуществляться позже отключения подачи ЛКМ.

5.2.2.3 Напылительная установка должна быть снабжена мешалкой для получения однородной смеси требуемых компонентов и поддержания этого свойства в течение всего времени работы.

5.2.2.4 Перемешивание смеси должно выключаться при включении распыления.

5.2.3. Технические характеристики (параметры)

5.2.3.1 Система напыления должна быть расположена в помещении с поддерживаемой температурой на уровне $21 \pm 1^\circ\text{C}$ и влажностью на уровне $40 \pm 1\%$.

5.2.3.2 Система напыления должна обеспечивать нанесение слоя смеси толщиной от 0,08 до 0,4 мкм с погрешностью 10%.

5.2.3.3 Напыляемая смесь должна быть многокомпонентной. Спецификация смеси представлена в таблице 1.

Таблица 1. Спецификация напыляемой смеси. Указано содержание массовой доли всех компонентов.

Составляющие	Массовая доля, %
Растворитель на основе бензина	50÷72
Изопропиловый спирт	25÷50
Графит	1÷5

5.2.3.4 Обеспечение равномерной скорости движения напылительной головки в пределах 150-450 мм/с в горизонтальном направлении;

5.2.3.5 Габариты должны быть достаточными для свободного размещения в вертикальном положении панели размером 2111x1159 мм.

5.2.3.6 Обеспечение перемещения распылительной головки в пределах 2500 мм по горизонтали и 1600 мм по вертикали.

5.2.4 Требования к порядку и способам взаимодействия с сопрягаемыми объектами

5.2.4.1 Технические средства разрабатываемой системы должны содержать стандартные интерфейсы, обеспечивающие интеграцию с персональным компьютером.

5.2.5 Требования к совместимости

Разрабатываемая система должна быть совместима с аналогичными устройствами, разработанными для сборки тонкозачерненных камер и используемых в зарубежных институтах и университетах, участвующих в создании мюонных камер данного типа.

5.2.6 Требования по мобильности

Разрабатываемая система должна быть выполнена в стационарном исполнении.

5.3 Требования к электропитанию

5.3.1 Электропитание разрабатываемой системы должно осуществляться от 3-фазной электросети 50 Гц 380/220 В \pm 5% (220В (+10%, -15%), 50Гц (\pm 5%) в соответствии с ГОСТ 13109-88) а также от источника постоянного тока 48 В \pm 10%.

5.4 Требования надежности

5.4.1 Требования по безотказности

- 1) вероятность безотказной работы 0,95, не менее;
- 2) средняя наработка на отказ 2000 часов, не менее;
- 3) среднее время восстановления 8 час, не более;

5.4.2 Требования по долговечности

Разрабатываемая система должна удовлетворять следующим требованиям:

- 1) ресурс между средними (капитальными) ремонтами 2 года, не менее;
- 2) ресурс до списания 10000 час., не менее;
- 3) срок службы до списания 5 лет, не менее;

5.4.4 Критерии отказов и предельного состояния изделия

5.4.4.1 Отказом разрабатываемой системы считают:

- 1) прекращение выполнения системой функций, заданных требованиями п. 5.2.1 настоящего технического задания;
- 2) снижение качества функционирования по производительности (п. 5.7.2.3 настоящего технического задания) и по точности (п. 5.2.3.2 настоящего технического задания) за пределы допустимого уровня.

5.4.4.2 Предельным состоянием разрабатываемой системы считают:

- 1) отказ одной или нескольких составных частей системы (подсистем), восстановление или замена которых на месте эксплуатации не предусмотрена эксплуатационной документацией и должна выполняться в ремонтных органах;
- 2) снижение наработки на отказ ниже уровня; установленного требованиями п. 5.4.1 настоящего технического задания;
- 3) превышение установленного уровня текущих (суммарных) затрат на техническое обслуживание и ремонты, определяющее экономическую нецелесообразность дальнейшей эксплуатации.

5.4.5 Подтверждение требований п.п. 5.4.1...5.4.4 настоящего технического задания проводится:

- 1) расчетным методом в соответствии с ГОСТ 27.301-95 - на этапе разработки изделия и этапе предварительных испытаний;
- 2) экспериментальным (расчётно-экспериментальным) методом по методике, согласованной с Заказчиком - на этапе приёмочных испытаний.

5.5 Конструктивные требования

5.5.1 Конструктивное исполнение входящих в разрабатываемое Устройство систем, должно обеспечивать:

- 1) удобство эксплуатации;
- 2) возможность ремонта;
- 3) свободный доступ ко всем элементам, узлам и блокам, требующим регулирования или замены в процессе эксплуатации"

5.5.2 Разрабатываемая система должна иметь блочно-модульную конструкцию.

5.5.3 Разрабатываемая система должна соответствовать следующим требованиям:

5.5.3.1 система перемещения должна обслуживать площадь 2500x1600 мм²;

5.5.3.2 способ крепления распылительной головки, способ подачи воздуха и ЛКМ должны обеспечивать удобство в работе и обслуживании.

5.5.4 Все части системы, вступающие в контакт с реагентами и растворителями, должны быть изготовлены из коррозионно-стойких материалов или защищены коррозионно-стойкими покрытиями по ГОСТ 9.301-86;

5.5.5 Покрытия должны обеспечивать необходимую коррозионную стойкость, надежную работу и декоративный вид разрабатываемого Изделия при эксплуатации и при хранении.

5.5.6 Технические требования к металлическим и неметаллическим неорганическим покрытиям - по ГОСТ 9.301-78.

5.5.7 Требования к лакокрасочным покрытиям по внешнему виду - по ГОСТ 9.032-74.

5.5.8 Внешние электрические соединители (разъемы) должны иметь маркировку, позволяющую определить те части разъемов, которые подлежат соединению между собой. Ответные части одного и того же разъема должны иметь одинаковую маркировку. Маркировка должна наноситься на корпусах ответных частей разъемов на видном месте.

5.6 Требования по эргономике и технической эстетике

5.6.1 Все средства отображения информации, органы управления и внутреннего контроля разрабатываемого Устройства должны быть скомпонованы на лицевых панелях пультов управления в соответствии с требованиями к информационным моделям по ГОСТ 20.39.108.

5.6.2 Кодирование и компоновка средств отображения информации, органов управления на пультах управления, цветовое оформление лицевых панелей пультов разрабатываемого Устройства должны обеспечивать безошибочность и быстрдействие операторов, удобство и безопасность работы в любое время суток.

5.6.3 По эргономике и технической эстетике разрабатываемое Устройство должно соответствовать требованиям ГОСТ 20.39.108

5.7 Требования к эксплуатации, удобству технического обслуживания и ремонта

5.7.1 Требования к стойкости к внешним воздействующим факторам

5.7.1.1 Разрабатываемое Устройство должно соответствовать группе климатического исполнения УХЛ по ГОСТ 15150-69.

5.7.1.2 Разрабатываемое Устройство должно соответствовать группе механического исполнения М13 по ГОСТ 30631-99.

5.7.2 Требования к эксплуатационным показателям

5.7.2.1 Разрабатываемое Устройство должно обслуживаться двумя людьми со среднетехническим образованием

5.7.2.2 Разрабатываемое Устройство должно функционировать в следующих режимах:

- 1) основной – полное функционирование Устройства;
- 2) аварийный – автоматический безопасный останов функционирования.

5.7.2.3 Разрабатываемый Комплекс должен обеспечивать циклическую работу со следующими параметрами цикла: время установки и закрепления катодных плоскостей – не более 10 мин., время напыления – не более 30 мин., время удаления напыленных плоскостей – не более 10 мин., время подготовки – 1 часа.

5.7.2.4 Должна быть обеспечена аварийная остановка разрабатываемого Комплекса при возникновении следующих ситуаций:

- 1) несанкционированное отключение питания;
- 2) потеря давления в системе, обеспечивающей присасывание катодных плоскостей к вакуумным захватам;
- 3) снижение уровня подачи ЛКМ;

- 4) снижение уровня подачи сжатого воздуха;
- 5) перепады напряжения в сети;
- 6) обрыв соединительных проводов;
- 7) выход за рекомендуемые пределы работы насоса;
- 8) выход за рекомендуемые пределы работы компрессора;
- 9) ухудшение работы фильтров маслоотделителя;

5.7.2.5 Периодическое техническое обслуживание разрабатываемого Устройства должно проводиться не реже одного раза в год.

5.7.2.6 Периодическое техническое обслуживание должно включать в себя обслуживание всех составных частей Устройства.

5.7.2.7 К обслуживанию комплекса должны допускаться лица, имеющие квалификационную группу по технике безопасности не ниже третьей и имеющие допуск к работе с электроустановками напряжением до 1000 В.

5.7.2.8 Гарантийный срок разрабатываемого Комплекса должен составлять 5 лет, не менее.

5.7.3 Требования по ремонтпригодности

5.7.3.1 Требования к ремонтпригодности прибора – по РД 50-707.

5.7.3.2 Обслуживание и ремонт разрабатываемой системы должны производиться без применения специальных инструментов.

5.8 Требования безопасности

5.8.1 Технические средства разрабатываемого Устройства по требованиям защиты человека от поражений электрическим током должны относиться к классу 1 и должны быть выполнены в соответствии с ГОСТ 12.2.007-0-75.

5.8.2 Разрабатываемое Устройство при монтаже, наладке, обслуживании и ремонте должно соответствовать общим требованиям безопасности по ГОСТ 12.2.003-74 и ГОСТ 12.3.002-75.

5.8.3 Условия работы персонала разрабатываемой Системы должны соответствовать санитарным нормам по СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.

5.8.5 Уровни шума и звуковой мощности в местах расположения персонала не должны превышать значений, установленных ГОСТ 12.1.003 и санитарными нормами.

5.8.6 Требования безопасности при монтаже, наладке, эксплуатации, обслуживании и ремонте разрабатываемого Устройства должны быть приведены в эксплуатационной документации.

6 Требования по видам обеспечения

6.1 Требования по программному обеспечению

6.2.1 Для разрабатываемого Устройства должна быть разработана управляющая программа.

Разработал инженер-конструктор



А.Т.Сулейманов

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

на разработку установки смешивания рабочего газа

1 Основание для проведения

Работа выполняется в ПНИЭР по теме: «Создание сверхбыстродействующих радиационно-стойких компонентов супердетектора новых тяжелых частиц АТЛАС Большого адронного коллайдера ЦЕРН для экспериментальных исследований рождения и распада частиц».

2 Исполнитель

Лаборатория адронной физики Отделения физики высоких энергий ФГБУ «ПИЯФ»

3 Цель выполнения

Разработка установки смешивания рабочего газа, предназначенное для сборки тонкоззорных мюонных камер

4 Назначение продукции

Установка смешивания рабочего газа предназначена для подготовки и подачи рабочего газа в собранные тонкоззорные камеры (ТЗК)

5 Технические требования**5.1 Состав продукции**

В состав разрабатываемой Установки должны входить:

- 1) система смешивания, предназначенный для смешивания компонент рабочей газовой смеси;
- 2) очиститель газовой смеси, расположенный на выходе рабочего газа из камеры;
- 3) восстановитель n-пентана, расположенный на выходе рабочего газа из камеры и предназначенный для восстановления одной из компонент газовой смеси;
- 4) накопитель n-пентана, расположенный на выходе рабочего газа из камеры;
- 5) система управления и контроля;
- 6) баллоны с углекислым газом и n-пентаном.
- 7) эксплуатационная документация.

5.2 Требования к показателям назначения**5.2.1 Выполняемые функции**

Разрабатываемая Установка должна обеспечивать:

- 1) подготовку рабочей газовой смеси;
- 2) подачу рабочей газовой смеси одновременно в несколько камер (от 1 до 10);
- 3) очистку рабочей газовой смеси после ее прохождения через камеру;
- 4) восстановление и накопление восстановленного n-пентана;
- 5) измерение потока рабочего газа через каждую камеру.;

5.2.2 Нормы и количественные показатели

5.2.2.1 Система управления и контроля предназначена для контроля за различными функциями смешивания газа и должна выдавать предупреждения, сигналы тревоги и принять меры, то есть остановить поток CO₂ и n-пентана, в случае проблем. Система должна контролировать:

- уровень жидкости в n-пентана в миксере
- давление и потоки для углекислого газа, n-пентана и в системе смешивания
- наличие жидкого n-пентана в газовой смеси;
- избыточное давление на выходе газа.

5.2.2 Технические характеристики (параметры)

5.2.2.1 Состав рабочей газовой смеси n-C₅H₁₂/CO₂ - 45/55% ;

5.2.2.2 Избыток давления над атмосферным ≤4 мбар;

5.2.2.3 Номинальная скорость обмена объемов 5 объемов/день;

5.2.2.4 Регулироваться расхода газа в пределах 0 – 50 л/час

5.2.2.5 Номинальный поток газа 1,5 л/час/м²

5.2.2.6 Температура рабочего газа 17 °С.

5.2.4 Требования к порядку и способам взаимодействия с сопрягаемыми объектами

5.2.4.1 Технические средства разрабатываемой Установки должны содержать стандартные интерфейсы, обеспечивающие интеграцию с персональным компьютером.

5.2.5 Требования к совместимости

Разрабатываемая Установка должна быть совместима с аналогичными устройствами разработанными для сборки тонкоззорных камер и используемых в зарубежных институтах и университетах участвующих в создании мюонных камер данного типа.

5.2.6 Требования по мобильности

Разрабатываемая Установка должно быть выполнено в стационарном исполнении.

5.3 Требования к электропитанию

5.3.1 Электропитание разрабатываемого Устройства должно осуществляться от 3-фазной электросети 50 Гц 380/220 В ±5% (220В (+10%, -15%), 50Гц (± 5%) в соответствии с ГОСТ 13109-88).

5.4 Требования надежности

5.4.1 Требования по безотказности

- 1) вероятность безотказной работы 0,95, не менее;
- 2) средняя наработка на отказ 10 часов, не менее;
- 3) среднее время восстановления 1 час, не более;

5.4.2 Требования по долговечности

Разрабатываемая Установка должна удовлетворять следующим требованиям:

- 1) ресурс между средними (капитальными) ремонтами 2 года, не менее;
- 2) ресурс до списания 1000 час., не менее;
- 4) срок службы до списания 8 лет, не менее;

5.4.3 Требования по сохраняемости

Разрабатываемая Установка должна удовлетворять следующему требованию:

- срок сохраняемости 4 года, не менее.

5.4.4 Критерии отказов и предельного состояния изделия

5.4.4.1 Отказом разрабатываемой Установки считают прекращение выполнения Установкой функций, заданных требованиями п.5.2.1 настоящего технического задания;

5.4.4.2 Предельным состоянием разрабатываемой Установки считают:

- 1) отказ одной или нескольких составных частей Устройства, восстановление или замена которых на месте эксплуатации не предусмотрена эксплуатационной документацией и должна выполняться в ремонтных органах;
- 2) снижение наработки на отказ ниже уровня; установленного требованиями п. 5.4.1 настоящего технического задания
- 3) превышение установленного уровня текущих (суммарных) затрат на техническое обслуживание и ремонты, определяющее экономическую нецелесообразность дальнейшей эксплуатации.

5.4.5 Подтверждение требований п.п. 5.4.1...5.4.4 настоящего технического задания проводится:

- 1) расчетным методом в соответствии с ГОСТ 27.301-95 - на этапе разработки изделия и этапе предварительных испытаний;
- 2) экспериментальным (расчётно-экспериментальным) методом по методике, согласованной с Заказчиком - на этапе приёмочных испытаний.

5.5 Конструктивные требования

5.5.1 Конструктивное исполнение входящих в разрабатываемую Установку узлов, должно обеспечивать:

- 1) удобство эксплуатации;
- 2) возможность ремонта;
- 3) свободный доступ ко всем элементам, узлам и блокам, требующим регулирования или замены в процессе эксплуатации.

5.5.2 Разрабатываемая Установка должна иметь блочно-модульную конструкцию.

5.5.3 Разрабатываемая Установка должна соответствовать следующим требованиям:

5.5.3.1 Отвечать всем требованиям пожарной безопасности при работе с легко воспламеняющимися газами.

5.5.3.2 Система смешивания Установки должна быть оснащена двумя измерителями потоков газа. Один используется для углекислого газа и один для n-пентана.

5.5.4 Все части Установки, вступающие в контакт с реагентами и растворителями, должны быть изготовлены из коррозионно-стойких материалов или защищены коррозионно-стойкими покрытиями по ГОСТ 9.301-86"

5.5.5 Покрытия должны обеспечивать необходимую коррозионную стойкость, надежную работу и декоративный вид разрабатываемого Изделия при эксплуатации и при хранении.

5.5.6 Технические требования к металлическим и неметаллическим неорганическим покрытиям - по ГОСТ 9.301-78.

5.5.7 Требования к лакокрасочным покрытиям по внешнему виду - по ГОСТ 9.032-74.

5.5.8 Внешние электрические соединители (разъемы) должны иметь маркировку, позволяющую определить те части разъемов, которые подлежат соединению между собой. Ответные части одного и того же разъема должны иметь одинаковую маркировку. Маркировка должна наноситься на корпусах ответных частей разъемов на видном месте.

5.5.9 Кабель соединительный должен обеспечивать удаление вращающегося стола и системы перемещения каретки на расстояние друг от друга до 1 м.

5.6 Требования по эргономике и технической эстетике

5.6.1 Все средства отображения информации, органы управления и внутреннего контроля разрабатываемой Установки должны быть скомпонованы на лицевых панелях пультов управления в соответствии с требованиями к информационным моделям по ГОСТ 20.39.108.

5.6.2 Кодирование и компоновка средств отображения информации, органов управления на пультах управления, цветовое оформление лицевых панелей пультов разрабатываемой Установки должны обеспечивать безошибочность и быстрдействие операторов, удобство и безопасность работы в любое время суток.

5.6.3 По эргономике и технической эстетике разрабатываемое Устройство должно соответствовать требованиям ГОСТ 20.39.108

5.7 Требования к эксплуатации, удобству технического обслуживания и ремонта

5.7.1 Требования к стойкости к внешним воздействующим факторам

5.7.1.1 Разрабатываемая Установка должна соответствовать группе климатического исполнения УХЛ по ГОСТ 15150-69.

5.7.1.2 Разрабатываемая Установка должна соответствовать группе механического исполнения М21 по ГОСТ 30631-99.

5.7.2 Требования к эксплуатационным показателям

5.7.2.1 Разрабатываемая Установка должна обслуживаться одним человеком со средне-техническим образованием

5.7.2.2 Разрабатываемая Установка должна функционировать в следующих режимах:

- 1) основной – полное функционирование Установки;
- 2) аварийный – автоматический безопасный останов функционирования.

5.7.2.3 Разрабатываемая Установка должна обеспечивать циклическую работу со следующими параметрами цикла: время подготовки – не более 30 мин., время непрерывной работы - не менее 1-ой недели.

5.7.2.4 Должна быть обеспечена аварийная остановка разрабатываемой Установки при возникновении следующих ситуаций:

- 1) несанкционированное отключение питания;
- 2) отсутствия газа в баллонах.

5.7.2.5 Периодическое техническое обслуживание разрабатываемой Установки должно проводиться не реже одного раза в год.

5.7.2.6 Периодическое техническое обслуживание должно включать в себя обслуживание всех составных частей Установки.

5.7.2.7 К обслуживанию Установки должны допускаться лица, имеющие квалификационную группу по технике безопасности не ниже третьей и имеющие допуск к работе с электроустановками напряжением до 1000 В.

5.7.2.8 Гарантийный срок разрабатываемого Комплекса должен составлять 5 лет, не менее.

5.7.3 Требования по ремонтпригодности

5.7.3.1 Требования к ремонтпригодности прибора – по РД 50-707.

5.7.3.2 Обслуживание и ремонт разрабатываемой Установки должны производиться без применения специальных инструментов

5.8 Требования безопасности

5.8.1 Технические средства разрабатываемой Установки по требованиям защиты человека от поражений электрическим током должны относиться к классу 1 и должны быть выполнены в соответствии с ГОСТ 12.2.007-0-75.

5.8.2 Разрабатываемая Установка при монтаже, наладке, обслуживании и ремонте должна соответствовать общим требованиям безопасности по ГОСТ 12.2.003-74 и ГОСТ 12.3.002-75.

5.8.3 Условия работы персонала разрабатываемой Установки должны соответствовать санитарным нормам по СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.

5.8.5 Уровни шума и звуковой мощности в местах расположения персонала не должны превышать значений, установленных ГОСТ 12.1.003 и санитарными нормами.

5.8.6 Требования безопасности при монтаже, наладке, эксплуатации, обслуживании и ремонте разрабатываемой Установки должны быть приведены в эксплуатационной документации.

6 Требования по видам обеспечения

6.1 Требования по программному обеспечению

6.2.1 Для разрабатываемой Установки должна быть разработана управляющая программа.

Разработал старший научный сотрудник



В.П. Малеев

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ
на изготовление инструментов для прецизионной сборки
микроячейных камер (МИК)

1 Основание для проведения

Работа выполняется в рамках ПНИЭР по теме: «Создание сверхбыстродействующих радиационно-стойких компонентов супердетектора новых тяжелых частиц АТЛАС Большого адронного коллайдера ЦЕРН для экспериментальных исследований рождения и распада частиц».

2 Исполнитель

Объединённый институт ядерных исследований.

3 Цель выполнения

Разработка оборудования для сборки микроячейных мюонных камер новых малых колёс установки АТДАС.

4 Назначение продукции

Микроячейные камеры это микроструктурный газовый координатный детектор. Его основа представляет собой печатную плату с толщиной 0,5 мм с нанесенными медными полосками. Квадруплеты, созданные на основе МИК камер/панелей, будут использоваться в Новых Малых Мюонных Колесах (НМК) эксперимента АТЛАС для реконструкции мюонных треков, с разрешением лучше, чем 15% для 1 ТэВ мюонов, что требует механической точности сборки камеры $\sigma_{\text{камеры}}=40$ мкм. Вакуумные столы предназначены для склейки МИК с необходимой точностью.

Техническое задание предусматривает создание 2-х вакуумных столов для одновременной склейки двухсторонней считывающей панели МИК. Схема использования ВС показана на рисунке 1.

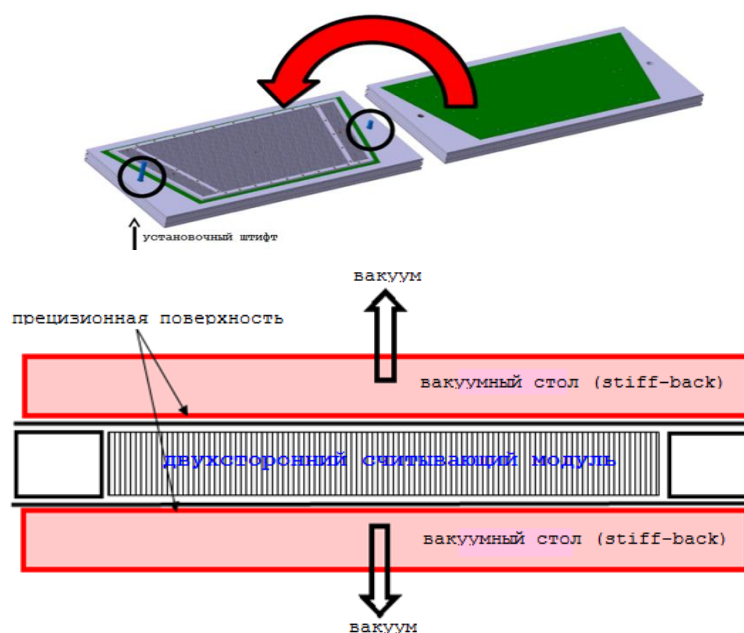


Рисунок 1 - Схема использования вакуумных столов

5 Технические требования

Плоскопараллельность прецизионной поверхности вакуумного стола должна быть лучше, чем 40 мкм ($\sigma_{\text{вс}} \leq 40$ мкм). Во избежание скручивания ВС во время склейки, он должен быть достаточно жестким и одновременно иметь пористую внутреннюю структуру для обеспечения присасывания печатной платы на точную поверхность стола вакуумом (см. рисунок 2). Расстояние между вакуумными отверстиями на прецизионной поверхности ВС 1 ± 0.1 см и должны быть просверлены с помощью координатно-измерительной машины. Расстояние между столами во время склейки будут задаваться регулировочными прокладками.





Рисунок 2 - Структура вакуумного стола

6 Требования по эксплуатации

- Вакуумный стол должен использоваться в чистом производственном помещении при температуре окружающей среды $(21 \pm 0,5)^\circ\text{C}$ и влажности $(50 \pm 10)\%$;
- Перед началом склейки необходима визуальная проверка прецизионной поверхности на наличие царапин и пятен клея;
- Необходима прочистка спиртом поверхности перед и после окончания склейки;
- Рекомендуется проверка плоскопараллельности прецизионной поверхности перед началом каждой склейки;
- При нарушении климатических условий в ЧПП, необходимое время приведения ВС в работоспособное состояние должно составлять не менее 12 часов в рабочих условиях окружающей среды с обязательной последующей проверкой плоскопараллельности.
- Использование ВС для иных целей недопустимо.

Разработал старший инженер

А.Л.Гонгадзе

					201411.00031	2	1
		ОИЯИ	-	-		201411.00031	
		Сборка микроячеистых мюонных камер АТЛАС					
		ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ					
		Утверждаю Вед. научн. сотрудник, кандидат физ.-мат. наук  Г.А.Шелков 23 октября 2014 г.					
		<p>Настоящая инструкция предназначена для сборки микроячеистых мюонных камер АТЛАС с использованием специальной оснастки.</p> <p>Склейка и сборка производится в ЧПП с регулируемой влажностью и температурой. Сборку производить в следующей последовательности:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Проверить температуру и влажность в чистой комнате. Все используемые детали должны быть занесены в ЧПП за 24 часа до начала работы; 2. Перед склейкой необходимо все детали промыть/обезжирить спиртом; 3. Визуально проверить печатные платы на наличие сломанных столбцов, грязи и пыли, сломанной изоляции; 4. Провести высоковольтный тест: приложить напряжение 1000В на резистивные стрипы, чтобы проверить качество изоляции между резистивными и анодными стрипами, которые должны быть заземлены во время теста; 5. Проверить положение предварительно просверленных прецизионных отверстий на платах с помощью шаблона; 6. Проверить толщину и наличие изгибов всех используемых алюминиевых профилей и алюминиевой сотовидной решетки; 					
					Разраб.	А.П.Гонгадзе	
					Н.контр.		
		ТИ					

			201411.0003	2
			-	201411.00031
			<p>7. Положить печатные платы на рабочую поверхность ВС столбцами вниз. Используя точные металлические штифты, выровнять между собой прецизионные отверстия на рабочей поверхности ВС и на печатных платах. Включить вакуумный насос и присосать печатные платы к рабочей поверхности ВС;</p>	
			<p>8. Сделать то же самое на втором ВС;</p>	
			<p>9. Во избежание попадания клея на рабочую поверхность ВС, наклеить на края печатных плат изоляционную ленту;</p>	
			<p>10. Нанести на поверхности печатных плат равномерный слой эпоксидного клея Araldite 2011;</p>	
			<p>11. Используя соответствующие отверстия и вставки, положить алюминиевые профили на края печатных плат;</p>	
			<p>12. Вставить алюминиевую сотовидную решетку;</p>	
			<p>13. Нанести тонкий равномерный слой клея на верхние поверхности алюминиевых профилей;</p>	
			<p>14. Перевернуть и положить второй ВС на первый. Для выравнивания использовать специальные отверстия на ВС и прецизионные штифты. Для задания расстояния между ВС использовать точные регулировочные прокладки;</p>	
			<p>15. Через 24 часа после склейки отключить вакуум и снять готовую панель;</p>	
			<p>16. Визуально проверить наличие клея на рабочих поверхностях считывающих плоскостей.</p>	
Дубл.	Взам.	Подп.	ТИ	

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

на разработку стенда для проверки тонкоззорных мюонных камер.

1 Основание для проведения

Работа выполняется в рамках ПНИЭР по теме: «Создание сверхбыстродействующих радиационно-стойких компонентов супердетектора новых тяжелых частиц АТЛАС Большого адронного коллайдера ЦЕРН для экспериментальных исследований рождения и распада частиц».

2 Исполнитель

Лаборатория адронной физики Отделения физики высоких энергий ФГБУ «ПИАФ»

3 Цель выполнения

Разработка стенда (далее Стенд), предназначенного для высоковольтных испытаний собранных модулей тонкоззорных мюонных камер.

4 Назначение продукции

Собранный модуль тонкоззорных мюонных камер (ТЗК) состоит из четырёх независимых камер, каждая из которых состоит из двух катодных плоскостей с нанесённым на них слоем графита и анодной плоскости, состоящей из золочёных вольфрамовых проволок. В рабочем режиме на анод подаётся высокое напряжение 2.9 кВ. Стенд предназначен высоковольтных испытаний собранных модулей ТЗК.

5 Технические требования**5.1 Состав продукции**

В состав разрабатываемого Стенда должны входить:

- 1) Установка смешивания, предназначенный для смешивания компонент рабочей газовой смеси;
- 2) Система подачи высокого напряжения;
- 3) Станция закрепления модулей с системой раздачи газа и высокого напряжения на каждый модуль;
- 4) система управления и контроля;
- 5) эксплуатационная документация.

5.2 Требования к показателям назначения**5.2.1 Выполняемые функции**

Разрабатываемая Стенд должен обеспечивать:

- 1) подготовку рабочей газовой смеси;
- 2) подачу рабочей газовой смеси и высокого напряжения одновременно в несколько камер (от 1 до 10);
- 3) контроль за потоком газа и высоким напряжением.

5.2.2 Нормы и количественные показатели

5.2.2.1 Система управления и контроля предназначена для контроля за системой подачи газа и системой подачи высокого напряжения.

5.2.3 Технические характеристики (параметры)

5.2.3.1 Состав рабочей газовой смеси $n\text{-C}_5\text{H}_{12}/\text{CO}_2$ - 45/55% ;

5.2.3.2 Регулировка расхода газа в пределах 0 – 50 л/час

5.2.3.3 Высокое напряжение 2.9 кВ

5.2.3.4 Одновременное подключение до 10 модулей ТЗК по газу и до 6 модулей по высокому напряжению.

5.2.4 Требования к порядку и способам взаимодействия с сопрягаемыми объектами

5.2.4.1 Технические средства разрабатываемого Стенда должны содержать стандартные интерфейсы, обеспечивающие интеграцию с персональным компьютером.

5.2.5 Требования к совместимости

Разрабатываемый Стенд должен быть совместим с аналогичными системами разработанными для тестирования тонкоззорных камер и используемых в зарубежных институтах и университетах участвующих в создании мюонных камер данного типа.

5.2.6 Требования по мобильности

Разрабатываемый Стенд должен быть выполнен в стационарном исполнении.

5.3 Требования к электропитанию

5.3.1 Электропитание разрабатываемого Стенда должно осуществляться от 3-фазной электросети 50 Гц 380/220 В $\pm 5\%$ (220В (+10%, -15%), 50Гц ($\pm 5\%$) в соответствии с ГОСТ 13109-88).

5.4 Требования надежности

5.4.1 Требования по безотказности

- 1) вероятность безотказной работы 0,95, не менее;
- 2) средняя наработка на отказ 10 часов, не менее;
- 3) среднее время восстановления 1 час, не более;

5.4.2 Требования по долговечности

Разрабатываемый Стенд должен удовлетворять следующим требованиям:

- 1) ресурс между средними (капитальными) ремонтами 2 года, не менее;
- 2) ресурс до списания 1000 час., не менее;
- 4) срок службы до списания 8 лет, не менее;

5.4.3 Требования по сохраняемости

Разрабатываемый Стенд должен удовлетворять следующему требованию:

- срок сохраняемости 4 года, не менее.

5.4.4 Критерии отказов и предельного состояния изделия

5.4.4.1 Отказом разрабатываемого Стенда считают прекращение выполнения Стендом функций, заданных требованиями п.5.2.1 настоящего технического задания;

5.4.4.2 Предельным состоянием разрабатываемого Стенда считают:

- 1) отказ одной или нескольких составных частей Устройства, восстановление или замена которых на месте эксплуатации не предусмотрена эксплуатационной документацией и должна выполняться в ремонтных органах;
- 2) снижение наработки на отказ ниже уровня; установленного требованиями п. 5.4.1 настоящего технического задания
- 3) превышение установленного уровня текущих (суммарных) затрат на техническое обслуживание и ремонты, определяющее экономическую нецелесообразность дальнейшей

эксплуатации.

5.4.5 Подтверждение требований п.п. 5.4.1...5.4.4 настоящего технического задания проводится:

- 1) расчетным методом в соответствии с ГОСТ 27.301-95 - на этапе разработки изделия и этапе предварительных испытаний;
- 2) экспериментальным (расчётно-экспериментальным) методом по методике, согласованной с Заказчиком - на этапе приёмочных испытаний.

5.5 Конструктивные требования

5.5.1 Конструктивное исполнение входящих в разрабатываемый Стенд узлов, должно обеспечивать:

- 1) удобство эксплуатации;
- 2) возможность ремонта;
- 3) свободный доступ ко всем элементам, узлам и блокам, требующим регулирования или замены в процессе эксплуатации.

5.5.2 Разрабатываемый Стенд должен иметь блочно-модульную конструкцию.

5.5.3 Разрабатываемый Стенд должен соответствовать следующим требованиям:

5.5.3.1 Отвечать всем требованиям пожарной безопасности.

5.5.4 Все части Стенда, вступающие в контакт с реагентами и растворителями, должны быть изготовлены из коррозионно-стойких материалов или защищены коррозионно-стойкими покрытиями по ГОСТ 9.301-86"

5.5.5 Покрытия должны обеспечивать необходимую коррозионную стойкость, надежную работу и декоративный вид разрабатываемого Изделия при эксплуатации и при хранении.

5.5.6 Технические требования к металлическим и неметаллическим неорганическим покрытиям - по ГОСТ 9.301-78.

5.5.7 Требования к лакокрасочным покрытиям по внешнему виду - по ГОСТ 9.032-74.

5.5.8 Внешние электрические соединители (разъемы) должны иметь маркировку, позволяющую определить те части разъемов, которые подлежат соединению между собой. Ответные части одного и того же разъема должны иметь одинаковую маркировку. Маркировка должна наноситься на корпусах ответных частей разъемов на видном месте.

5.6 Требования по эргономике и технической эстетике

5.6.1 Все средства отображения информации, органы управления и внутреннего контроля разрабатываемого Стенда должны быть скомпонованы на лицевых панелях пультов управления в соответствии с требованиями к информационным моделям по ГОСТ 20.39.108.

5.6.2 Кодирование и компоновка средств отображения информации, органов управления на пультах управления, цветовое оформление лицевых панелей пультов разрабатываемого Стенда должны обеспечивать безошибочность и быстроедействие операторов, удобство и безопасность работы в любое время суток.

5.6.3 По эргономике и технической эстетике разрабатываемое Стенд должен соответствовать требованиям ГОСТ 20.39.108

5.7 Требования к эксплуатации, удобству технического обслуживания и ремонта

5.7.1 Требования к стойкости к внешним воздействующим факторам

5.7.1.1 Разрабатываемый Стенд должен соответствовать группе климатического исполнения УХЛ по ГОСТ 15150-69.

5.7.1.2 Разрабатываемый Стенд должен соответствовать группе механического исполнения М21 по ГОСТ 30631-99.

5.7.2 Требования к эксплуатационным показателям

5.7.2.1 Разрабатываемый Стенд должен обслуживаться одним человеком со средне-техническим образованием.

5.7.2.2 Разрабатываемый Стенд должен функционировать в следующих режимах:

- 1) основной – полное функционирование Стенда;
- 2) аварийный – автоматический безопасный останов функционирования.

5.7.2.3 Разрабатываемый Стенд должен обеспечивать циклическую работу со следующими параметрами цикла: время подготовки – не более 2 часов, время непрерывной работы - не менее 1-ой недели.

5.7.2.4 Должна быть обеспечена аварийная остановка разрабатываемого Стенда при возникновении следующих ситуаций:

- 1) несанкционированное отключение питания;
- 2) отсутствия газа в системе.

5.7.2.5 Периодическое техническое обслуживание разрабатываемого Стенда должно проводиться не реже одного раза в год.

5.7.2.6 Периодическое техническое обслуживание должно включать в себя обслуживание всех составных частей Стенда.

5.7.2.7 К обслуживанию Стенда должны допускаться лица, имеющие квалификационную группу по технике безопасности не ниже третьей и имеющие допуск к работе с электроустановками напряжением свыше 1000 В.

5.7.2.8 Гарантийный срок разрабатываемого Стенда должен составлять 5 лет, не менее.

5.7.3 Требования по ремонтпригодности

5.7.3.1 Требования к ремонтпригодности прибора – по РД 50-707.

5.7.3.2 Обслуживание и ремонт разрабатываемого Стенда должны производиться без применения специальных инструментов

5.8 Требования безопасности

5.8.1 Технические средства разрабатываемого Стенда по требованиям защиты человека от поражений электрическим током должны относиться к классу 1 и должны быть выполнены в соответствии с ГОСТ 12.2.007-0-75.

5.8.2 Разрабатываемый Стенд при монтаже, наладке, обслуживании и ремонте должен соответствовать общим требованиям безопасности по ГОСТ 12.2.003-74 и ГОСТ 12.3.002-75.

5.8.3 Условия работы персонала разрабатываемого Стенда должны соответствовать санитарным нормам по СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.

5.8.5 Уровни шума и звуковой мощности в местах расположения персонала не должны превышать значений, установленных ГОСТ 12.1.003 и санитарными нормами.

5.8.6 Требования безопасности при монтаже, наладке, эксплуатации, обслуживании и ремонте разрабатываемого Стенда должны быть приведены в эксплуатационной

документации.

6 Требования по видам обеспечения

6.1 Требования по программному обеспечению

6.2.1 Для разрабатываемого Стенда должна быть разработана управляющая программа.

Разработал научный сотрудник



В.П. Малеев

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

на разработку стенда для испытаний сцинтилляционных счетчиков для «горячих зон».

1. Основание для проведения.

Работа выполняется в рамках ПНИЭР по теме: «Создание сверхбыстродействующих радиационно-стойких компонентов супердетектора новых тяжелых частиц АТЛАС Большого адронного коллайдера ЦЕРН для экспериментальных исследований рождения и распада частиц».

2. Исполнитель.

Отделение экспериментальной физики ФГБУ ГНЦ ИФВЭ.

3. Цель выполнения.

Обеспечение проверки оптических свойств сцинтилляционных пластин, входящих в состав сцинтилляционных счетчиков для «горячих зон».

4. Назначение продукции.

Сцинтилляционные счетчики для «горячих зон» работают в условиях повышенной радиационной загрузки. Применение радиационно стойкого сцинтиллятора позволит увеличить срок службы сцинтилляционных счетчиков. Разрабатываемый стенд предназначен для автоматизированного измерения оптических свойств (световыхода и длины затухания) сцинтилляционных пластин, входящих в состав счетчиков.

5. Технические требования.**5.1. Состав продукции.**

В состав разрабатываемого стенда должны входить:

- 5.1.1. светонепроницаемый короб с открывающейся крышкой;
- 5.1.2. каретка, способная перемещаться в двух направлениях, на которой устанавливается бета источник;
- 5.1.3. фотоэлектронный умножитель (ФЭУ) с делителем напряжения;
- 5.1.4. блоки высоковольтного и низковольтного питания ФЭУ с делителем;
- 5.1.5. система сбора измеряемых данных (отклик с ФЭУ, высокое напряжение, координаты каретки с радиоактивным источником);
- 5.1.6. система перемещения и измерения положения каретки;
- 5.1.7. система управления перемещением каретки;
- 5.1.8. прецизионный вольтметр;
- 5.1.9. управляющий компьютер;
- 5.1.10. эксплуатационная документация;
- 5.1.11. программное обеспечение.

5.2. Требования к показателям назначения.**5.2.1. Выполняемые функции.**

Разрабатываемый стенд должен обеспечивать:

- 5.2.1.1. измерение отклика со сцинтилляционной пластины при возбуждении ее радиоактивным источником;
- 5.2.1.2. измерение высокого напряжения на ФЭУ;

- 5.2.1.3. измерение текущих координат положения радиоактивного источника;
- 5.2.1.4. передачу измеряемых данных в управляющий компьютер;
- 5.2.1.5. управление перемещением радиоактивного источника по заданному набору координат;
- 5.2.1.6. воспроизводимость движения радиоактивного источника по заданному набору координат;
- 5.2.2. Нормы и количественные показатели.
 - 5.2.2.1. Контейнер с радиоактивным источником должен иметь два состояния: открытое и закрытое.
 - 5.2.2.2. Скорость вращения шаговых двигателей должна обеспечивать перемещение источника из угла в угол в течение нескольких секунд.
 - 5.2.2.3. По окончании сканирования каретка с источником должна возвращаться в исходное положение.
- 5.2.3. Технические характеристики (параметры).
 - 5.2.3.1. Габариты измеряемых сцинтилляционных пластин до 500×300×10 куб. мм.
 - 5.2.3.2. Область перемещения каретки не менее 500×300 кв. мм.
 - 5.2.3.3. Минимальный шаг перемещения каретки в обоих направлениях не хуже 0.5 мм.
 - 5.2.3.4. Точность измерения отклика со сцинтиллятора не хуже 1 мВ.
 - 5.2.3.5. Точность измерения высокого напряжения не хуже 0.1 В.
- 5.2.4. Требования к порядку и способам взаимодействия с сопрягаемыми объектами.
 - 5.2.4.1. Технические средства разрабатываемого стенда должны содержать стандартные интерфейсы для интеграции с персональным компьютером.
- 5.2.5. Требования к совместимости.
- 5.2.6. Требования по мобильности.

Разрабатываемый стенд должен быть выполнен в стационарном исполнении.

5.3. Требования к электропитанию.

- 5.3.1. Электропитание разрабатываемого стенда должно осуществляться от однофазной сети 50 Гц 220 В ±5% в соответствии с ГОСТ 13109-88.

5.4. Требования надежности.

- 5.4.1. Требования по безотказности.
 - Вероятность безотказной работы 0.95Б не менее.
 - Средняя наработка на отказ 10 часов, не менее.
 - Среднее время восстановления 1 час, не более.
- 5.4.2. Требования по долговечности.
 - Ресурс между средними ремонтами 2 года, не менее.
 - Ресурс до списания 1000 час., не менее.
 - Срок службы до списания 8 лет, не менее.
- 5.4.3. Требования по сохраняемости.
 - Срок сохраняемости 4 года, не менее.
- 5.4.4. Критерии отказов и предельного состояния изделия.
 - 5.4.4.1. Отказом разрабатываемого стенда считают:

- Прекращения выполнения стендом функций, заданных требованиями п. 5.2.1 настоящего технического задания.
 - Снижение качества функционирования по производительности п. 5.2.2 и по точности п. 5.2.3 в пределы допустимого уровня.
- 5.4.4.2. Предельным состоянием разрабатываемого стенда считают:
- Отказ одной или нескольких составных частей стенда, восстановление или замена которых на месте эксплуатации не предусмотрена эксплуатационной документацией и должна выполняться в ремонтных органах.
 - Снижение наработки на отказ ниже уровня, установленного требованиями п. 5.4.1 настоящего технического задания.
 - Превышение установленного уровня текущих затрат на техническое обслуживание и ремонты, определяющее экономическую нецелесообразность дальнейшей эксплуатации.
- 5.4.5. Подтверждение требований п.п. 5.4.1...5.4.4. настоящего технического задания проводится:
- Расчетным методом в соответствии с ГОСТ 27.301-95 – на этапе разработки изделия и этапе предварительных испытаний.
 - Экспериментальным методом по методике, согласованной с заказчиком – на этапе приемочных испытаний.
- 5.5. Конструктивные требования.
- 5.5.1. Конструктивное исполнение входящих в разрабатываемый стенд систем, должно обеспечивать:
- Удобство эксплуатации.
 - Возможность ремонта.
 - Свободный доступ ко всем элементам, узлам и блокам, требующим регулирования или замены в процессе эксплуатации.
- 5.5.2. Разрабатываемый стенд должен иметь блочно-модульную конструкцию.
- 5.5.3. Разрабатываемый стенд должен соответствовать следующим требованиям:
- 5.5.3.1. Светонепроницаемый ящик:
- Габаритные размеры 1000×800×200 мм³, не более.
 - Масса 100 кг, не более.
- 5.5.3.2. Система перемещения каретки с радиоактивным источником:
- Габаритные размеры 900×700×100 куб. мм, не более.
 - Масса 15 кг, не более.
- 5.5.3.3. ФЭУ должен иметь максимальную спектральную чувствительность в зеленой области длин волн.
- 5.5.3.4. Внешние модули питания и управления должны быть промышленного изготовления.
- 5.5.3.5. Способ крепления – на лабораторном столе.
- 5.5.4. Все части стенда, вступающие в контакт с реагентами и растворителями, должны быть изготовлены из коррозионно-стойких материалов или защищены коррозионно-стойкими покрытиями по ГОСТ 9.301-86.

5.5.5. Покрытия должны обеспечивать необходимую коррозионную стойкость, надежную работу и декоративный вид разрабатываемого стенда при эксплуатации и при хранении.

5.5.6. Технические требования к металлическим и неметаллическим неорганическим покрытиям - по ГОСТ 9.301-78.

5.5.7. Требования к лакокрасочным покрытиям по внешнему виду - по ГОСТ 9.032-74.

5.5.8. Внешние электрические соединители (разъемы) должны иметь маркировку, позволяющую определить те части разъемов, которые подлежат соединению между собой. Ответные части одного и того же разъема должны иметь одинаковую маркировку. Маркировка должна наноситься на корпусах ответных частей разъемов на видном месте.

5.6. Требования по эргономике и технической эстетике.

5.6.1. Все средства отображения информации, органы управления и внутреннего контроля разрабатываемого стенда должны быть скомпонованы на лицевых панелях пультов управления в соответствии с требованиями к информационным моделям по ГОСТ 20.39.108.

5.6.2. Кодирование и компоновка средств отображения информации, органов управления на пультах управления, цветовое оформление лицевых панелей пультов разрабатываемого Устройства должны обеспечивать безошибочность и быстрдействие операторов, удобство и безопасность работы в любое время суток.

5.6.3. По эргономике и технической эстетике разрабатываемый стенд должен соответствовать требованиям ГОСТ 20.39.108.

5.7. Требования к эксплуатации, удобству технического обслуживания и ремонта.

5.7.1. Требования к стойкости к внешним воздействующим факторам.

5.7.1.1. Разрабатываемый стенд должен соответствовать группе климатического исполнения УХЛ по ГОСТ 15150-69.

5.7.1.2. Разрабатываемый стенд должен соответствовать группе механического исполнения М21 по ГОСТ 30631-99.

5.7.2. Требования к эксплуатационным показателям.

5.7.2.1. Разрабатываемый стенд должен обслуживаться одним человеком с высшим образованием.

5.7.2.2. Разрабатываемый стенд должен функционировать в следующих режимах:

- Основной – полное функционирование стенда.
- Аварийный – безопасный останов функционирования.

5.7.2.3. Разрабатываемый стенд должен обеспечивать циклическую работу со следующими параметрами цикла: установка сцинтилляционной пластины – 10 мин., сканирование сцинтилляционной пластины – 3 часа, снятие пластины – 10 мин.

5.7.2.4. Периодическое техническое обслуживание разрабатываемого стенда должно проводиться не реже одного раза в год.

5.7.2.5. Периодическое техническое обслуживание должно включать в себя обслуживание всех составных частей стенда.

5.7.2.6. К обслуживанию комплекса должны допускаться лица, имеющие квалификационную группу по технике безопасности не ниже третьей и имеющие допуск к работе с электроустановками напряжением выше 1000 В.

5.7.2.7. Гарантийный срок разрабатываемого Комплекса должен составлять 5 лет, не менее.

5.7.3. Требования по ремонтпригодности.

5.7.3.1. Требования к ремонтпригодности прибора – по РД 50-707.

5.7.3.2. Обслуживание и ремонт разрабатываемого Устройства должны производиться без применения специальных инструментов.

5.8. Требования безопасности.

5.8.1. Технические средства разрабатываемого Устройства по требованиям защиты человека от поражений электрическим током должны относиться к классу 1 и должны быть выполнены в соответствии с ГОСТ 12.2.007-0-75.

5.8.2. Разрабатываемое Устройство при монтаже, наладке, обслуживании и ремонте должен соответствовать общим требованиям безопасности по ГОСТ 12.2.003-74 и ГОСТ 12.3.002-75.

5.8.3. Условия работы персонала разрабатываемой Системы должны соответствовать санитарным нормам по СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.

5.8.4. Уровни шума и звуковой мощности в местах расположения персонала не должны превышать значений, установленных ГОСТ 12.1.003 и санитарными нормами.

5.8.5. Требования безопасности при монтаже, наладке, эксплуатации, обслуживании и ремонте разрабатываемого стенда должны быть приведены в эксплуатационной документации.

6. Требования по видам обеспечения.

6.1. Требования по программному обеспечению.

6.1.1. Для разрабатываемого стенда должна быть разработана управляющая программа.

6.1.2. Для разрабатываемого стенда должна быть разработана программа визуализации принимаемых данных.

Разработал ст. научный сотрудник ОЭФ

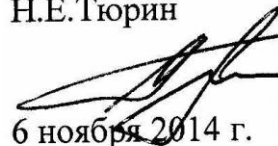


А.Н.Карюхин

УТВЕРЖДАЮ

Директор ФГБУ ГНЦ ИФЭ

Н.Е.Тюрин



6 ноября 2014 г.



**ПРОГРАММА И МЕТОДИКА
СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ**

лабораторных образцов модулей управления помпами, клапанами и связи с периферийным оборудованием цезиевой системы калибровки адронного калориметра АТЛАС.

Главный конструктор



А.Н.Исаев

Условные обозначения и сокращения, принятые в тексте

Canbus	от английского «Controller Area Network» - сеть контроллеров-стандарт промышленной сети, ориентированный на объединение в единую сеть различных исполнительных устройств и датчиков. Режим передачи - последовательный, широкополосный, пакетный.
USB	от английского «Universal Serial Bus» - универсальная последовательная шина- последовательный интерфейс передачи данных для среднескоростных и низкоскоростных периферийных устройств в вычислительной технике.
Ethernet	от английского «ether» - «эфир»- семейство технологий пакетной передачи данных для компьютерных сетей.

1 Общие положения

- 1.1 Наименование и обозначение лабораторных образцов продукции (далее – объекты испытаний):
 - Модуль управления помпами (3U-Pump);
 - Модуль управления клапанами (3U-Pump);
 - Модуль связи с периферийным оборудованием (3U-ETH).
- 1.2 Цель испытаний:
 - проверка соответствия работы объектов испытания техническим требованиям стандартов Canbus, USB, Ethernet;
 - определения готовности объекта испытаний к испытаниям в составе установки АТЛАС.
- 1.3 Условия предъявления объектов испытаний на испытания:
 - завершение изготовления модулей.
- 1.3.1 Испытания проводятся на 9 объектах испытаний (по 3 шт. каждого типа).
- 1.3.2 Порядок отбора объектов испытаний:
 - произвольный.
- 1.3.3 Объект испытаний предъявляется на испытания в следующей комплектности:
 - объект испытаний;
 - настоящая ПМ;
 - нормативная документация, указанная в ПМ;
 - акт изготовления объектов испытаний;

2 Общие требования к условиям, обеспечению и проведению испытаний

- 2.1 Место проведения испытаний
Испытания проводятся на базе Федерального государственного бюджетного учреждения «Государственный научный центр Российской Федерации – Институт физики высоких энергий» (ФГБУ ГНЦ ИФВЭ).
- 2.2 Требования к средствам проведения испытаний
К средствам проведения испытаний относятся блочный каркас в стандарте

Евромеханика 3U, персональный компьютер, 8 клапанов, помпа и источник питания $\pm 5\text{В}$, $\pm 12\text{В}$, $+24\text{В}$. Все указанные средства являются промышленными образцами и соответствуют требованиям соответствующих ТУ.

2.3 Требования к условиям проведения испытаний

Испытания должны проводиться в нормальных климатических условиях:

- температура окружающего воздуха, $^{\circ}\text{C}$ - 20 ± 10 ;
- относительная влажность воздуха, % - от 45 до 80;
- атмосферное давление, мм рт. ст. - от 630 до 800.

2.4 Требования к подготовке объекта испытаний:

Наработка объекта испытаний перед началом испытаний должна составлять 1 час.

2.5 Требования к обслуживанию объекта испытаний в процессе испытаний:

- не требуется.

2.6 Требования к порядку работы на объекте испытаний по завершении испытаний:

- выключить электропитание модуля и всех элементов стенда.

2.7 Требования к персоналу, осуществляющему подготовку к испытаниям и испытания

К проведению испытаний допускается персонал, прошедший обучение и (при необходимости) аттестацию, изучивший эксплуатационную документацию объекта испытаний, подготовленный в соответствии с «Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей» и «Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей» и имеющий степень аттестации по электробезопасности не ниже III-ей группы

При проведении работ при проверке и испытаниях персонал обязан соблюдать правила техники безопасности согласно «Правилам технической эксплуатации электроустановок потребителей» и «Правилам техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей»

Порядок обучения и аттестации персонала, участвующего в испытаниях, должен удовлетворять требованиям, принятым в ФГБУ ГНЦ ИФВЭ.

3 Требования безопасности

При подготовке и проведении испытаний необходимо соблюдать правила технической эксплуатации электроустановок напряжением до 220 В.

4 Программа испытаний

Испытательный стенд включает персональный компьютер, блочный каркас в стандарте Евромеханика 3U, 8 клапанов, помпа и источник питания $\pm 5\text{В}$, $\pm 12\text{В}$ и $+24\text{В}$.

В каркасе размещаются модуль связи 3U-ETH, модуль управления клапанами 3U-Valve и модуль управления помпой 3U-Pump. Связь компьютера с модулем связи осуществляется по каналу Ethernet или USB, а модуля связи с модулями управления по каналу CANbus.

Проверка модулей управления клапанами осуществляется в автоматическом режиме. От компьютера через модуль связи 3U-ETH по кроссу блочного каркаса передаются команды на открытие и закрытие одного или группы клапанов из общего количества 8 штук в модуль управления клапанами 3U-Valve. Вначале подается команда на открытие клапанов, затем команда на чтение правильности записи команды и после этого программой проверяется правильность исполнения команды. Производится многократное открытие и закрытие от одного до 8 клапанов в различных комбинациях (варьируется число и номера клапанов в группе) в течение 30 минут для каждого модуля управления клапанами 3U-Valve.

Проверка правильности работы модуля управления помпой 3U-Pump осуществляется в двух режимах - ручном и автоматическом. В ручном режиме проверка модуля управления помпой проводится с помощью тумблера включения-выключения помпы, тумблера смены направления движения жидкости и переменного резистора (определяющего скорость движения жидкости), расположенных на передней панели модуля. Аналогичная проверка проводится в автоматическом режиме с помощью соответствующих команд от компьютера.

При отсутствии ошибок в течение всего времени испытаний модули считаются пригодными к работе.

Испытания прекращаются в случаях:

- невыполнения команд модулями управления и связи;
- возникновения аварийных ситуаций;

7 Отчётность

7.1 По результатам испытаний в течение 3 дней комиссией составляется протокол испытаний.

Протокол испытаний должен содержать:

- оценку результатов испытаний;
- выводы по результатам испытаний;
- заключение о возможности проведения испытаний модулей в составе установки АТЛАС.

ПРОТОКОЛ

испытания образцов модулей управления клапанами и связи системы калибровки адронного калориметра АТЛАС

№ 1 от 10 ноября 2014 г.

- 1. Объект испытания:** лабораторные образцы модулей управления клапанами и связи с периферийным оборудованием в количестве 3 шт. каждого типа.
- 2. Цель испытания:** проверка соответствия работы объектов испытания техническим требованиям стандартов Canbus, USB, Ethernet в соответствии с программой и методикой стендовых испытаний от 06 ноября 2014 г.
- 3. Дата начала испытания:** 06 ноября 2014 г.
- 4. Дата окончания испытания:** 07 ноября 2014 г.
- 5. Место проведения испытания:** ФГБУ ГНЦ ИФВЭ

6. Средства проведения испытаний

Испытательный стенд включает персональный компьютер, блочный каркас стандарта Евромеханика 3U, 8 клапанов и источник питания $\pm 5V$, $\pm 12V$ и $+24V$.

7. Результаты испытания

Испытания показали соответствие работы лабораторных образцов модулей управления клапанами и связи с периферийным оборудованием условиям функционирования цезиевой системы калибровки сцинтилляционного калориметра, а именно лабораторные образцы модулей управления и связи выполняют все требуемые команды. Связь по протоколам стандартов Canbus, USB, Ethernet проходила без сбоев.


8 Замечания и рекомендации


Замечаний нет


9 Выводы

- 9.1 Лабораторные образцы модулей управления выдержали испытание.
- 9.2 Лабораторные образцы модулей связи соответствуют техническим требованиям протоколов стандартов Canbus, USB, Ethernet.
- 9.3 Испытанные модули пригодны для испытаний в составе установки АТЛАС.

Испытание проводили

Главный научный сотрудник  В.А.Сенько

Ведущий научный сотрудник  В.И.Якимчук

Старший научный сотрудник  Н.А.Шаланда



 А.М.Зайцев

ПРОТОКОЛ

испытания образцов модулей управления помпами и связи системы калибровки адронного калориметра АТЛАС

№ 2 от 10 ноября 2014 г.

- 1. Объект испытания:** лабораторные образцы модулей управления помпами и связи с периферийным оборудованием в количестве по 3шт. каждого типа.
- 2. Цель испытания:** проверка соответствия работы объектов испытания техническим требованиям стандартов Canbus, USB, Ethernet в соответствии с программой и методикой стендовых испытаний от 06 ноября 2014 г.
- 3. Дата начала испытания:** 06 ноября 2014 г.
- 4. Дата окончания испытания:** 07 ноября 2014 г.
- 5. Место проведения испытания:** ФГБУ ГНЦ ИФВЭ
- 6. Средства проведения испытаний**

Испытательный стенд включающий персональный компьютер, блочный каркас стандарта Евромеханика 3U, помпу и источник питания $\pm 5V$, $\pm 12V$ и $+24V$.

7. Результаты испытания

Испытания показали соответствие работы лабораторных образцов модулей управления помпами и связи с периферийным оборудованием условиям функционирования цезиевой системы калибровки сцинтилляционного калориметра, а именно лабораторные образцы модулей управления и связи выполняют все требуемые команды. Связь по протоколам стандартов Canbus, USB, Ethernet проходила без сбоев.

8 Замечания и рекомендации

Замечаний нет

9 Выводы

- 9.1 Лабораторные образцы модулей управления выдержали испытание.
- 9.2 Лабораторные образцы модулей связи соответствуют техническим требованиям протоколов стандартов Canbus, USB, Ethernet.
- 9.3 Испытанные модули пригодны для испытаний в составе установки АТЛАС.

Испытание проводили

Главный научный сотрудник

В.А.Сенько

Ведущий научный сотрудник

В.И.Якимчук

Старший научный сотрудник

Н.А.Шаланда