

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

№ госрегистрации 114111740013

УТВЕРЖДАЮ

Директор ФГБУ ГНЦ ИФВЭ

д-р физ.-мат. наук, проф.

29.06.2015

<М>



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

по теме

ОБОСНОВАНИЕ И ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ ВАРИАНТОВ РЕШЕНИЙ ДЛЯ
СОЗДАНИЯ КОМПОНЕНТОВ УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫХ ДЕТЕКТОРНЫХ
УСТРОЙСТВ СУПЕРДЕТЕКТОРА АТЛАС, РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ
ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ ДЕТЕКТОРНЫХ УСТРОЙСТВ, СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБОРУДОВАНИЯ И ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ СТЕНДОВ, ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ
К ЛАБОРАТОРНЫМ ОБРАЗЦАМ КОМПОНЕНТОВ УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫХ
ДЕТЕКТОРНЫХ УСТРОЙСТВ

(промежуточный)

Этап 2

ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям
развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы»

Соглашение о предоставлении субсидии с Минобрнауки России
от 20.10.2014 № 14.610.21.0005 с дополнительным соглашением № 1 от 25.05.2015 г.

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














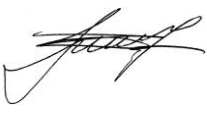


A handwritten signature in blue ink, consisting of several stylized, overlapping strokes.




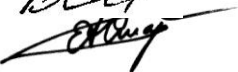
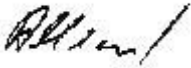








подпись, дата 29.06.2015

А.М.Зайцев

Протвино, 2015

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: ()</p>
<p>Инж.-конструктор</p>		<p>В.П.Малеев ФГБУ ПИЯФ</p>	<p>Разделы: ()</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: ()</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>С.К.Патричев ФГБУ ПИЯФ</p>	<p>Разделы: ()</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: ()</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>Г.А.Шелков ОИЯИ</p>	<p>Разделы: ()</p>
<p>Вед. научн. сотрудник кандидат физ.-мат. наук, ст. научн. сотрудник Руководитель группы кандидат физ.-мат. наук, ст. научн. сотрудник</p>		<p>А.Л.Гонгадзе ОИЯИ</p>	<p>Разделы: ()</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>С.П.Денисов ФБГУ ГНЦ ИФВЭ</p>	<p>Разделы: ()</p>
<p>Мл. научн. сотрудник</p>		<p>А.В.Козелов ФБГУ ГНЦ ИФВЭ</p>	<p>Разделы: ()</p>
<p>Мл. научн. сотрудник</p>		<p>А.С.Романюк</p>	<p>Разделы: ()</p>
<p>Мл. научн. сотрудник</p>		<p>С.Ю.Смирнов</p>	<p>Разделы: ()</p>
<p>Мл. научн. сотрудник</p>		<p>Р.М.Фахрутдинов ФБГУ ГНЦ ИФВЭ</p>	<p>Разделы: ()</p>
<p>Мл. научн. сотрудник</p>		<p>А.С.Кожин ФБГУ ГНЦ ИФВЭ</p>	<p>Разделы: ()</p>
<p>Мл. научн. сотрудник</p>		<p>И.С.Плотников ФБГУ ГНЦ ИФВЭ</p>	<p>Разделы: ()</p>

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

РЕФЕРАТ

Отчет 124 стр., 45 рис., 5 таблиц, 9 источников, 11 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 детекторов 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.

Разработана и изготовлена оснастка и инструменты, необходимые для сборки мюонных камер для новых малых колёс установки АТЛАС

Разработка стенды для контроля и измерения параметров камер НМК и сцинтилляционных счетчиков горячих зон.

Выбран рабочий вариант дрейфовой трубки малого диаметра (ДТМ), изготовлены экспериментальные образцы и исследованы их характеристики.

Осуществлён выбор вариантов миникалориметра, удовлетворяющих требованиям эксперимента АТЛАС по энергетическому и временному разрешениям и радиационной стойкости.

Проведено моделирование выбранных вариантов миникалориметра методом Монте-Карло.

Изготовлены лабораторные образцы сцинтиллятора для горячих зон размерами $500 \times 250 \times 6$ мм³ по технологии, обеспечивающей большую радиационную стойкость в сравнении со стандартными методами.

Для цезиевой системе калибровки сцинтилляционного калориметра (ЦКСК) выполнена коррекция имеющегося прототипа гаражного модуля ЦКСК, а также изготовление, настройка и проверка работы двух лабораторных образцов модулей. Изготовлены, настроены и проверены 3- типа плат для уровнемера гидравлики системы калибровки калориметра, а также лабораторные образцы модулей управления помпами и клапанами

Выполнена разработка оптимального алгоритма распаковки входных данных ЖАК в модуле декодера с последующей конвейерной обработкой данных. Проведено моделирование работы декодера ЖАК

Разработаны принципиальные схемы предварительных формирователей сигналов жидкоаргоновых калориметров.

Выполнена доработка облучательной установки на реакторе ИБР-2М ОИЯИ для обеспечения исследований радиационной стойкости элементов разрабатываемых детекторов, предназначенных для работы при повышенной светимости БАК.

Разработана спецификации на оборудование для проверки кабелей ЖАК и методика тестирования оптических кабелей.

В ходе работ по модернизации специального программного обеспечения выполнена разработка программного обеспечения для оперативного детектирования «холодных» областей в триггерных каналах ЖАК, проведен перевод различных компонентов программного обеспечения реконструкции данных внутреннего детектора и других программ на новую, более быструю математическую библиотеку

Оптимизированы критерии отбора событий для поиска новой физики в процессах парного образования калибровочных бозонов.

Модифицированы алгоритмы двухмюонного триггера высокого уровня для приведения их в соответствие с новой моделью хранения трековых данных и обеспечения работы с использованием новой библиотеки линейной алгебры.

Модернизирован алгоритм поиска тяжёлого бозона Хиггса.

СОДЕРЖАНИЕ

	Определения, обозначения и сокращения	9
	Введение	10
	Основная часть	12
1	ПНИЭР в обеспечение изготовления новых малых колёс	12
1.1	Разработка оснастки, необходимой для сборки ТЗК	12
1.2	Разработка и изготовление механических и оптических инструментов для прецизионной сборки квадруплетов на основе МИК;.....	18
2	Разработка стендов для контроля камер НМК и сцинтилляционных счетчиков.....	22
2.1	Стенд проверки ТЗК.....	22
2.2	Стенд проверки МИК.....	23
2.3	Стенда контроля камер на основе РС.....	26
2.4	Стенд испытаний сцинтилляционных счетчиков для «горячих зон» СЦС.....	31
3	Выбор рабочего варианта дрейфовой трубки малого диаметра (ДТМ), изготовление экспериментальных образцов и исследование их характеристик	33
4	Работы по переднему миникалориметру.....	38
4.1	Выбор вариантов миникалориметра, удовлетворяющих требованиям эксперимента АТЛАС по энергетическому и временному разрешениям и радиационной стойкости и обсуждение их с Сотрудничеством АТЛАС.....	38
4.2	Проведение моделирования выбранных вариантов миникалориметра методом Монте Карло.....	38
5	Изготовление лабораторных образцов сцинтиллятора для горячих зон размерами 500×250×6 мм ³ по технологии, обеспечивающей большую радиационную стойкость в сравнении со стандартными методами.....	42
6	Работы по цезиевой системе калибровки сцинтилляционного калориметра (ЦКСК)	44
6.1	Коррекция имеющегося прототипа гаражного модуля ЦКСК, изготовление, настройка и проверка работы двух лабораторных образцов модулей.....	44
6.2	Изготовление, настройка и проверка работы 3-х типов плат для уровнемера ЦКСК.....	44
6.3	Изготовление лабораторных образцов модулей управления помпами и управления клапанами ЦКСК.....	46
7	Работы по жидкоаргоновому калориметру.....	47
7.1	Разработка оптимального алгоритма распаковки входных данных ЖАК в модуле декодера с последующей конвейерной обработкой данных.....	47
7.2	Моделирование работы декодера ЖАК.....	50

7.3	Разработка принципиальных схем предварительных формирователей сигналов жидкоаргоновых калориметров.....	52
8	Доработка облучательной установки на реакторе ИБР-2М ОИЯИ для обеспечения исследований радиационной стойкости элементов разрабатываемых детекторов, предназначенных для работы при повышенной светимости БАК.....	54
9	Работы по оптическим кабелям ЖАК	59
9.1	Разработка спецификации на оборудование для проверки кабелей ЖАК (блоков расширения к рефлектометру).....	59
9.2	Отработка методики тестирования оптических кабелей ЖАК.....	60
10	Работы по модернизации специального программного обеспечения.....	68
10.1	Разработка программного обеспечения для оперативного детектирования «холодных» областей в триггерных каналах ЖАК.....	68
10.2	Перевод различных компонентов программного обеспечения реконструкции данных внутреннего детектора на новую, более быструю математическую библиотеку.....	71
10.3	Оптимизация критериев отбора событий для поиска новой физики в процессах парного образования калибровочных бозонов.....	71
10.4	Модификация алгоритмов двухмюонного триггера высокого уровня для приведения их в соответствие с новой моделью хранения трековых данных и обеспечения работы с использованием новой библиотеки линейной алгебры..	72
10.5	Модернизация алгоритма поиска тяжёлого бозона Хиггса (ТБХ)	74
	Заключение	79
	Список использованных источников	81
	Приложение 1. Конструкторская документация на специальное оборудование для сборки ТЗК.....	82
	Приложение 2. Акт изготовления специального оборудования для сборки ТЗК.....	104
	Приложение 3. Техническое задание на инструменты для сборки квадруплетов на основе МИК.....	105
	Приложение 4. Акт изготовления инструментов для сборки квадруплетов на основе МИК.....	106
	Приложение 5. Рабочий проект стенда контроля камер на основе рентгеновского сканера	107
	Приложение 6 Рабочий проект стенда испытаний сцинтилляционных счётчиков для горячих зон	109
	Приложение 7. Акт изготовления лабораторных образцов ДТМ.....	116
	Приложение 8. Акт изготовления лабораторных образцов сцинтиллятора для горячих зон.....	117

Приложение 9. АКТ изготовления лабораторных образцов модулей и плат электроники цезиевой системы калибровки сцинтилляционного калориметра АТЛАС	118
Приложение 10. Принципиальные схемы и требования к электрическим характеристикам усилителей и предварительных формирователей ЖАК	119
Приложение 11. Базовое руководство для операторов и расширенное руководство для экспертов ЕСАL группы по пакетам VTR и ВСН	123

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

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

АТЛАС	A Toroidal LHC Apparatus – Тороидальный детектор на БАК
Адроны	(от др.-греч. ἄδρῶς «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.
ЦАП	Цифро-аналоговый 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 и дополнение №1 к нему от 25.05.2015.

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 работ по модернизации детекторов ведётся так, чтобы монтажные работы на установке могли быть осуществлены в сроки, предусмотренные графиками работ при плановых остановках ускорителя. Поэтому название подотчётного этапа – «Обоснование и выбор оптимальных вариантов решений для создания компонентов усовершенствованных детекторных устройств супердетектора атлас, разработка технологий изготовления компонентов детекторных устройств, специального оборудования и испытательных стендов, обоснование требований к лабораторным образцам компонентов усовершенствованных детекторных устройств» 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 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 представлен в нашем отчёте за 2014 г.

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 и программного обеспечения 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 ПНИЭР в обеспечение изготовления новых малых колёс:

Модернизация мюонного спектрометра АТЛАС и его составной части – новых малых колёс (НМК) важна, как для поиска явлений новой физики, так и для прецизионных измерений. Мюонная триггерная система особенно важна для подавления фона и улучшения разрешения. Её модернизация позволит мюонному спектрометру установки АТЛАС работать при рекордно достижимых светимостях Большого адронного коллайдера $3\div 5 \times 10^{34} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$, сохраняя низкие пороги по поперечному импульсу одиночных изолированных мюонов для мюонного триггера 1-го уровня. Работы по НМК ведутся в соответствии с техническим проектом [1].

В частности, необходимо разработать и создать новые тонкоззорные камеры (ТЗК) для переднего мюонного спектрометра детектора АТЛАС. Новые мюонные камеры должны работать в условиях высоких фоновых загрузок, ожидаемых при повышении светимости ускорителя БАК, обеспечивая высокое пространственное разрешение и приемлемую скорость счета мюонного триггера 1-го уровня при сохранении низких порогов по поперечному импульсу одиночных изолированных мюонов. Это позволит эксперименту АТЛАС проводить высокоточные измерения свойств бозона Хиггса, например, констант связи бозона Хиггса с фермионами и бозонами стандартной модели (СМ), используя мюоны с низкими поперечными импульсами, после повышения светимости БАК.

Проблему повышенной загрузки должно решить внедрение новой технологии – микроячеистых камер (МИК), которые обеспечат достаточное пространственное разрешение и высокую скорость счета в модернизированном мюонном спектрометре [1].

1.1 Разработка оснастки, необходимой для сборки ТЗК

Для сборки мюонных ТЗК камер необходимо разработать и создать специализированное оборудование. В перечень основного оборудования входит: вакуумная система для прижима катодных плоскостей к прецизионному гранитному столу, устройство для натяжения анодных проволок, устройство для напыления графита на катодные плоскости и установка для смешивания рабочего газа.

Вакуумная система для прижима катодных плоскостей к гранитному столу.

ТЗК камеры характеризуются соотношением $S/L > 1$, где S – шаг анодных проволок, L – зазор анод-катод, и большим коэффициентом газового усиления. ТЗК имеют газовый промежуток (зазор между двумя катодами) всего 2,8 мм. Маленький газовый промежуток накладывает жесткие требования на плоскостность материалов используемых в качестве катодов. Это необходимо, чтобы обеспечить постоянный коэффициент газового усиления по всей площади ТЗК камеры. В качестве катодов в ТЗК используется стеклотекстолит (G10) толщиной $\sim 1,2$ мм. Стеклотекстолит такой толщины не обладает достаточной жесткостью. Это приводит к тому, что все операции по склейке камер необходимо при вакуумном прижиге катодных плоскостей к прецизионному сборочному столу, который обеспечит

необходимую точность при сборке. В качестве основного сборочного стола используются прецизионные гранитные столы размером 2500x1600 мм и плоскостностью лучше 25 мкм. Для приклейки к катодной плоскости различных прокладок (spacer), которые обеспечивают поддержку анодных проволок и задают толщину газового промежутка, катодная плоскость помещается на гранитный стол и из под нее откачивается воздух. Прокладки приклеиваются к катодной плоскости и накрываются сверху жестким листом стеклотекстолита. Гранитный стол накрывается специальной резиной и из под нее также откачивается воздух, чтобы обеспечить равномерное давления на все прокладки через дополнительный лист стеклотекстолита. Для склейки двух катодных плоскостей, на одну из которых намотаны с натяжением анодные проволоки, используется легкий дополнительный стол, сделанный из сотового алюминиевого материала (honeycomb). Одна из поверхностей стола имеет плоскостность не хуже 25 мкм. На поверхность дополнительного стола с помощью вакуумного прижима закрепляется вторая катодная плоскость. Для склейки двух катодных плоскостей дополнительный стол с закрепленной катодной плоскостью кладется на катодную плоскость, прижатую к гранитному столу, и накрывается резиной из под которой откачивается воздух.

Описанная выше процедура сборки камер, требует создания вакуумной системы с тремя независимыми линиями для откачки гранитного стола, дополнительно стола и объема под резиной которой накрывается стол. Такой системой должен быть оборудован каждый гранитный стол. На данном этапе работ выполнена закупка гранитных столов и специальных без масляных спиральных вакуумных насосов.

Устройство для натяжения анодных проволок.

ТЗК 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. Для намотки и натяжения анодных проволок разработано устройство для натяжения анодных проволок, которое состоит из:

- вращающегося стола, на котором с двух сторон крепятся с помощью вакуумного присасывания катодные плоскости с приклеенными к ним печатными платами;
- каретки, на которой устанавливается устройство натяжения и подачи проволоки;
- устройства натяжения и подачи проволоки;
- системы перемещения и точного измерения положения каретки вдоль направляющей;
- системы управления перемещением каретки, натяжением анодной проволоки и вращением стола;
- станины, на которой располагается направляющая, по которой осуществляется движение каретки.

На данном этапе выполнены конструкторские разработки устройства для натяжения анодных проволок и организована закупка промышленных узлов, из которых осуществлена сборка данного устройства. Работы выполняются в соответствии с техническим заданием,

разработанном на 1-ом этапе выполнения контракта, и в сотрудничестве с зарубежными и российскими институтами, участвующими в проекте по созданию мюонных камер для передней части мюонного спектрометра детектора ATLAS.

Общий вид устройства показан на рисунке 1.



Рисунок 1 – Фотография устройства для натяжения проволок ТЗК.

Конструкторская документация для устройства натяжения анодных проволок приведена в Приложении 1.

Устройство для напыления графита на катодные плоскости.

Катодная плоскость ТЗК формируется путем нанесения смеси графита и лака с помощью пневматического напыления на панель из стеклотекстолита (G10). Толщина слоя напыления составляет $0,08 \div 0,4$ мкм и обеспечивает поверхностное сопротивление $180 \div 220$ кОм. Для нанесения графитовой смеси на стеклотекстолит выполнена конструкторская разработка устройства для напыления графита на катодные плоскости, которая состоит из:

- распылительной головки;
- системы перемещения, предназначенной для обеспечения автоматического движения распылительной головки в заданных направлениях, с заданной скоростью и на заданное расстояние;
- системы подачи графитовой смеси, предназначенной для обеспечения равномерной подачи напыляемого материала и обеспечения постоянного давления для

- поддержания постоянного распыляемого потока;
- системы подачи воздуха, предназначенного для формирования потока очищенного сжатого воздуха регулируемого давления и подачи его на напылительную головку;
- системы управления для обеспечения автоматизации процесса напыления на катодные плоскости.

На данном этапе выполнены конструкторские разработки устройства для напыления графита на катодные плоскости и организована закупка промышленных узлов, из которых осуществлена сборка данного устройства. Работы выполняются в соответствии с техническим заданием, разработанным на 1-ом этапе выполнения контракта. Общий вид, разработанной системы для напыления графита, показан на рисунке 2.

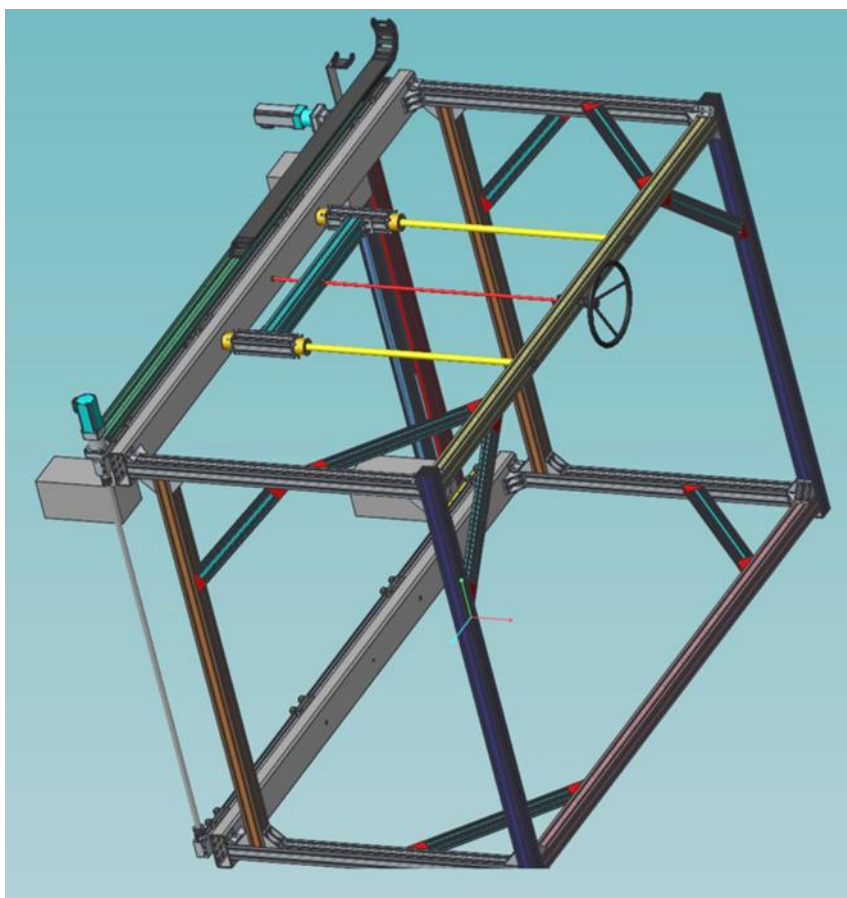


Рисунок 2 - Общий вид устройства для напыления графита на катодные плоскости ТЗК из стеклотекстолита (G10).

На рисунке 3 показана схема подачи сжатого воздуха для напыления графита на катодные плоскости.

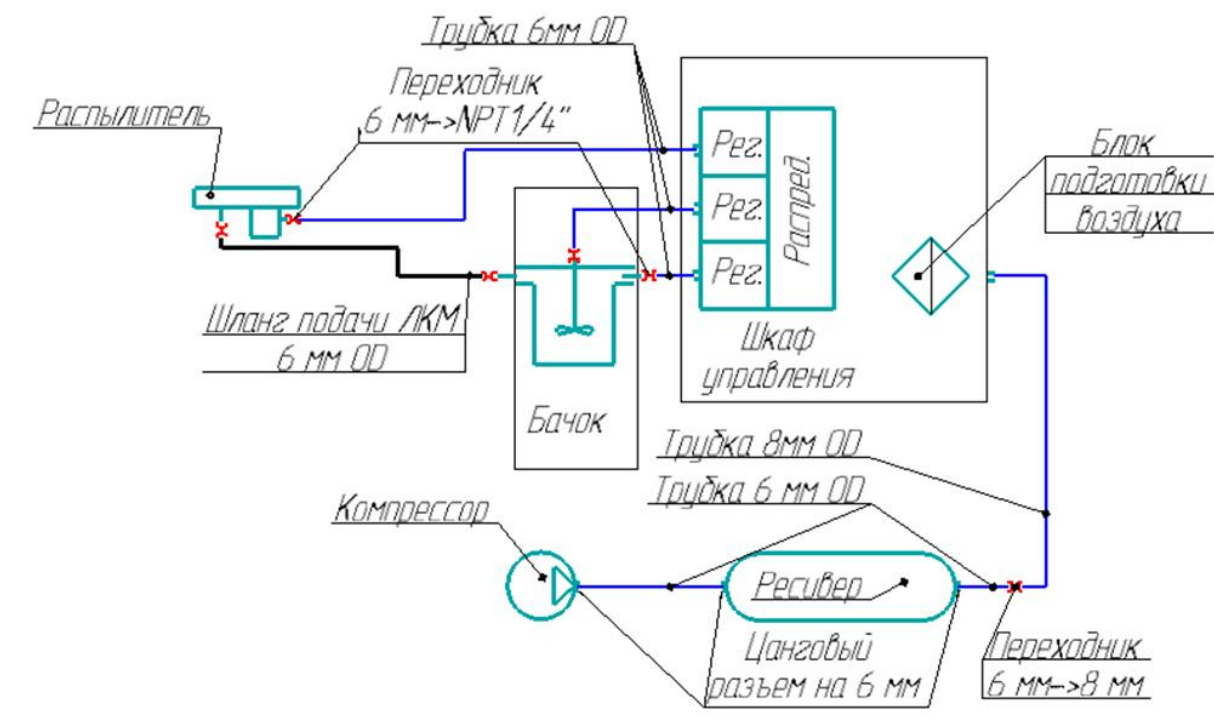


Рисунок 3 - Схема подключения сжатого воздуха к распылительной головке машины для напыления графита на катодные плоскости ТЗК камер.

Конструкторская документация для устройства напыления графита на катодные плоскости приведена в Приложении 1.

Установка для смешивания рабочего газа.

Конструкция газосмесительной установки для испытательного стенда ТЗК камер определяется условиями её эксплуатации и особенностями используемой газовой смеси. На данном этапе выполнения работ проведена разработка рабочего проекта установки для смешивания рабочего газа.

Технические требования к газосмесительной установке таковы:

- Газосмесительная установка должна обеспечивать устойчивую подачу рабочей газовой смеси заданной концентрации (55% CO₂ + 45% н-пентана), с точностью поддержания состава смеси +/-1%, в тестируемые модули ТЗК камер. Одновременно может тестироваться до 10 камер, которые могут находиться на разных стадиях тестирования: начальная продувка или режим высоковольтного теста.
- Газосмесительная установка должна работать в двух режимах: начальная продувка камер – расход смеси до 100 л/час, и режим теста – расход смеси ~0.1 л/час.
- Установка должна обеспечивать независимую регулировку потока в каждой камере.
- Установка должна обеспечивать избыточное давление в каждой камере не превышающее 5 мбар.
- Установка должна обеспечивать возможность сбора данных: поток газа, давление в системе и т.п.

Основное назначение установки - получение газовой смеси $\text{CO}_2 + 45(+/-1)\% \text{n-пентана}$ (до 100 л/час для продувки и около 0,1 л/час при тестировании камер) с её осушкой на входе в камеры.

Проект газосмесительной установки представлен в Приложении 1.

Акт изготовления оборудования для сборки ТЗК представлен в Приложении 2.

1.2 Разработка и изготовление механических и оптических инструментов для прецизионной сборки квадруплетов на основе МИК.

Изготовленные модули МИК, собираются в квадруплеты из 2-х двухсторонних считывающих и трех (2 одно- и 1 двухсторонних) дрейфовых модулей. Их неточное соединение друг с другом в процессе сборки квадруплета может перечеркнуть все усилия, затраченные на достижение необходимой точности отдельных модулей. При этом, сборку квадруплетов желательно выполнять в разумное время. С этой целью, совместно с коллегами из INFN (Фраскати, Италия) была разработана схема сборки и создано механическое устройство для сборки квадруплета. Чтобы избежать деформации модулей, было решено производить сборку модулей в подвешенном состоянии (см. рисунок 4).

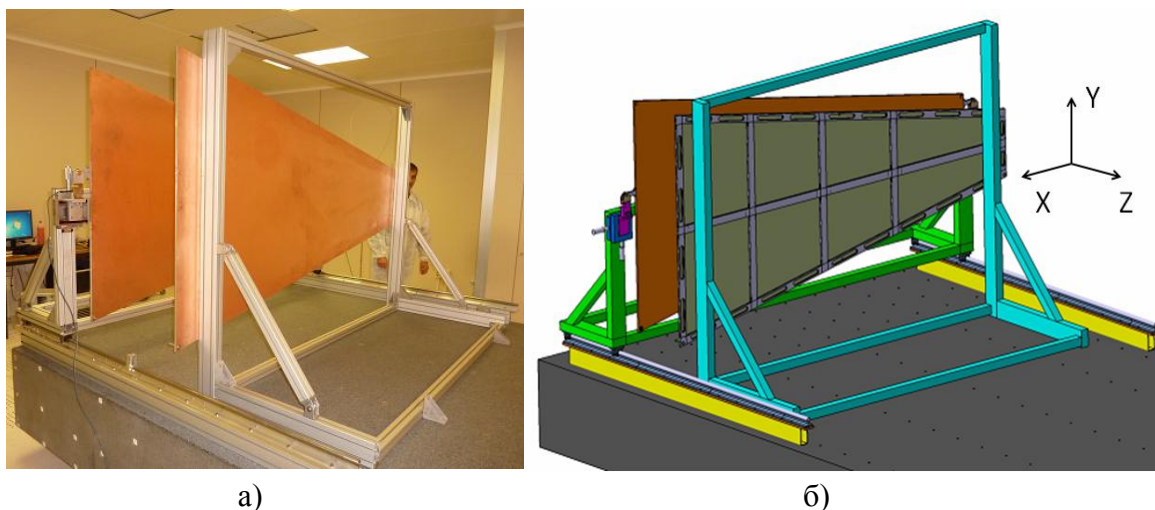


Рисунок 4 - Механическое устройство для сборки квадруплета: а)фото, б) схема.

Точность сборки обеспечивают юстировочные штифты, щелевые и круглые вставки, которые клеиваются в точные отверстия считывающих и дрейфовых панелей, как показано на рисунке 5.

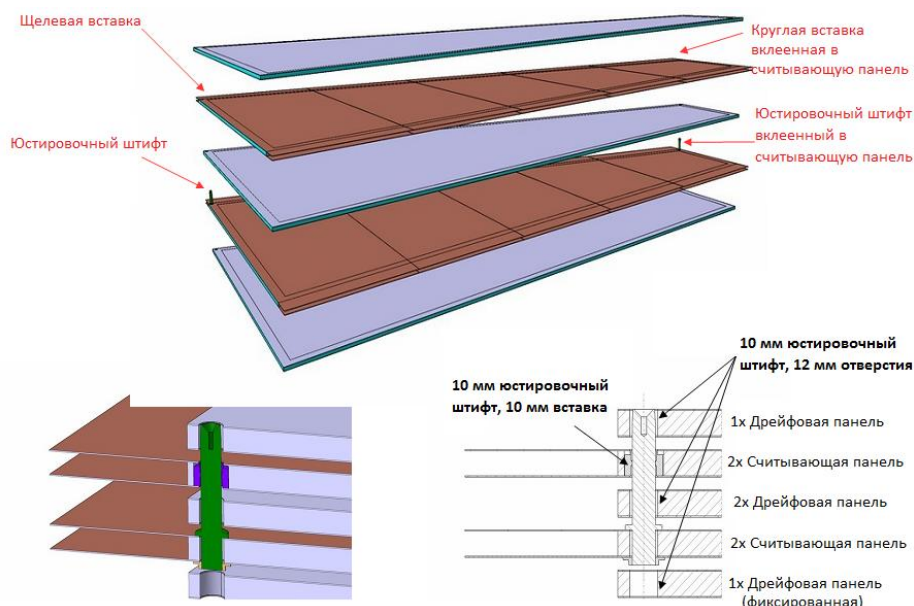


Рисунок 5 - Схема сборки квадруплета с использованием штифтов и вставок

Панели поддерживаются механической структурой, которая включает в себя линейные подшипники для передвижения вдоль оси Z и X (± 5 мм). Для точного горизонтального и вертикального выравнивания двух считывающих панелей, X и Y оси имеют две пары микрометрических винтов, а также тензодатчики для выравнивания по оси Y - они будут указывать на нарушение центровки при сборке, что дает возможность корректировки позиции с помощью микрометрических винтов (см. рисунок б).

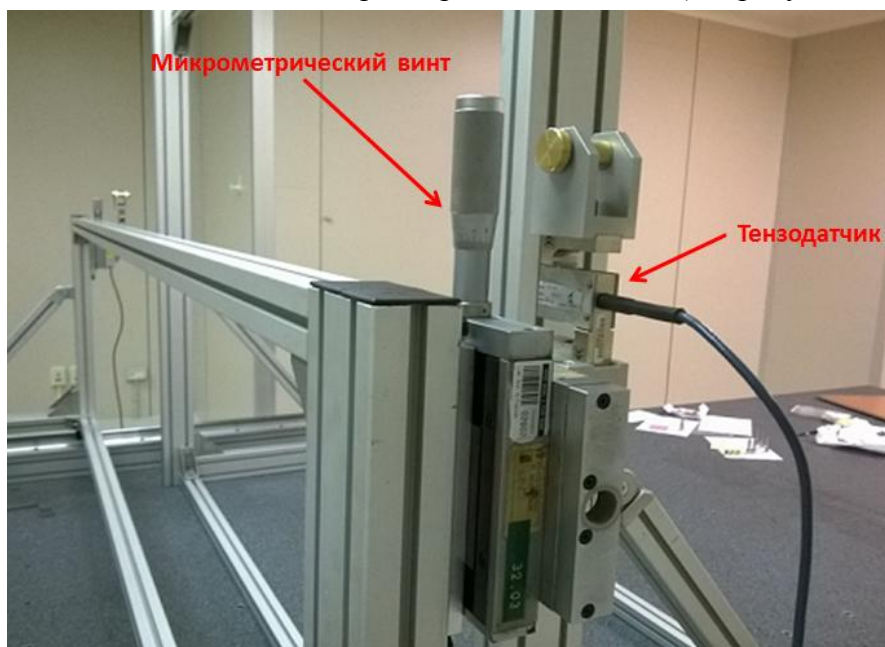


Рисунок 6 - Микрометрический винт и тензодатчик на устройстве сборки

Порядок сборки следующий: сначала на неподвижной части устройства крепится дрейфовая панель. Затем, используя микрометрические винты и показания тензодатчиков,

на ней поочередно монтируются все остальные панели, закрепленные на движущейся части устройства (рисунок 7).

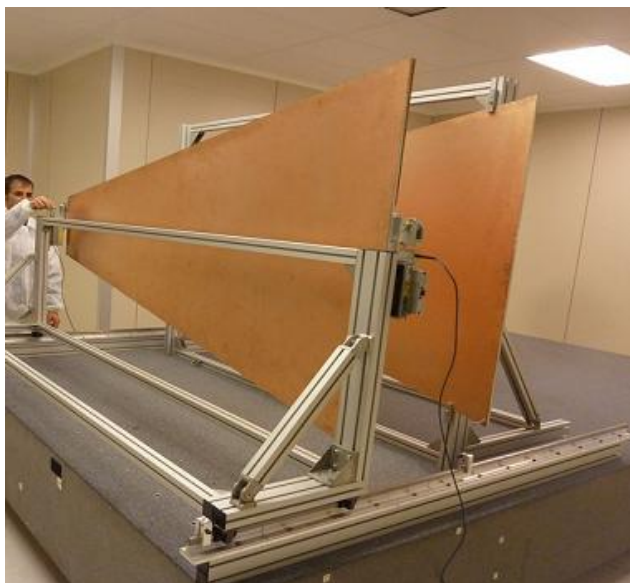


Рисунок 7 - Соединение двух панелей (фото)

В конце сборки панели квадруплета стягиваются с помощью винтов. Тесты, проведенные с использованием макетов панелей, показали, что на установку каждой панели тратится порядка 5 минут.

Техническое задание на устройство сборки и акт о его приемке представлены в Приложениях 3 и 4 соответственно. Ниже приведена пошаговая инструкция по сборке квадруплета, иллюстрированная рисунком 8.

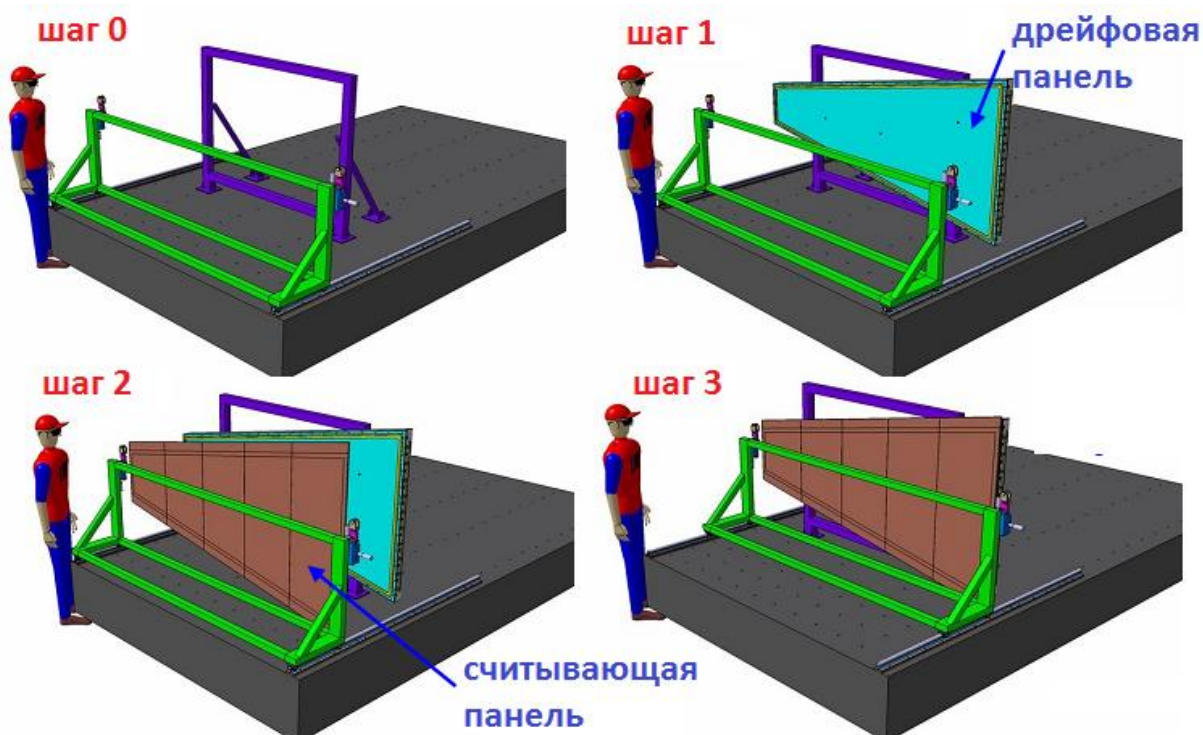


Рисунок 8 – Последовательность сборки квадруплета.

Инструкция по эксплуатации устройства сборки квадруплетов МИК

- 1) Разместить движущую и неподвижную части устройства на гранитный стол (шаг 0);
- 2) Закрепить одностороннюю дрейфовую панель на неподвижную часть (шаг 1);
- 3) Закрепить двухстороннюю считывающую панель на движущуюся часть (шаг 2);
- 4) Передвигая движущуюся часть устройства для соединения панелей для выравнивания панелей, использовать микрометрические винты и показания тензодатчиков. Произвести нанизывание панелей (вкрутив юстировочные штифты в щелевые и круглые вставки). Если показания тензодатчиков различаются более чем на 0,5 кг, использовать микрометрические винты для выравнивания показаний (шаг 3);
- 5) Отсоединить считывающую панель от движущей части устройства;
- 6) Повторить шаги 1 - 3 для оставшихся панелей в следующей последовательности: двухсторонняя дрейфовая панель – двухсторонняя считывающая панель – односторонняя дрейфовая панель;
- 7) После сборки квадруплета произвести окончательную фиксацию панелей с помощью винтов.

2 Разработка стендов для контроля камер НМК и сцинтилляционных счетчиков

2.1 Разработка высоковольтного стенда для испытаний мюонных ТЗК камер

В рабочем режиме ТЗК камер на них подается высокое напряжение ~ 3 кВ. Одним из основных тестов собранных камер являются долговременные (~ 1 недели) высоковольтные испытания при напряжении, превышающем рабочее на 10% и при продувке камеры рабочей газовой смесью. За время проведения долговременного высоковольтного испытания не должно быть зарегистрировано ни одного высоковольтного пробоя. ТЗК камера в сборе представляет собой модуль из четырёх плоскостей с независимыми газовыми объёмами и независимыми линиями подачи высокого напряжения. Высоковольтное тестирование собранных модулей подразумевает также измерение вольт-амперных характеристик каждой плоскости. Одновременно может испытываться несколько модулей. Планируемая загрузка высоковольтного стенда – до 6 модулей, при этом модули могут находиться на разных стадиях тестирования.

Рабочий проект высоковольтного стенда проверки ТЗК состоит в следующем.

Специфика высоковольтных испытаний, описанная выше, предъявляет определённые требования к системе подачи высокого напряжения:

- Система должна иметь 24 независимых канала высокого напряжения;
- Выходное напряжение каждого канала должно регулироваться в пределах $0 \div 4$ кВ с точностью ~ 0.5 В;
- Каждый канал должен иметь достаточно большой предельный ток ($> 0,1$ мА) при достаточно хорошем разрешении токового монитора (не хуже 50 нА);
- Пульсации выходного напряжения не должны превышать 100 мВ;
- Система должна обеспечивать регулируемое в достаточно широком диапазоне скорость нарастания выходного напряжения;
- Система должна обладать программируемой логикой трипа;
- Система должна обеспечивать возможность контроля и записи основных параметров.

На основе выше перечисленных требований было принято решение о построении высоковольтной системы испытательного стенда на основе серийно выпускаемого оборудования CAEN. Блок-схема системы высоковольтного питания представлена на рисунке 9.

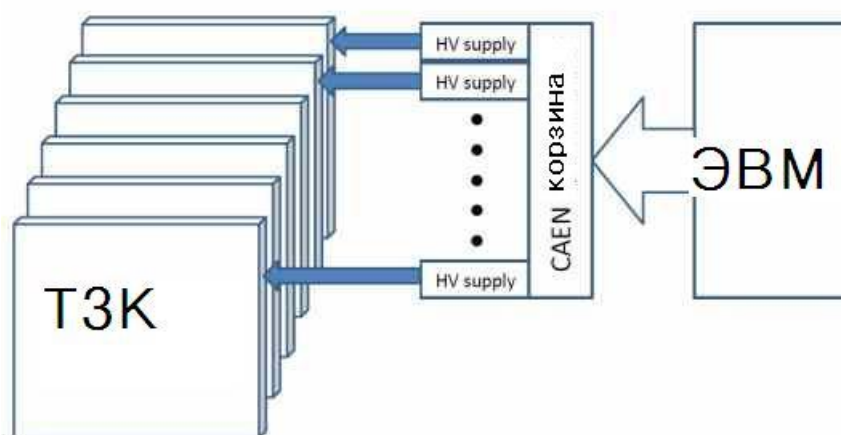


Рисунок 9 - Блок-схема системы высоковольтного питания для долговременных испытаний ТЗК камер.

Высоковольтная система состоит из управляющей корзины SY4527LC, обеспечивающей управление высоковольтными модулями и имеющей связь с компьютером, как минимум 2-х 12-ти канальных высоковольтных источников A1832E, удовлетворяющих вышеперечисленным требованиям, и управляющего компьютера, обеспечивающего задание необходимых режимов работы каждого канала, контроль основных параметров и сохранение их в базе данных. Связь между компьютером и системной корзиной будет осуществляться посредством Ethernet линии.

2.2 Разработка стендов для испытания МИК

В связи с тем, что доступ для ремонта к камерам МНК, помимо периодов длительной остановки БАК, практически невозможен, требования к их надёжности весьма высоки. Технический проект проверок МИК в процессе производства и тестов готовых камер изложены ниже.

Разработана схема и собрана оптическая система бесконтактного оптического измерения для определения топологии поверхностей печатных плат при их юстировке до склейки модуля МИК и квадруплетов. Она состоит из блока управления и генерирования-передачи света галогенной лампы (производитель Safibra, Чехия), оптического зонда с выраженной хроматической аберрацией и оптического многомодового волокна для приема-передачи оптического сигнала. Принцип действия системы прост: свет с помощью оптического зонда фокусируется на измеряемую поверхность. Спектр отраженного света будет показывать ярко выраженный максимум, спектральное положение которого определяет расстояние до поверхности. Система работает в диапазоне до 2 мм с точностью измерения 0,1 мкм. На рисунке 10 представлены иллюстрация принципа действия системы и ее фотография в сборке.

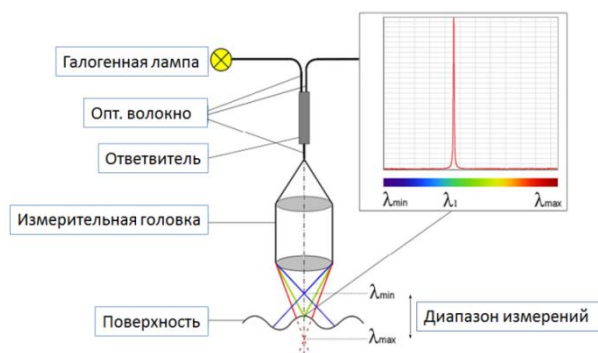


Рисунок 10 - Принцип действия (а) и фотография (б) системы бесконтактного топологического измерения поверхности печатной платы

Инструкция по эксплуатации оптической системы для снятия топологии поверхностей модулей МИК приведена ниже.

- 1) Соединить оптический зонд и блок управления с помощью специализированного оптического многомодового волокна;
- 2) Соединить блок управления с компьютером через USB разъем;
- 3) Закрепить зонд на штативе оптической скамьи;
- 4) Включить прибор. Произвести фокусировку света на измеряемую поверхность (расстояние между зондом и поверхностью примерно 15 мм);
- 5) Запустить программу CHRcodile Explorer на компьютере;
- 6) Нажать на пиктограмму “connection”. Дождаться инициализации блока управления;
- 7) На появившейся панели нажать на пиктограмму “start”;
- 8) Начать передвижение оптической скамьи вдоль измеряемой поверхности. В конце измерения нажать на пиктограмму “stop”;
- 9) На основной панели программы нажать на File □ Data Analysis и загрузить файл измерений (программа автоматически сохраняет измерения в ASCII формате в файле по имени “CHRcodileExplorer_ini_дата измерения_номер измерения.dat”). Результаты измерения в виде кривой, а также минимальные и максимальные значения отобразятся на экране компьютера.

Помимо геометрии проверяется также герметичность МИК. Все детекторы для НМК должны быть герметичными. Утечки не должны превышать 10^{-5} объема газа в минуту. Этот предел соответствует падению давления примерно на 0,6 мбар в час для квадруплета емкостью 50 л. Исходя из этого, был разработан и создан газовый стенд (рисунок 11), дающий возможность как тестирования на газовую утечку по времени (dP/dt) с помощью дифференциального манометра, так и проверку заполнения камер рабочей смесью газа.

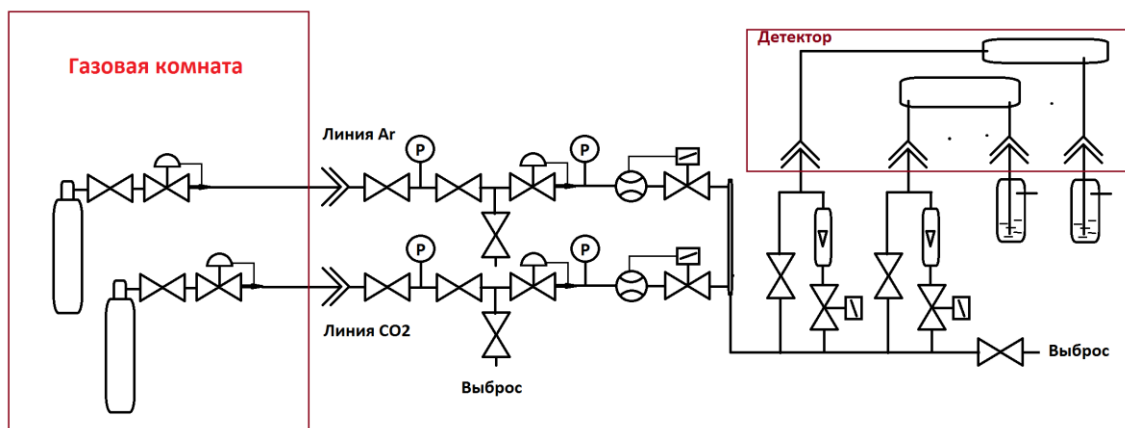


Рисунок 11 - Принципиальная схема газового стенда

Максимальная чувствительность стенда - порядка $2 \cdot 10^{-9}$ бар л/с . При этом стенд дает возможность использовать не только предварительно смешанный рабочий газ, но и смешивать в нужных пропорциях его компоненты (93% Ar и 7% CO₂). Для создания стенда были использованы регуляторы расхода газа компании Bronkhorst серии F-201CV. Помимо контроля газовой утечки, необходимо проверять камеры на искрение, а также проверять качество изоляции между резистивными и анодными стрипами.

Проверку на искрение следует проводить при рабочем газе Ar:CO₂ (93:7) на номинальных напряжениях или на воздухе на напряжениях превышающих номинальное примерно в 1,5 раза (~800 В). Для этой цели были закуплены мини корзины стандарта NIM NC150_5U и 2-х канальный высоковольтный источник питания CAEN N471 (см. фото на рисунке 12). На малых микроячеек камерах НМК произведены тестовые замеры.

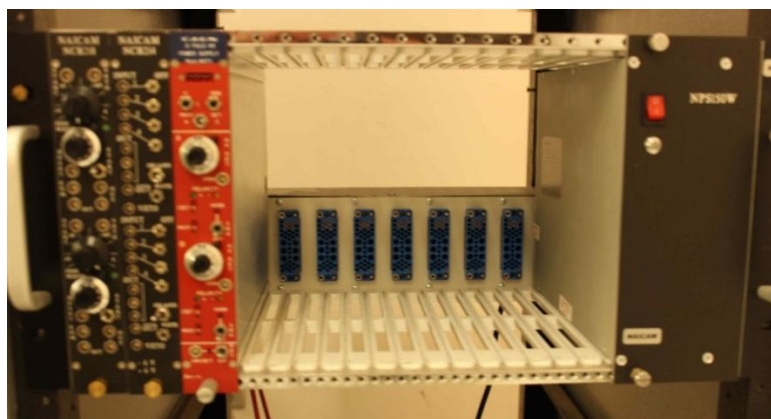


Рисунок 12 - Источник питания CAEN N471 в мини крейте NC150_5U

Качество изоляции между резистивными и анодными стрипами будет проверяться с использованием электрометра Keithley 6517В. Он представляет собой малошумящий, прецизионный мультиметр, предназначенный для измерений малых токов с высокой точностью и измерения больших сопротивлений пета-и эксаомного диапазонов, а также включает в себя встроенный источник питания на ± 1 кВ. На рисунке 13 представлен стенд, используемый для контроля качества изоляции на малой микроячейной камере.

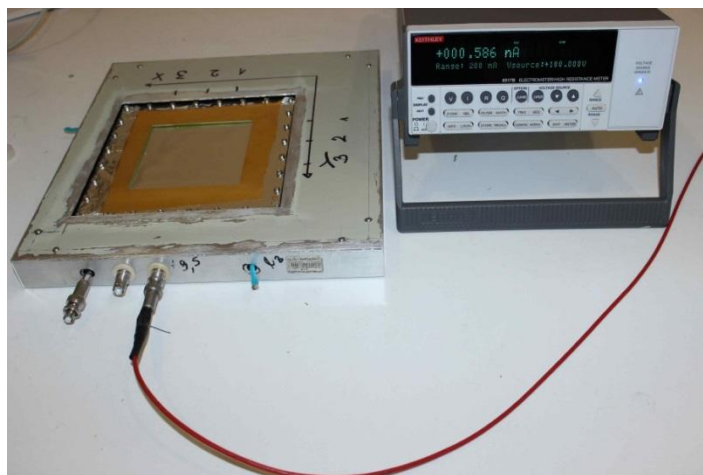


Рисунок 13 - Контроль качества изоляции на малой ММК

2.3 Разработка стенда контроля камер на основе РС.

Во время выполнения настоящего этапа были проведены исследования квадруплета ТЗК с газовой смесью н-пентан/CO₂ (55/45). Именно она будет использоваться в качестве рабочей смеси для данных детекторов после их установки на НМК. Нормальный пентан (н-пентан) является хорошим растворителем, его температура кипения - 17°C. Благодаря этим свойствам он может накапливаться в камере, поэтому температура воздуха в рабочем помещении должна превышать 20°C. Кроме того, этот газ взрывоопасен, поэтому помещение должно быть снабжено соответствующими датчиками, а также хорошо проветриваться [9]. Эти причины, а также многочисленные эксперименты, проведенные сотрудничеством АТЛАС, привели к решению использовать разбавленную смесь н-пентана и диоксида углерода [2]. Несмотря на все перечисленные недостатки, такая смесь является оптимальной для работы камер ТЗК [3]. Рабочее напряжение камер на смеси с н-пентаном также иное, чем с чистым CO₂ – оно составляет 2800 В против 2900 В для CO₂. Параметры рентгеновского излучения были теми же, что и во время выполнения предыдущего этапа – напряжение на трубке 35-50 кэВ, материал анода – серебро, ток – 80 мкА.

Как и в предыдущих экспериментах, скан проводился пошагово с коллиматором 30 мм и шагом 30 мм. Каждая точка облучалась 30 секунд.

Были исследованы т.н. «горячие точки» в камере, которые были найдены с заполнением чистым CO₂, – области камеры, где имеет место разряд, возникающий под действием рентгеновского излучения и обнаруживаемый по аномально высоким токам в камере. В случае смеси с н-пентаном, была подтверждена всего одна из более чем 30 областей, обнаруженных на чистом CO₂. Это можно объяснить высокой химической активностью н-пентана, который, взаимодействуя с поверхностью, препятствует образованию диэлектрических пленок на поверхности электродов, что свело на нет различные эффекты пробоя, обнаруженные на CO₂. Оставшаяся точка находится на краю камеры и может иметь макроскопический дефект склейки камер в виде оставшегося клея или стеклотекстолитовой крошки. Карты токов двух камер квадруплета показаны на рисунках 14 и 15.

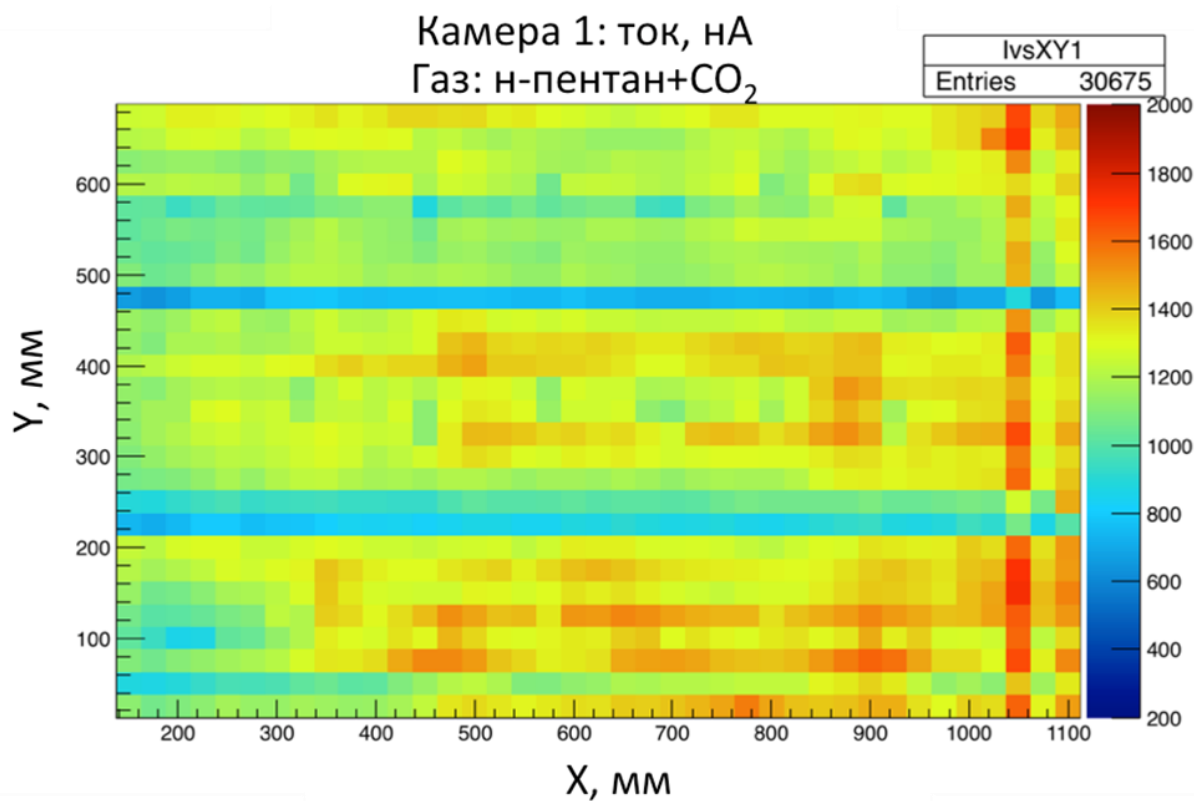


Рисунок 14. Карта измеренных токов (в нА) для камеры 1; газ: CO₂ + н-пентан; напряжение на камере - 2800 В.

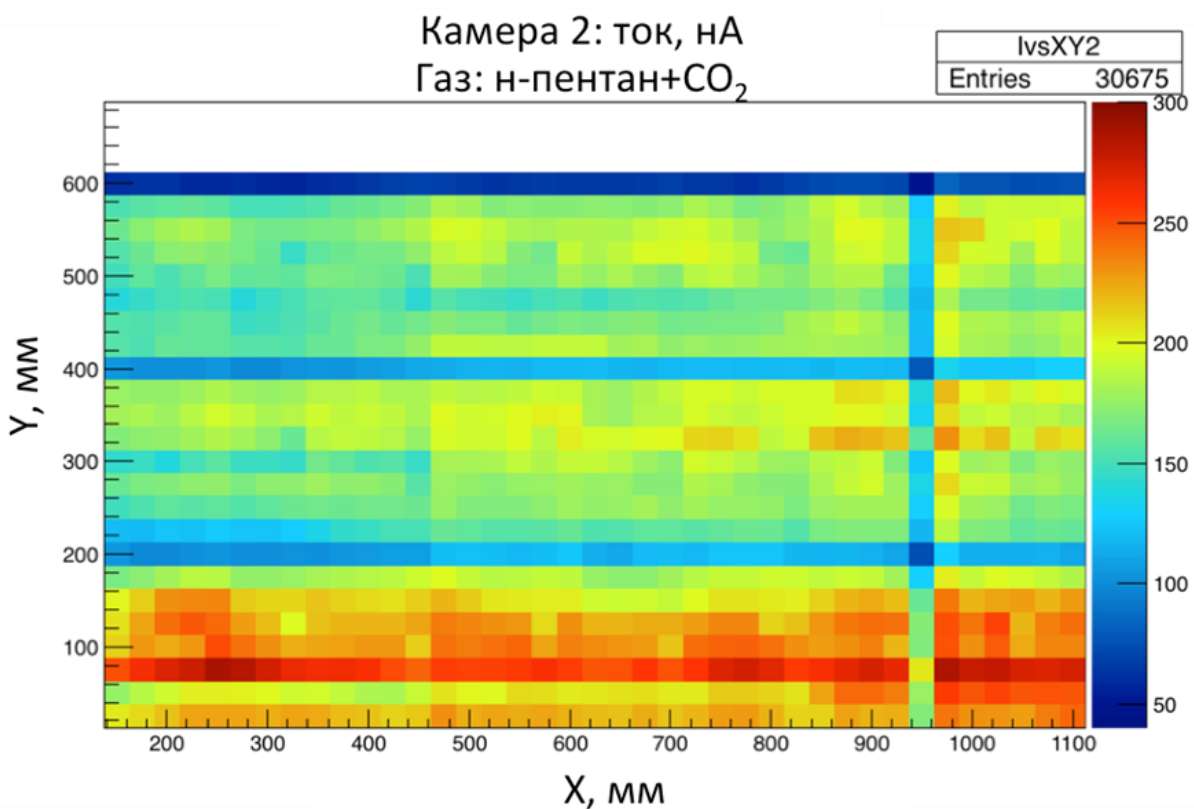


Рисунок 15 - Карта измеренных токов (в нА) для камеры 2; газ: CO₂ +н-пентан; напряжение на камере - 2800 В.

На них можно заметить вертикальные и горизонтальные особенности, которые остались неизменными после смены газовой смеси. Эти особенности связаны с конструкцией детекторов и ее дефектами, локализованными в этих областях.

Очевидно, что горизонтальные области с низким током отвечают подержкам, которые являются неотъемлемой частью конструкции детектора. Фактически, тока в этих областях при облучении совсем не должно быть, и наблюдаемое значение объясняется частичным попаданием рентгеновского пучка в соседние области, которые являются рабочими. Остальные же особенности, ток в которых в несколько раз отличается от среднего, не соответствуют конструктивным особенностям детектора, и являются дефектными. Для более подробного исследования этих дефектов была применена следующая методика.

Выполнялось сканирование проволочек (в горизонтальном направлении) и стрипов детектора (в вертикальном направлении) с маленьким шагом. Фотографии экспериментальной установки представлены на рисунке 16.



а)

б)

Рисунок 16 - а) вертикальное сканирование, б) горизонтальное сканирование

Шаг сканирования был 1 и 2 мм, в качестве дополнительного коллиматора использовались щели шириной 1 и 2 мм. Были проведены исследования областей с высоким газовым усилением (рисунки 17 и 18) и области с отсутствующей проволочкой (рисунок 19).

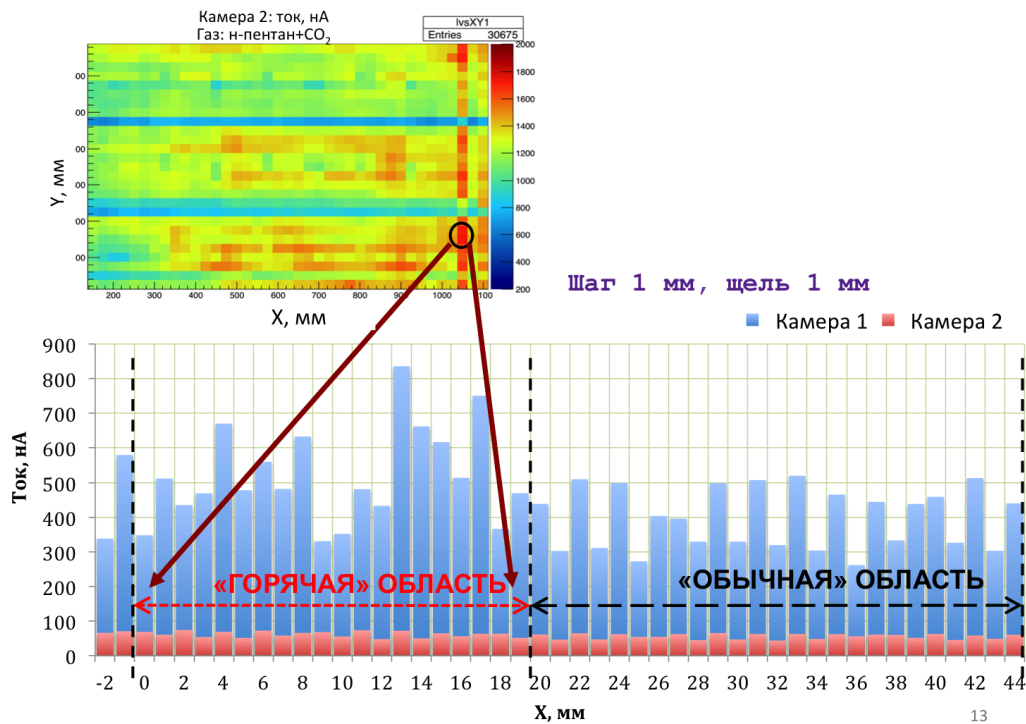


Рисунок 17 - Область сканирования и зависимость тока от координаты сканирования. Хорошо видно, когда начинается и заканчивается «горячая» область. Причина точно не ясна, однако само обнаружение такой области отвечает задачам рентгеновского сканера

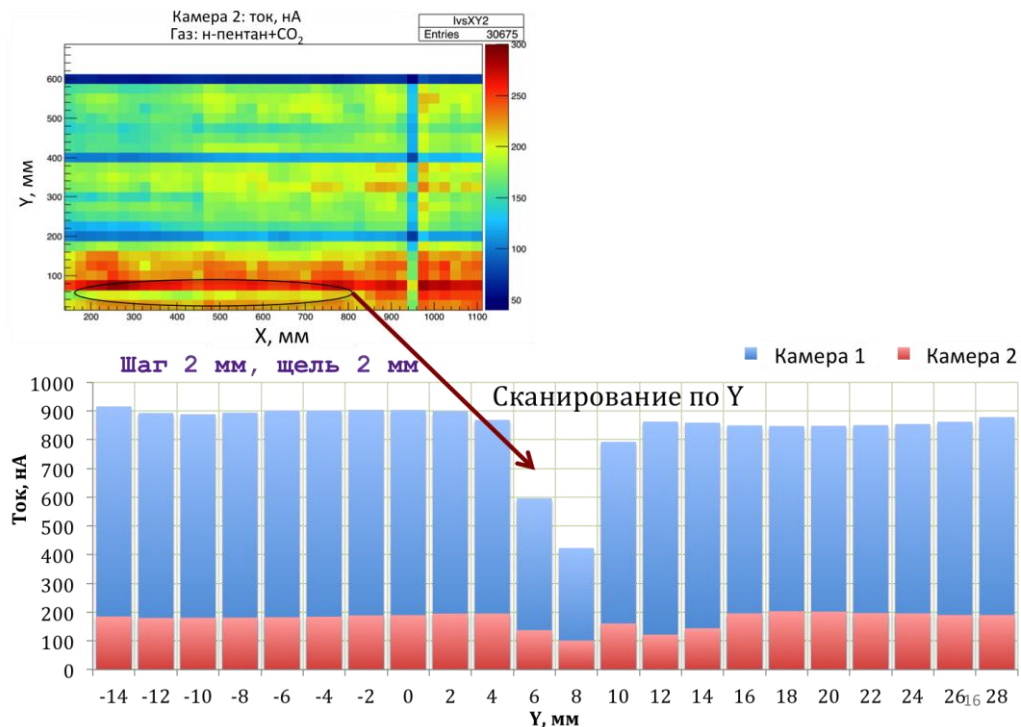


Рисунок 18 - Проблема, связанная с переходом из области с высоким значением тока в области с низким. Шаг сканирования и ширина коллиматора 2 мм. Сканирование проводилось поперек катодных стрипов

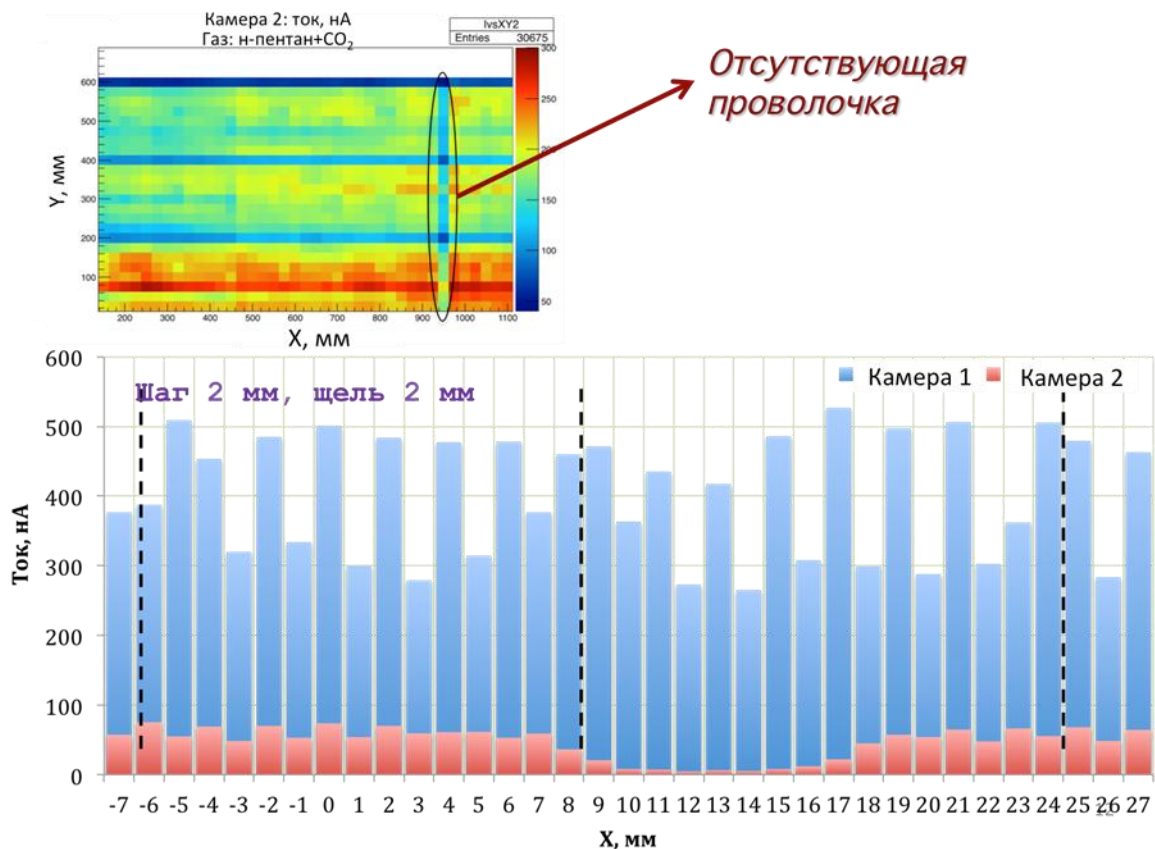


Рисунок 19 - Понижение тока на второй камере практически до нуля. Наиболее вероятное объяснение – это отсутствующая проволочка.

Для того, чтобы исключить влияние спектральных характеристик рентгеновской трубки на результаты экспериментов, были сняты такие характеристики как зависимость тока в камерах детектора от энергии рентгеновского пучка при выходной мощности рентгеновской трубки за счет регулировки тока. Из зависимости следует, что для одновременного исследования всех четырех камер трубки в вышеописанных условиях с током 40 кВ недостаточно, что может быть исправлено подачей 50 кВ на трубку. Впрочем, именно одновременное сканирование всех четырех камер не является необходимостью.

Также снималось ослабление тока в камерах при расположении между рентгеновской трубкой и камерами материалов, входящих в состав камер (медь, текстолит G-10). Проведенные эксперименты необходимы для проверки спектральных характеристик рентгеновской трубки, чтобы исключить распыление анода и прочие эффекты старения трубки. Эксперимент с материалами можно будет повторить для любой другой рентгеновской трубки, которая будет применяться непосредственно на производстве.

Проведенные исследования позволяют заключить, что разработанная методика дефектоскопии камер ТЗК может быть использована для создания макетного образца рентгеновского сканера.

Конструкторская документация на механическую часть РС приведена в приложении 5.

2.4 Стенд испытаний сцинтилляционных счетчиков для «горячих зон» СЦС

Стенд предназначен для автоматизированного измерения таких характеристик сцинтилляционных пластин как световыход и прозрачность к собственному излучению. Световыход определяет количество излучаемых сцинтиллятором фотонов на единицу поглощённой энергии; прозрачность – расстояние, после прохождения которого начальный световой поток ослабляется в некоторое количество раз.

Излучение при попадании в вещество производит в нём ионизацию. При этом в ряде веществ (в том числе и в сцинтилляторах) образуется свечение в оптическом диапазоне, называемое сцинтилляцией. Излученный свет собирается на фотокатод фотоэлектронного умножителя, где в результате фотоэффекта преобразуется в поток электронов, который усиливается диодной системой за счёт механизма вторичной электронной эмиссии. Токовый сигнал с анода фотоэлектронного умножителя подаётся на вход аналого-цифрового преобразователя, где и происходит его измерение.

Проектируемый стенд состоит из светонепроницаемого ящика с примерными размерами 1000×800×200 куб. мм, внутри которого находятся двухкоординатная система перемещения источника ионизации, ФЭУ с делителем напряжения и усилителем, исследуемый образец сцинтиллятора, жгут из оптических волокон для съёма сигнала со сцинтиллятора и его транспортировки к входному окну ФЭУ. Снаружи расположены прецизионный цифровой вольтметр, высоковольтный и низковольтный источники напряжения, электронный модуль управления системой перемещения, персональный компьютер.

В стенде в качестве источника ионизации предполагается использование стронция-90, который помещается в каретку двумерного сканирующего устройства. По заданному маршруту стронций облучает исследуемый образец сцинтиллятора; отклик, измеряемый цифровым вольтметром, передаётся в компьютер. На рисунке 20 показана типичная карта измерений, которая может быть получена на подобного рода стенде.

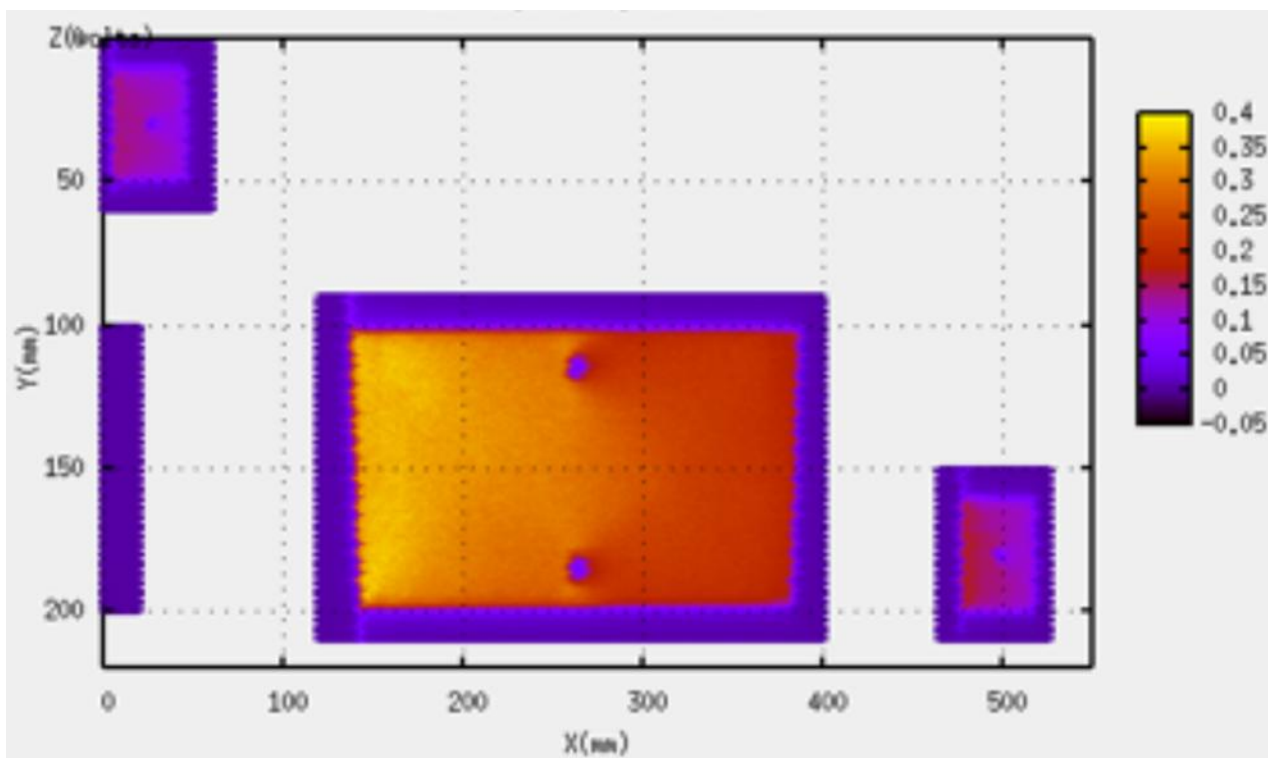


Рисунок 20 - Измеряемый образец расположен по центру. В левом верхнем и правом нижнем углах находятся эталонные сцинтилляторы. Сбоку слева происходит измерение пьедестала. Величина отклика характеризуется цветовой шкалой справа.

Рабочий проект стенда представлен в Приложении 6

3 Выбор рабочего варианта дрейфовой трубки малого диаметра (ДТМ), изготовление экспериментальных образцов и исследование их характеристик

Рассматривались два варианта ДТМ: в корпусе из алюминиевой трубы с толщиной стенки 0,4 мм и в корпусе из металлизированной (покрытой алюминием с двух сторон) лавсановой пленки с толщиной стенки 0,125 мм. Диаметр обоих вариантов дрейфовых трубок - 15мм.

Преимуществом первого варианта ДТМ является то, что используется промышленным образом изготовленная алюминиевая труба, для которой требуется минимальное время (не более 10 мин.) на сборку одной ДТМ и легко достигается требуемая герметичность ее внутреннего объема за счет использования резиновых обжимных прокладок между корпусом и торцевыми элементами. Преимуществом второго варианта является существенное уменьшение количества пассивного вещества (поглотителя) на пути частиц, что ведет к повышению эффективности ДТМ и ее разрешающей способности.

Учитывая важность отмеченного преимущества второго варианта, и несмотря на то, что он уступает первому варианту по трудозатратам (т.к. требуется дополнительное время на изготовление методом ультразвуковой сварки корпусов трубок и их тщательная проверка на герметичность), выбор был сделан в пользу дрейфовой трубки диаметром 15 мм в корпусе из металлизированной (покрытой алюминием с двух сторон) лавсановой пленки с толщиной стенки 0,125 мм.

В отчете по 1-му этапу контракта мы описали изготовление лабораторных образцов ДТМ. При этом для изготовления корпусов лавсановых ДТМ были использованы подручные средства вместо шлифованных стержней-шаблонов и специализированных запорных устройств в установке ультразвуковой сварки лавсана. В 1-м квартале 2015г переработаны все чертежи деталей сварочного стапеля с необходимыми запорными устройствами и в марте завершено изготовление этих деталей. Это дало возможность изготовить лабораторные образцы с достижением необходимой механической точности.

Разработан чертеж (черт. КО ИФВЭ № 9456) дрейфовой трубки. На рисунке 21 показана модель дрейфовой трубки.

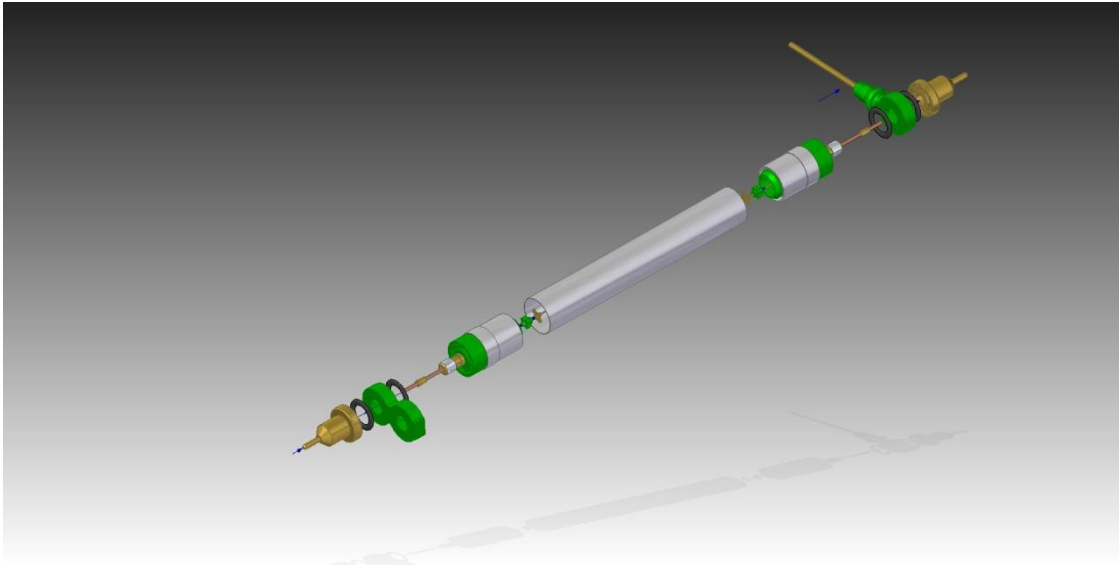


Рисунок 21 - Схематичный вид ДТМ

Сборочные чертежи дрейфовой трубки (9456-00-00-00) и ее торцевого элемента (9456-01-01-00 СБ) показаны на рисунках 22 и 23 соответственно.

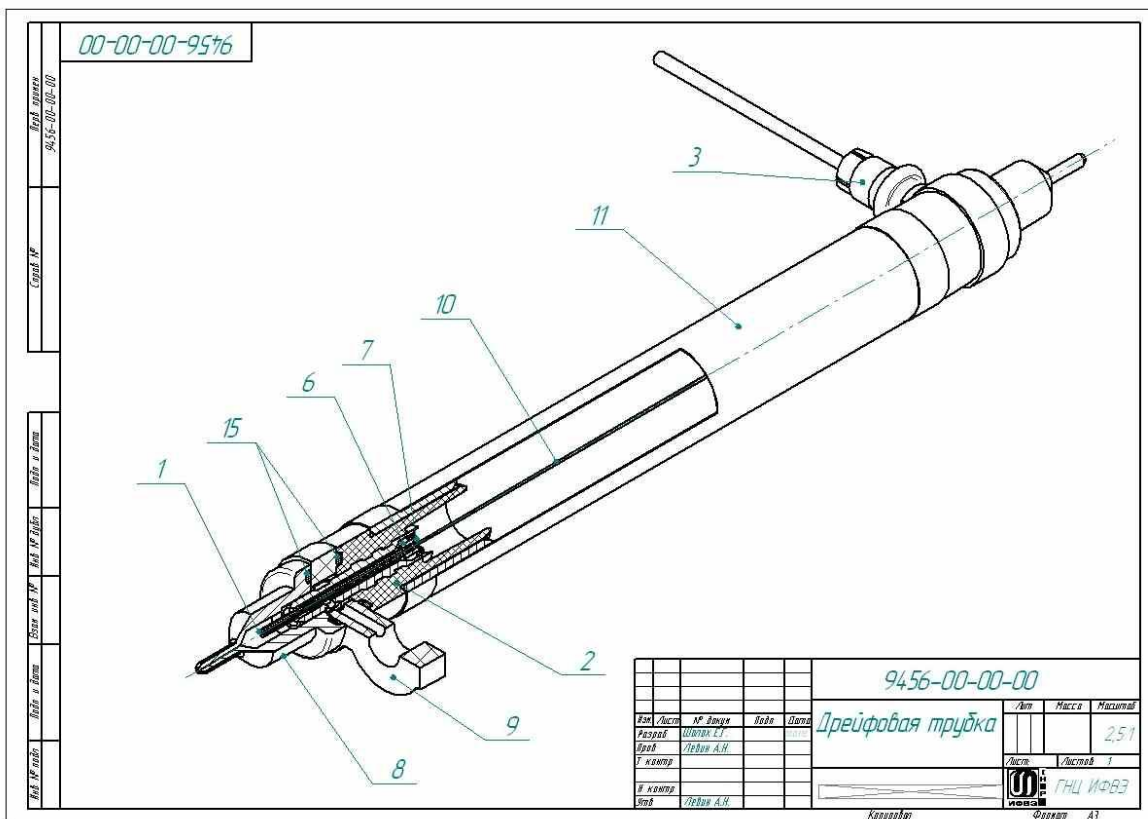


Рисунок 22 - Сборочный чертеж ДТМ

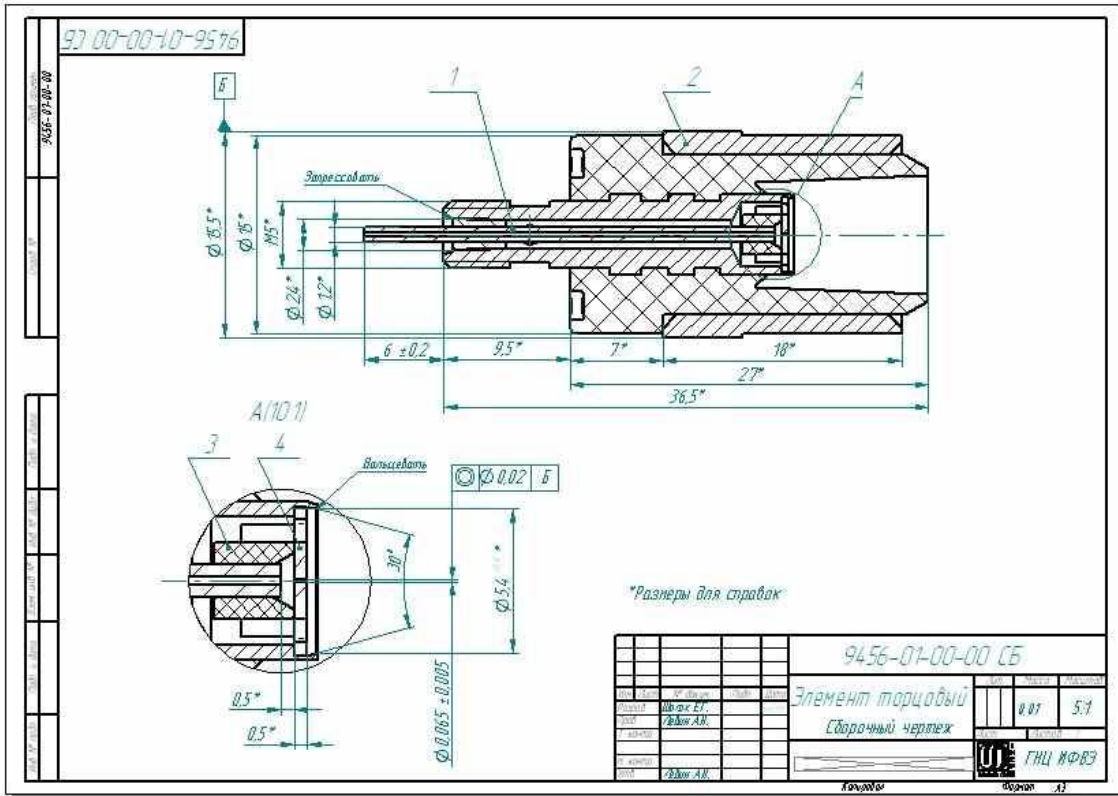


Рисунок 23 - Сборочный чертёж торцевого элемента ДТМ

Все необходимые компоненты лабораторных образцов ДТМ (торцевые элементы, газовые переходники, детали газоподвода) изготовлены в центральном опытном производстве ГНЦ ИФВЭ. Ультразвуковая сварка корпусов налажена непосредственно на сборочном участке ДТМ с использованием ультразвуковой установки, фотография и описание которой приведены в отчете по 1-му этапу.

Изготовлено 12 лабораторных образцов ДТМ. На рисунке 24 приведена фотография компонентов ДТМ.

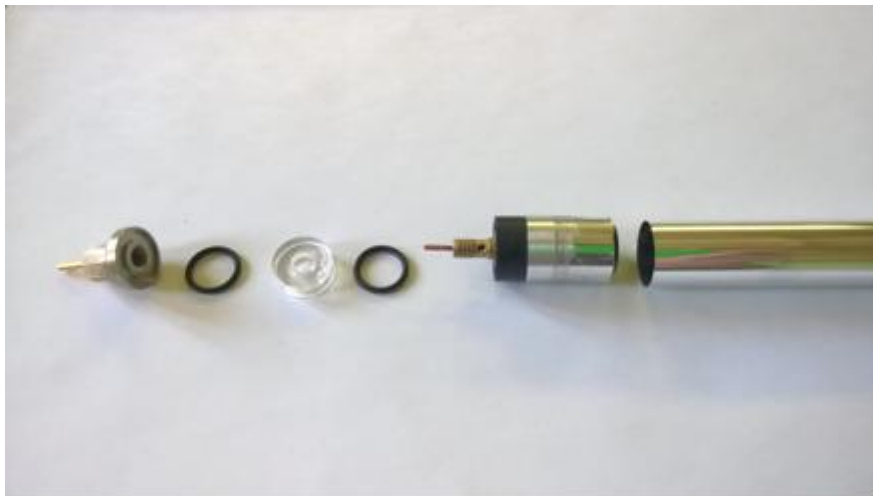


Рисунок 24 - Фотография ДТМ в разобранном виде

На рисунке 25 приведена фотография сборочного станда, на переднем плане – собранная ДТМ.



Рисунок 25 - Фотография сборочного станда с собранной ДТМ

На рисунке 26 приведена фотография станда выдержки ДТМ на время отверждения клея.



Рисунок 26 - Стенд выдержки ДТМ на время отверждения клея

Основными подлежащими контролю техническими характеристиками ДТМ являются герметичность внутреннего объема и высоковольтная стабильность. Схема станда для проверки герметичности ДТМ приведена на рисунке 27.

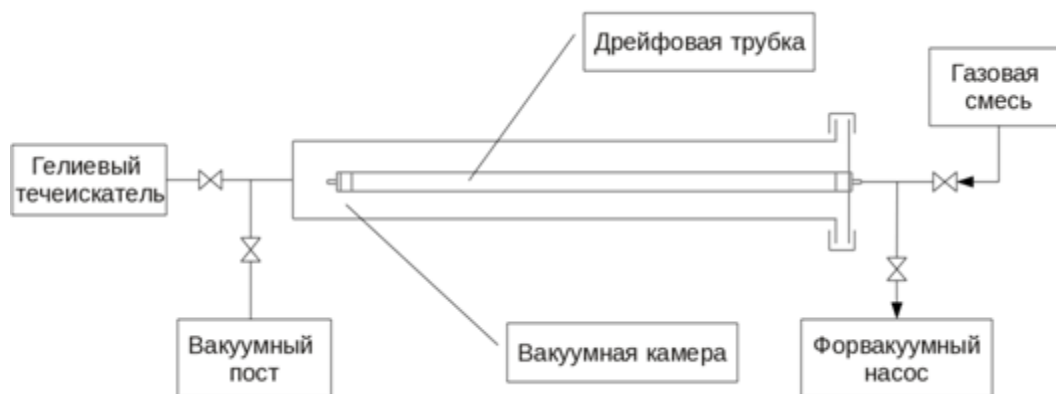


Рисунок 27 - Схема стенда испытаний ДТМ на герметичность

Дрейфовая трубка помещается в вакуумную камеру. Один конец ДТМ герметично закрывается колпачком с резиновой прокладкой, а другой конец соединяется с форвакуумным насосом. Вакуумная камера откачивается до давления $\leq 10^{-5}$ мбар, затем откачивается внутренняя полость трубки и заполняется газовой смесью (N290%+He10%) до абсолютного давления 3 бар. Таким образом, во время испытания на герметичность, трубка нагружается избыточным давлением 2 бар.

Для всех лабораторных образцов гелиевая течь не превысила $2 \cdot 10^{-4}$ л·мбар/с, что соответствует течи $2 \cdot 10^{-5}$ л·мбар/с по рабочему газу (Ar+7%CO2).

Процедура исследования высоковольтной стабильности основана на измерении зависимости тока от высокого напряжения. Высокое напряжение отрицательной полярности подается на стенку трубки. При помощи специального усилителя измеряется ток анодной проволоки с разрешением 0,2 нА. Трубка при этом заполнена воздухом при нормальном давлении.

На всех 12-ти лабораторных образцах ДТМ достигнута в/в стабильность, а именно: при напряжениях до 3000V, что отвечает максимальному планируемому рабочему напряжению. Ток анодной проволоки не превышает 0,7 мкА.

Акт изготовления лабораторных образцов ДТМ приведен в Приложении 7.

4 Работы по переднему миникалориметру

4.1 Выбор вариантов миникалориметра, удовлетворяющих требованиям эксперимента АТЛАС по энергетическому и временному разрешениям и радиационной стойкости и обсуждение их с Сотрудничеством АТЛАС

В начале марта 2015 г. в ЦЕРН состоялись совещания, посвященные выбору вариантов миникалориметра, удовлетворяющих требованиям эксперимента АТЛАС в условиях повышенной светимости БАК. На совещаниях присутствовали представители групп из России (ИФВЭ, ОИЯИ, ФИ РАН), Канады (TRIUMF), Германии (MPI, Мюнхен), Словакии (ИЭФ САН), которые выступили с предложениями по выбору варианта миникалориметра. В частности, представитель ИФВЭ С.П. Денисов, опираясь на результаты аналитического обзора (см. отчет за 2014 г.), проанализировал свойства различных типов калориметров, использующих в качестве рабочего вещества сцинтилляторы, кристаллы, кремний, газы и жидкий аргон, и предложил для дальнейшего обсуждения оставить газовый и жидкоарго-новый варианты, которые наиболее полно удовлетворяют требованиям эксперимента АТЛАС по энергетическому и временному разрешениям и радиационной стойкости. Это предложение было поддержано большинством участников, и после дополнительных дискуссий было принято следующее Заключение:

- Принять, как основной, жидкоаргоновый вариант переднего миникалориметра с цилиндрической геометрией электродов.
- Провести моделирование медных макетов указанного калориметра с размерами зазоров между электродами 150 и 200 мкм и внешним диаметром внутреннего электрода 4.7 мм.
- На основании проведенного моделирования выполнить эскизный и рабочие проекты макетов калориметра.
- Изготовить макеты калориметра и провести их испытания в пучке протонов с энергией 50 ГэВ.
- Принять, как запасной, газовый вариант переднего миникалориметра с плоско-параллельной геометрией электродов.

4.2 Проведение моделирования выбранных вариантов миникалориметра методом Монте Карло

Для моделирования сигнала в макете миникалориметра, облучаемого пучком протонов с энергией 50 ГэВ, было подготовлено специальное математическое обеспечение, основанное на пакете Geant4 [4] (версия 9.6). Основные элементы экспериментальной установки были детально описаны в рамках этого пакета. При этом параметры макета полностью соответствовали параметрам, утверждённым Сотрудничеством АТЛАС для моделирования, например, величина зазоров медных электродов составляла 150 мкм и 200 мкм, а расстояние между соседними электродами было выбрано равным 7.4 мм. Для

моделирования адронных ливней Geant4 предоставляет различные списки (наборы) физических процессов [5]. Два из них QGSP_BERT и FTFP_BERT были отобраны для данного исследования. QGSP_BERT использует кварк-глюонную струнную модель, а FTFP_BERT модель FRITIOF для описания взаимодействий при высоких энергиях. Каскадная модель Бертини применяется для моделирования внутриядерных взаимодействий в обоих списках.

Параметры пучка моделировались в соответствии с экспериментальными данными. Поперечные профили пучка разыгрывались по распределению Гаусса со средними значениями X_B и Y_B и среднеквадратичными отклонениями σ_X и σ_Y в горизонтальном и вертикальном направлении, соответственно. Стандартные пучки характеризовались следующими параметрами: $X_B=Y_B=0$ мм, $\sigma_X = \sigma_Y = 10$ мм. Все пучковые частицы разыгрывались параллельно оси пучка, без углового отклонения.

Сигнал в макете определялся как сумма видимых энергий E , выделенных в жидком аргоне во всех зазорах макета. Восстановление сигналов осуществлялось по событиям, т.е. при прохождении одной пучковой частицы.

Моделирование отклика макетов калориметра было выполнено для двух списков используемых физических процессов (FTFP_BERT и QGSP_BERT) и для двух зазоров в электродах (150 и 200 мкм). Для каждого случая было разыграно 20000 событий. В таблице 1 приведена средняя видимая энергия, выделившаяся в жидком аргоне между электродами калориметрических модулей для этих четырех случаев.

Таблица 1 - Средняя видимая энергия $\langle E \rangle$ в МэВ, выделившаяся в жидком аргоне между электродами макета для стандартных пучков.

Зазор, мкм	FTFP_BERT	QGSP_BERT
150	$2,66 \pm 0,04$	$3,55 \pm 0,05$
200	$3,39 \pm 0,06$	$4,30 \pm 0,07$

Как видно из таблицы, энерговыделение, получаемое при использовании списка процессов QGSP_BERT, значительно (на 25%) превышает энерговыделение для FTFP_BERT. Это объясняется тем, что QGSP_BERT предсказывает более компактные адронные ливни и раннее начало этих ливней, чем FTFP_BERT (в версии 9.6 Geant4). Эту разницу необходимо учитывать при оценке систематических ошибок параметров, измеряемых в эксперименте.

Другим источником ошибок могут быть параметры моделированного пучка. Например, поперечный профиль пучка может отличаться от гауссова. Чтобы оценить влияние этого и других факторов на измеряемую энергию в модуле, было проведено моделирование для случаев, когда среднеквадратичный разброс пучка σ или его горизонтальное положение X_B отличались от стандартных.

На рисунке 28 показаны энерговыделения $\langle E \rangle$ как функция ширины пучка σ .

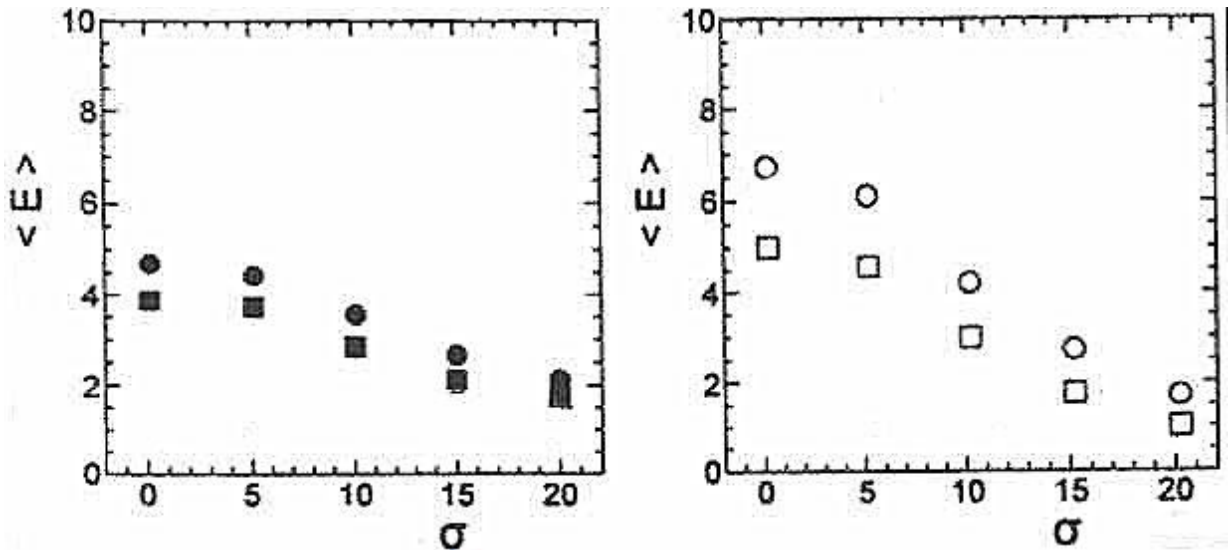


Рисунок 28 - Зависимость средней видимой энергии $\langle E \rangle$ (МэВ) в макетах с зазорами 150 (тёмные значки) и 200 (светлые значки) мкм от величины среднеквадратичного отклонения σ (мм) функции Гаусса, описывающей распределение интенсивности пучка частиц в горизонтальном направлении. Кружки представляют расчёты по программе QGSP_BERT, квадраты – по FTFP_BERT.

Наблюдается сильная зависимость средней энергии от этого параметра. При увеличении σ с 10 до 15 мм энерговыделение в калориметрическом модуле падает на $\sim 30\%$.

Зависимость средней энергии $\langle E \rangle$ от горизонтального положения пучка приведена на рисунке 29. В пределах наблюдаемого смещения пучка (± 10 мм), величина сигнала уменьшается на $10 \div 15\%$.

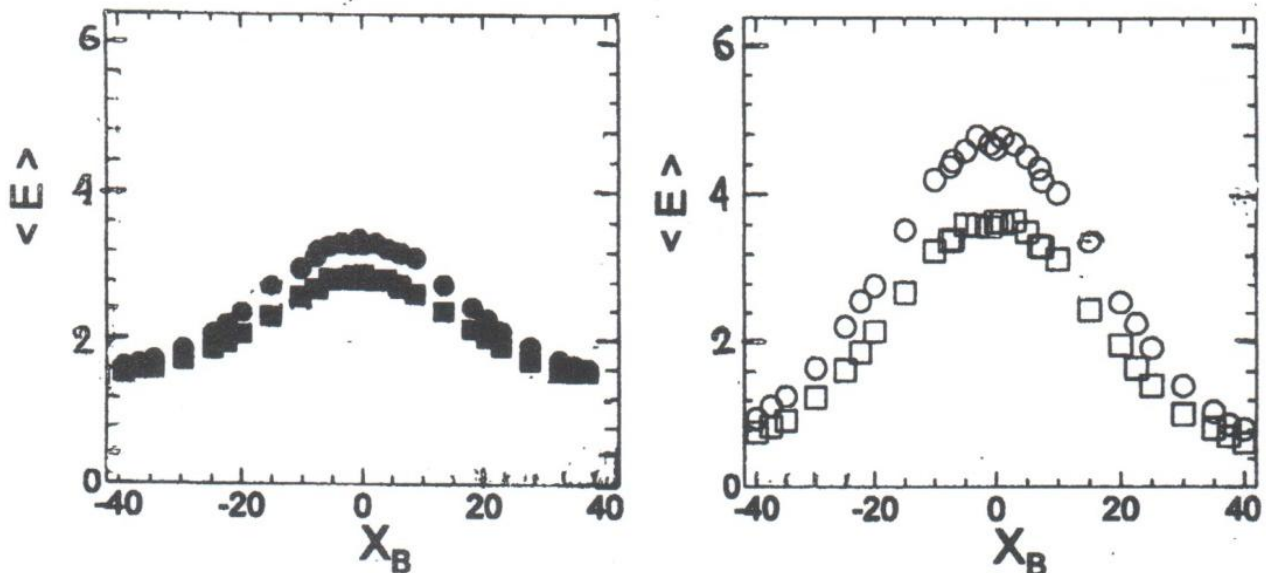


Рисунок 29 - Зависимость средней видимой энергии $\langle E \rangle$ (МэВ) в макетах с зазорами 150 (тёмные значки) и 200 (светлые значки) мкм от горизонтального положения пучка X_B (мм) для $\sigma=10$ мм и $Y_B=0$ мм. Кружки представляют расчёты по программе QGSP_BERT, квадраты – по FTFP_BERT

Результаты проведённого моделирования показывают, что для уменьшения систематических ошибок при анализе данных необходимо тщательно учитывать характеристики экспериментальной установки и параметры используемых пучков.

5 Изготовление лабораторных образцов сцинтиллятора для горячих зон размерами 500×250×6 мм³ по технологии, обеспечивающей большую радиационную стойкость в сравнении со стандартными методами

Сцинтилляторы, использованные в установке АТЛАС в зонах с повышенной радиационной нагрузкой, в частности, сцинтилляторы триггера минимального смещения и сцинтилляторы так называемого scack-детектора, расположенные на торцах жидкоаргонового калориметра, после нескольких лет эксплуатации потеряли свои начальные свойства и требуют замены. Это становится особенно актуальным в связи с повышением энергии БАК и его светимости.

Сцинтилляторы для «горячих зон» должны обладать повышенной радиационной стойкостью для того, чтобы обеспечивать долговременную эффективную работу в условиях высоких радиационных нагрузок. К настоящему времени определены ожидаемые уровни радиационных нагрузок, проведен отбор и для дальнейших исследований предложено использовать образцы сцинтилляторов типа UPS-923, производимого в ИСМА, Харьков.

Этот тип пластического сцинтиллятора изготавливается на основе полистирена. Полимеризация большого объема пластика происходит в дюралюминиевых формах. При этом характеристики пластического сцинтиллятора (световыход, прозрачность, спектр излучения, время высвечивания, радиационная стойкость) могут варьироваться путем изменения процентного состава добавок. Состав сцинтиллятора UPS-923 был подобран специально для увеличения радиационной стойкости без потерь остальных основных параметров. Его время высвечивания составляет 3,3 нсек, максимум спектра излучения при длине волны 418 нм, световыход составляет около 56% по отношению к антрацену. Данный сцинтиллятор обладает повышенной радиационной стойкостью и может использоваться в зонах с повышенным уровнем радиационной нагрузки.

Фото лабораторного образца сцинтиллятора приведено на рисунке 30.



Рисунок 30 - Образец сцинтиллятора прямоугольной формы для использования в «горячих зонах» установки АТЛАС.

В настоящее время нами получены образцы сцинтилляторов прямоугольной формы $6 \times 250 \times 500 \text{ мм}^3$, трапецеидальной формы с основаниями 168 мм и 215 мм и высотой 478 мм, толщиной 6 мм и трапецеидальной формы с основаниями 133 мм и 169 мм и высотой 362 мм, толщиной 6 мм. Наряду с уже полученными образцами большого размера, нами будут получены и образцы меньшего размера ($6 \times 150 \times 150 \text{ мм}^3$), что позволит провести детальное исследование их оптических параметров. Акт изготовления лабораторных образцов сцинтилляторов представлен в приложении 8.

Полученные образцы обладают высокой прозрачностью и яркостью в голубом свете, что говорит об их высоком качестве. В ближайшее время будут начаты исследования оптических свойств сцинтилляторов на специальном стенде для исследования параметров сцинтилляторов для «горячих зон». Ведется также подготовка к проведению испытаний радиационной стойкости образцов при облучении их различными источниками. Эти работы будут проведены в Дубне и других институтах.

6 Работы по цезиевой системе калибровки сцинтилляционного калориметра

6.1 Коррекция имеющегося прототипа гаражного модуля ЦКСК, изготовление, настройка и проверка работы двух лабораторных образцов модулей.

В начале года осуществлено изготовление в ИФВЭ, а в марте завершены испытания лабораторных образцов гаражной платы (6U-Garage) на имеющемся стендовом оборудовании в ИФВЭ и ЦЕРНе. Испытания показали полную совместимость с существующими устройствами цезиевой подсистемы при взаимодействии в рамках протокола CANbus и обеспечение функциональности обслуживания гаража (устройства для временного хранения радиоактивного источника).

Одной из основных функций модуля является регистрация и определение степени активности гамма-источника, хранящегося в гараже. Проведены испытания в ЦЕРНе созданных модулей 6U-Garage в реальных условиях существующего гаража, источника, устройств блокировки источника в гараже и т.п. Активность источника может быть определена с точностью не хуже 10%, что достаточно для безопасной эксплуатации гаража в рамках штатной работы цезиевой системы. Испытания подтвердили адекватность лабораторных образцов модулей поставленным задачам.

В конструкции платы предусмотрено также дальнейшее развитие функций связи с общей системой обработки данных адронного калориметра установки АТЛАС (данная система в настоящее время пересматривается и находится в стадии интенсивной разработки Сотрудничеством).

6.2 Изготовление, настройка и проверка работы 3-х типов плат для уровнемера ЦКСК

Проведены испытания комплекта модулей для прецизионного определения изменения уровня жидкости в буферном сосуде цезиевой системы калибровки калориметра (3U-LeM). На рисунке 31 представлен общий вид комплекта плат уровнемера.

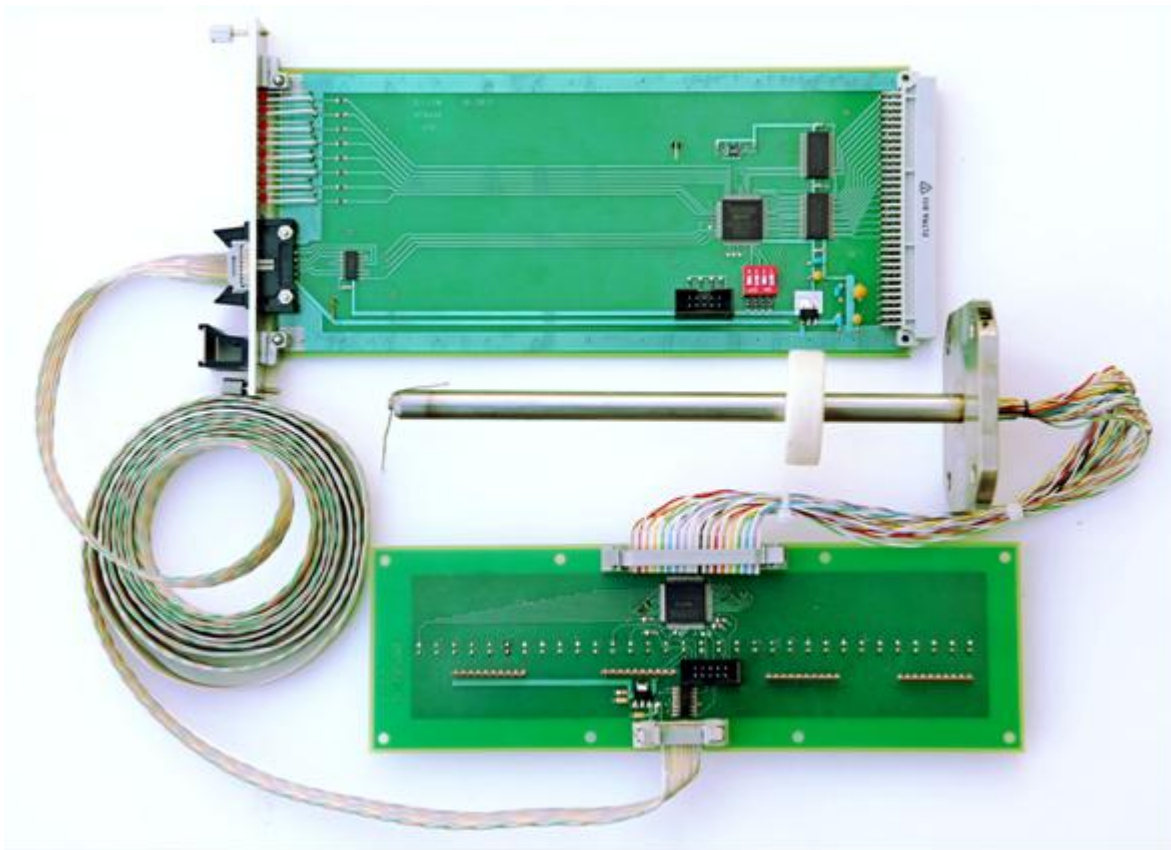


Рисунок 31 - Общий вид комплекта плат уровнемера.

В состав комплекта входят: две платы приема данных с датчиков, индикации положения поплавкового устройства и связная плата в корпусе 3U для связи с удалённым компьютером контроля работы системы.

Испытания проводились на базе цезиевой системы для долговременного тестирования модулей калориметра в зд.175 (ЦЕРН) и показали существенное улучшение точности определения уровня жидкости по сравнению с уже существующим устройством (50 мл против 200 мл), приемлемые временные характеристики и полную совместимость с существующим оборудованием, математическим обеспечением и алгоритмами обработки данных.

Вместе с тем, дополнительные испытания, проведенные в сильном магнитном поле, существующим в месте размещения оборудования цезиевой системы в шахте установки АТЛАС, показали наличие неприемлемых особенностей работы датчиков в этих условиях. Это приводит к необходимости доработки чувствительной части уровнемера и принципа определения положения поплавкового устройства в условиях наличия сильного магнитного поля. В качестве чувствительного элемента предложено использовать датчики магнитного поля, основанные на эффекте Холла, что позволит определять как напряжённость постоянной составляющей поля, так и возмущение этого поля магнитной системой поплавкового устройства.

В настоящее время производятся стендовые испытания по выбору типа датчика с учетом его характеристик и конструкции магнитной системы поплавкового устройства. Изменение типа датчика и принципа обработки получаемой с них информации приводит к

необходимости проведения модернизации всего комплекта плат уровнемера и их взаимодействия. Намеченные меры должны привести к улучшению точности и надёжности работы устройства, как при наличии магнитного поля, так и при его отсутствии.

6.3 Изготовление лабораторных образцов модулей управления помпами и управления клапанами ЦКСК

В 2014г. были изготовлены и успешно испытаны в лабораторных условиях образцы модулей управления помпами и клапанами в количестве по 3шт. каждого, что позволило в 2015г. приступить к изготовлению лабораторных образцов для полномасштабных испытаний в рамках стенда системы в здании 175 (ЦЕРН).

Оборудование одной цезиевой подсистемы включает в себя 43 гидравлических, 12 пневматических клапанов и насосное оборудование. Для полномасштабных испытаний в ИФВЭ и ЦЕРНе необходимо было изготовить два комплекта 8-канальных модулей управления клапанами (3U-Valves) и помпами (3U-Pump). Оба комплекта были изготовлены, протестированы в ИФВЭ и направлены на дальнейшие испытания в ЦЕРН.

В феврале – марте в ЦЕРНе завершены испытания лабораторных образцов модулей управления клапанами (3U- Valves) в количестве 15шт. и помпами (3U- Pump) в количестве 4шт. гидравлики цезиевой системы калибровки. Испытания показали полную совместимость с существующим оборудованием, функциональность и достаточную надёжность в эксплуатации.

Акты изготовления модулей ЦКСК представлены в приложении 9.

Оба комплекта лабораторных образцов оставлены работать в системе стенда зд.175 (ЦЕРН) для дальнейших тестов, проверки надёжности и доработки математического обеспечения в рамках общего развития системы.

7 Работы по жидкоаргоновому калориметру

7.1 Разработка оптимального алгоритма распаковки входных данных ЖАК в модуле декодера с последующей конвейерной обработкой данных

Модуль декодера входных данных блока LATOME (LAr Trigger processing MEzzanine – жидкоарготовый мезонин обработки триггеров), является составной частью LDPS (LAr Digital Processing System - жидкоаргоновая система цифровой обработки). Блок-схема LATOME показана на рисунке 32.

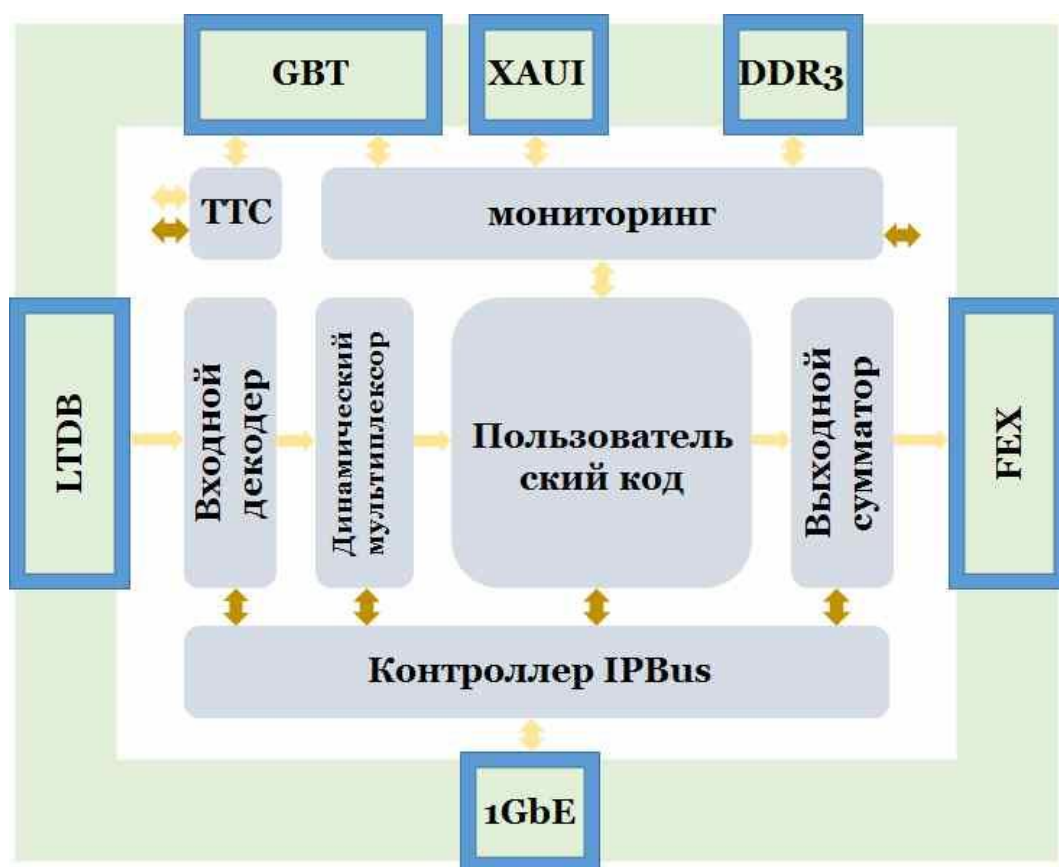


Рисунок 32 - Блок-схема LATOME.

Основной путь прохождения данных содержит следующие этапы:

1. Данные от LDTB (LAr Digital Processing Blade – жидкоаргоновый модуль цифровой обработки) поступают на вход Входного декодера (ВД), где преобразуются из последовательной формы в параллельную. Общее количество входных каналов LATOME составляет 48, которые поступают по ВОЛП (волоконно-оптическая линия передачи).
2. Далее данные в Динамическом мультиплексоре (ДМ) реорганизуются в 32 канала, соответствующие 32 Триггерным башням (ТБ), обрабатываемым данным LATOME.
3. В модуле «Пользовательский код» выполняется основная обработка данных – вычисление выделенной энергии и временную метку соответствующего события.
4. В Выходном сумматоре происходит суммирование вычисленной энергии по

элементам принадлежащим отдельным ТБ и определённым областям пространства $\eta - \phi$ калориметра.

5. Данные после Выходного сумматора отправляются в систему триггер FEX (Feature EXtractor).

В инфраструктуре LATOME также имеются следующие дополнительные компоненты:

1. GBT – разработанный в ЦЕРН радиационно-стойкий интерфейс скоростной передачи данных. По GBT интерфейсу данные передаются в систему TDAQ (Trigger & Data Acquisition system) детектора Атлас.
2. С помощью интерфейса XAUI (X Attachment Unit Interface) обеспечивается 10-Гигабитный интерфейс связи модуля LATOME для мониторинга его работы.
3. В задачу мониторинга входит накопление разнообразных гистограмм, которое происходит во внешней по отношению к ПЛИС (Программируемая Логическая Интегральная Схема) динамической памяти типа DDR3.
4. По Гигабитному каналу Ethernet (1GbE) происходит загрузка в LATOME конфигурационных данных.

Функции входного декодера (ВД):

1. Преобразование входных данных из последовательного кода в параллельный формат. При этом выделяются временные метки (BCID) и проверяется контрольная сумма пакетов. Входные данные LATOME закодированы последовательным кодом и передаются на тактовой частоте 5.4 Гбит/с. В аппаратный приемниках последовательных сигналов данные преобразуются в неформатированный поток 16 битных данных. Задача ВД – выделить пакеты, относящиеся к одной временной отметки. При этом формат выходные данные – восемь 12 битных отсчётов АЦП (аналогово-цифровой преобразователь), мультиплексированные по времени на частоте 320 МГц.
2. Выравнивание данных в разных каналах. Так как длина ВОЛП в разных каналах определяется расстоянием от конкретного модуля LTDB до LATOME, и задержка в разных модулях LTDB может отличаться, то в LATOME данные приходят с разной фазой. Задаче входного демодулятора заключается во выравнивании по времени данных из разных каналов данных и перевод данных из домена тактовых сигналов своей ВОЛП в домен общего системного тактового сигнала.
3. Перестановка выходных данных для последующей обработки. При разработке Динамического мультиплексора (ДМ) было выявлено условие, заключающееся в том, что выборки, принадлежащие одной ТБ, должны быть разнесены по времени. При этом можно сократить количество требуемых ресурсов и упростить трассировку дизайна. Вследствие этого было решено в ВД выполнять перестановку выходных данных для выполнения этого условия.
4. Для отладки LATOME при отсутствии входных сигналов необходимо подставлять искусственные данные вместо реальных. Такая подстановка является одной из задач ДМ

На рисунке 33 показана блок-схема реализованного ВД, где отображены функциональные элементы ВД и обозначены входные, выходные сигналы, а также сигналы между элементами.



Рисунок 33 - Функциональные элементы блока декодера

Здесь выделены 3 функциональных блока ВД: входная обработка, выполняющая задачу выделения данных из потока; генератор тестовых данных, содержащий буфер на 512 выборок тестовых данных для 48 каналов и блок выполняющий общее выравнивание данных в разных каналах по времени.

Входные сигналы, входящие в интерфейс с аппаратными приёмниками lli_istage_ltdb_data_st и сигналы управления перечислены в таблице 2.

Таблица 2 - Входные сигналы (интерфейс lli_istage_ltdb_data_st) и сигналы управления

Сигнал	Назначение
data	данные от аппаратных приёмников последовательного сигнала
valid	флаг присутствия актуальных данных в данном канала
rx_bitslip	команда на пропуск бита в аппаратном приёмнике для выравнивания данных
xcvr_rx_320_clk	тактовый сигнал, восстановленный из ВОЛП. Входные данные синхронны с этим сигналом
xcvr_rx_320_rst	сигнал сброса аппаратного приёмника в случае рассинхронизации.
ttc_320_clk	системный тактовый сигнал
ttc_320_rst	системный сигнал сброса

ttc_istage_bcid_st	сигнал временной метки от системы TTC
ipctrl_100_clk	тактыый сигнал подсистемы медленного контроля LATOME
ipctrl_100_rst	сигнал сброс подсистемы медленного контроля LATOME
ipctrl_100_data	данные подсистемы медленного контроля LATOME

Их можно разделить на три группы: данные от LTDB, сигналы (ttc_*) от системы TTC (Trigger & Timing Control) и канал медленного контроля (ipctr_*) для загрузки конфигурационных данных в модуль ВД, в том числе тестовых данных для Генератора тестовых данных.

Выходные сигналы, входящие в интерфейс с динамическим мультиплексором istage_remap_sc_data_aligned_c, и их назначение перечислены в таблице 3.

Таблица 3 - Выходные сигналы (интерфейс istage_remap_sc_data_aligned_c)

Сигнал	Назначение
Data	выходные данные выборки АЦП
startofpacket	метка начала пакета из 8 выборок
valid	флаг присутствия актуальных данных в данном канала
Bcid	временная метка пакета данных

7.2 Моделирование работы декодера ЖАК

Для верификации разработанного модуля входного декодера (ВД) был разработан стенд моделирования поведения модуля при разных входных сигналах. Всего была разработано 3 типа тестов:

- Верификация выделения пакетов входных данных и временных меток, проверка контрольной суммы;
- Верификация выравнивания по времени между каналами;
- Верификация Генератора тестовых данных

Блок-схема стенда моделирования показана на рисунке 34.

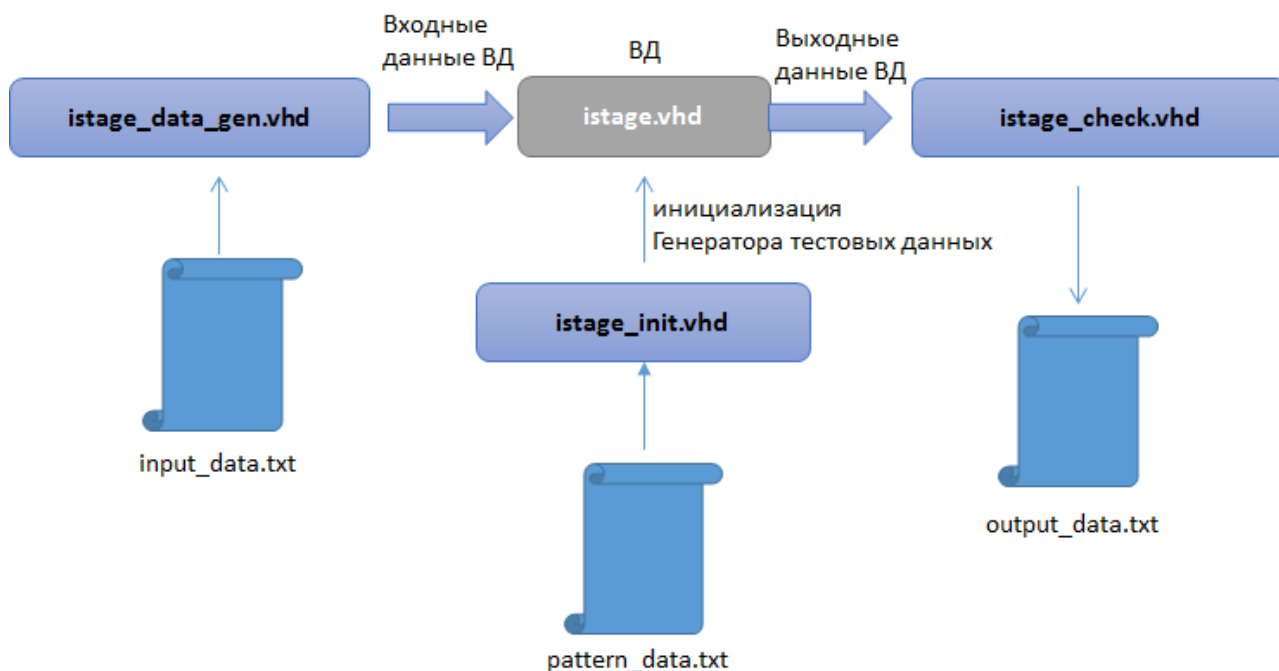


Рисунок 14 - Стенд для верификации ВД

Стенд для моделирования включает 3 функциональных модуля: `istage_data_gen.vhd`, `istage_init.vhd`, `istage_check.vhd`, подробное описание которых представлено ниже.

Модуль `istage_data_gen.vhd` загружает имитируемые данные АЦП из текстового файла `input_data.txt`. Файл `input_data.txt` содержит 1000 строк (количество выборок АЦП, используемых в моделировании). В каждой строке этого файла содержится 384 ($=48*8$) целых чисел, разделённых пробелом и соответствующие 8 выборкам в каждом из 48 входных каналов. Модуль `istage_data_gen.vhd` подмешивает к входным данным временные метки и контрольную сумму и формирует временные диаграммы входных сигналов, имитирующие реальный входной поток данных. В качестве параметров модуль `istage_data_gen.vhd` принимает 48 значений имитирующих относительные задержки в каждой ВОЛП: `FIBER_N_DELAY`, где N – номер ВОЛП.

Модуль `istage_init.vhd` загружает тестовые данные из текстового файла `pattern_data.txt`. Файл `pattern_data.txt` содержит 4096 ($=512*8$) строк (количество выборок АЦП, используемых в моделировании 512 временных отметок, по 8 выборок в каждом пакете). В каждой строке этого файла содержится 48 целых чисел, разделённых пробелом для каждого из 48 входных каналов. При переключении ВД в режим подстановки тестовых данных, данные из буфера Генератора тестовых сигналов заменяют данные, поступающие на входы по ВОЛП.

Модуль `istage_check.vhd` анализирует временную диаграмму выходных данных модуля входного декодера, декодирует их и записывает в текстовый файл `output_data.txt` для дальнейшего анализа. На каждый пакет выходных данных, выделенный сигналом `startofpacket` в файле сохраняется строка из 384 целых чисел по 8 выборок, входящих в один пакет, относящийся к каждому каналу данных.

После отладки реализованного модуля все тесты дали положительный результат. В таблице 4 приведены детали проведённых тестов.

Таблица 4 – Результаты тестов входного декодера.

Файл входных данных	Файл тестовых данных	Результат теста	Примечание
input_data1.txt	pattern_data1.txt	УСПЕШНО	Начальный тест по выделению данных АЦП, проверки контрольной суммы и выделению временных меток.
input_data2.txt	pattern_data1.txt	УСПЕШНО	Тест на корректное поведение по выделению временных меток в случае нарушения регулярной последовательности меток
input_data3.txt	pattern_data1.txt	УСПЕШНО	Тест с принудительной ошибочной контрольной суммой, для проверки корректного поведения модуля ВД в этом случае
input_data3.txt (разные параметры задержек)	pattern_data1.txt	УСПЕШНО	Тест на корректное поведение модуля при принудительном сдвиге данных в разных ВОЛП
input_data1.txt	pattern_data1.txt (режим тестовых данных)	УСПЕШНО	Тест подстановки тестовых данных
input_data1.txt	pattern_data2.txt (режим тестовых данных)	УСПЕШНО	Тест подстановки тестовых данных. Второй вариант тестовых данных

7.3 Разработка принципиальных схем предварительных формирователей сигналов жидкоаргоновых калориметров

С учетом положительных результатов проведенного нами на 1-м этапе ПНИЭР моделирования деградации сигнала жидкоаргонового адронного калориметра, ожидаемой из-за радиационных повреждений предусилителей, сотрудничеством АТЛАС было принято решение о том, что холодные предварительные усилители адронного калориметра не будут заменены. Такое решение потребовало изменения архитектуры новой электроники считывания с торцевого ЖАК в её двух компонентах: предварительный формирователь для адронного калориметра и аналоговая часть нового триггерного модуля. Принципиальные схемы и требования к электрическим характеристикам усилителей и предварительных формирователей представлены в приложении №10.

Произведена коррекция амплитуд входных и выходных сигналов с учетом предполагаемой новой технологии производства специализированных микросхем (Приложение №10, п.п.1). Для производства ASIC на данном этапе рассматриваются две перспективные радиационно-стойкие технологии: первая на основе SiGe 7WL фирмы IBM и вторая на основе 65 nm CMOS. Отличие этих технологий от используемых ранее на основе Si - это меньший диапазон напряжения питания, что требует соответствующего уменьшения максимальных амплитуд сигналов. Если сигналы в действующей электронике достигают 3÷4 Вольт, то в новых микросхемах они не должны превышать 2÷2,5 Вольт.

Предложена принципиальная схема формирователя и проведено моделирование одного канала с использованием коммерческих микросхем. Разработана рабочая схема прототипа формирователя (рисунок 1 в Приложении № 10) и проведено моделирование его характеристик (рисунок 2 в Приложении № 10). Данный прототип необходим для отработки принципов построения формирователя и изучения полученных характеристик.

Разработана и изготовлена универсальная печатная плата для проведения тестов формирователя (рисунок 3 в Приложении № 10). С помощью этой платы предполагается измерить характеристики формирователя и внести, если будет необходимо, коррекции в предложенную схему. Также предполагается использование данной печатной платы в новом эксперименте NiLum2 в качестве усилителя (работы по теме «Выбор вариантов переднего мини-калориметра, удовлетворяющих требованиям эксперимента АТЛАС по энергетическому и временному разрешениям и радиационной стойкости»).

Проработана структура и создан стенд (рисунки 4 и 5 в Приложении № 10) для измерения характеристик прототипа формирователя. Для оснащения стенда за счет средств, полученных по настоящему соглашению, приобретен импульсный генератор Tektronix, с помощью которого появилась возможность вырабатывать реальные треугольные сигналы, подобные сигналам от детектора. Используемый высокочастотный осциллограф Tektronix DPO4104B позволит изучать сигналы с точностью до долей наносекунды.

Так как на первом этапе модернизации детектора предполагается использование параллельно двух цепей передачи триггерных сигналов, существующего аналогового и разрабатываемого цифрового, проведено моделирование совместной работы этих цепей и рассчитаны необходимые коэффициенты усиления для сигналов адронного калориметра в той и другой цепи. Особое внимание было уделено прохождению сигналов по несогласованной линии к модулю LTDB. Показано, что отражения на несогласованной линии ухудшают сигналы, но незначительно (не более 1% по амплитуде).

Предложен способ получения необходимых форм сигналов. Интегрирующий полюс, который в действующей системе находился в приемнике триггерных сигналов, теперь необходимо перенести в аналоговую цепь модуля LTDB.

Разработана схема соединений триггерных каналов адронного калориметра между модулями FEB и передатчиками сигналов TDB и LTDB на базовой плате крейта. Совместно с коллегами из Канады (TRIUMF, Ванкувер) изготовлен первый опытный образец новой базовой платы. Проводятся ее испытания для определения полученного волнового сопротивления.

8 Доработка облучательной установки на реакторе ИБР-2М ОИЯИ для обеспечения исследований радиационной стойкости элементов разрабатываемых детекторов, предназначенных для работы при повышенной светимости БАК

Созданная к настоящему времени облучательная установка, головная часть которой показана на рисунке 35, дает возможность облучения образцов в широком диапазоне флюэнсов быстрых нейтронов: до 10^{18} н см⁻² на расстоянии 40 мм от водного поглотителя реактора (100 MGy поглощенной дозы в воде) и до 10^{15} н см⁻² на фланце массивной части облучательной установки.

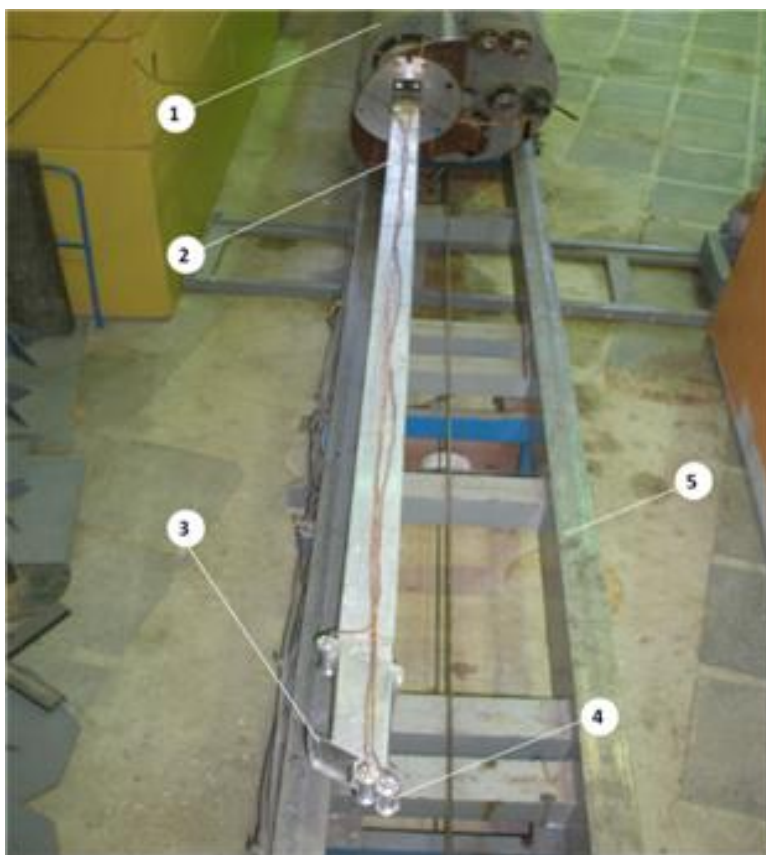


Рисунок 35 - Облучательная установка на канале № 3 экспериментального зала реактора ИБР-2М. Вид со стороны биологической защиты реактора: (1) - массивная часть облучательной установки, (2) – устройство для транспортировки образцов, (3) – металлический контейнер для размещения облучаемых образцов, (4) – облучаемые образцы, (5) – рельсовый путь.

Это было определено проведенными измерениями наведенной активности никелевых фольг, размещенных на разных расстояниях от активной зоны на транспортном двутавре. Относительное изменение активности с расстоянием от поверхности замедлителя реактора показано на рисунке 36. Поскольку активность прямо пропорциональна полученной дозе, такая «калибровка» позволяет заранее определять месторасположение облучаемых образцов в зависимости от требуемой для тестов величины флюенса быстрых нейтронов.

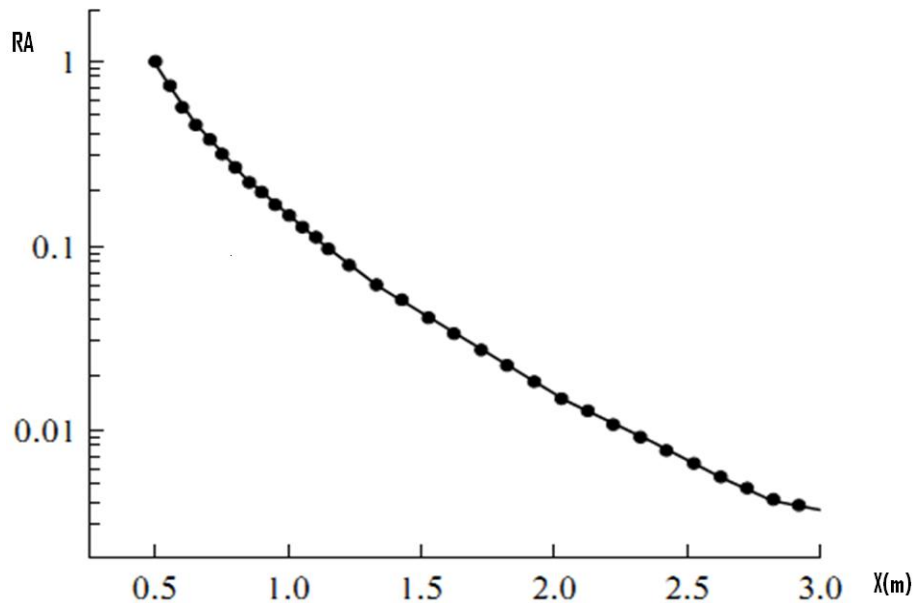


Рисунок 36 - Наведенная активность (RA) никелевых фольг в относительных единицах как функция расстояния X(м) от замедлителя реактора вдоль транспортного двутавра облучательной установки.

Однако такой подход не позволяет менять положение облучаемого образца в пространстве во время цикла работы реактора. Иногда возникает потребность вывести облучаемый образец из радиационного поля, например, для промежуточного контроля эффекта облучения или измерений.

Чтобы реализовать такую возможность на установке, ее требуется доработать. Ведется конструкторская проработка возможных решений. В данной конфигурации практически невозможно вводить образцы из экспериментального зала и помещать их в заданное место двутавра. Верхняя поверхность двутавра плоская и имеет достаточную ширину для размещения на ней перемещаемой тележки. Выходная апертура канала дает возможность разместить на верхней поверхности двутавра направляющие для движения тележки с образцами. Эти направляющие должны позволять перемещаться как вдоль двутавра на полную его длину, так и (возможно) поперек оси канала в зоне крепления фланца двутавра к торцу цилиндра. Необходимо также выбрать подходящий метод перемещения платформы, с тем, чтобы мощные радиационные нагрузки не разрушили материалы устройства перемещения. Показанная на рисунке 37 схема облучательной установки дает возможность реализовать смену облучаемых образцов во время цикла работы реактора без сброса мощности последнего.

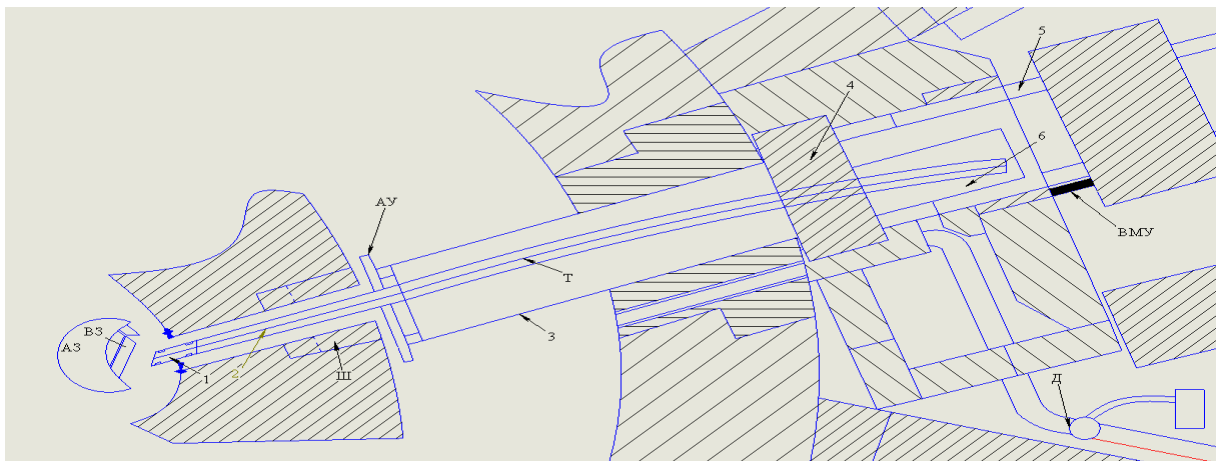


Рисунок 37 - План размещения облучательной установки: АЗ – активная зона, ВЗ – водяной замедлитель, 1 – транспортная тележка, 2 – транспортная труба, Ш – шибер 3 канала, АУ – автоматические упоры (предотвращают механический контакт транспортной трубы с АЗ), 3 – головная часть облучательной установки, Т – транспортная труба, 4 – шибер облучательной установки, 5 – рельсовый путь, 6 – защитная ловушка, ВМУ – видимый механический упор

В начале эксперимента (цикла реактора) перед подъемом мощности реактора облучательная установка находится у активной зоны реактора. Образец устанавливается на тележку (1), которая находится в защитной ловушке (6). Затем открываются шибер 3 канала (Ш) и шибер облучательной установки (4) для того, чтобы обеспечить тележке с образцами возможность перемещаться к активной зоне. Автоматизированная система управления передвижением транспортной тележки, пульт управления которой находится в экспериментальном домике, включает привод тележки, которая начинает двигаться по изогнутой трубе (Т) внутри головной части (3) установки, а затем по транспортной трубе (2). Закрывается шибер облучательной установки (4). Спустя некоторое время тележка с образцом доставляется в требуемое положение на транспортной трубе к активной зоне реактора (АЗ). Реактор выводят на мощность, и образцы облучаются в течение времени, заданного программой работ. Смена образцов во время облучения происходит следующим образом. После окончания планируемого времени облучения (реактор находится на мощности) тележку перемещают от активной зоны к шиберу облучательной установки. Открывают шибер облучательной установки, тележку перемещают в защитную ловушку, и закрывают шибер. Когда шибер открыт, все ионизирующее излучение от реактора и образцов с тележкой должно поглощаться защитной ловушкой. Облученные образцы снимают с тележки и вместо них устанавливают новые. Затем тележку перемещают вплотную к шиберу облучательной установки и снова открывают его. После полного открытия шибера тележку перемещают в нужное положение на транспортной трубе к активной зоне и шибер закрывают.

Проведена конструкторская проработка предложенной системы перемещения образцов (рисунок 38), которая позволяет реализовывать три постановки облучательных экспериментов: 1) эксперимент со сменой образцов только в конце цикла при помощи

тележки, 2) эксперимент со сменой образцов во время цикла, 3) эксперимент без использования тележки (например, образцы с кабелями для измерения электрических сигналов во время набора флюэнса).

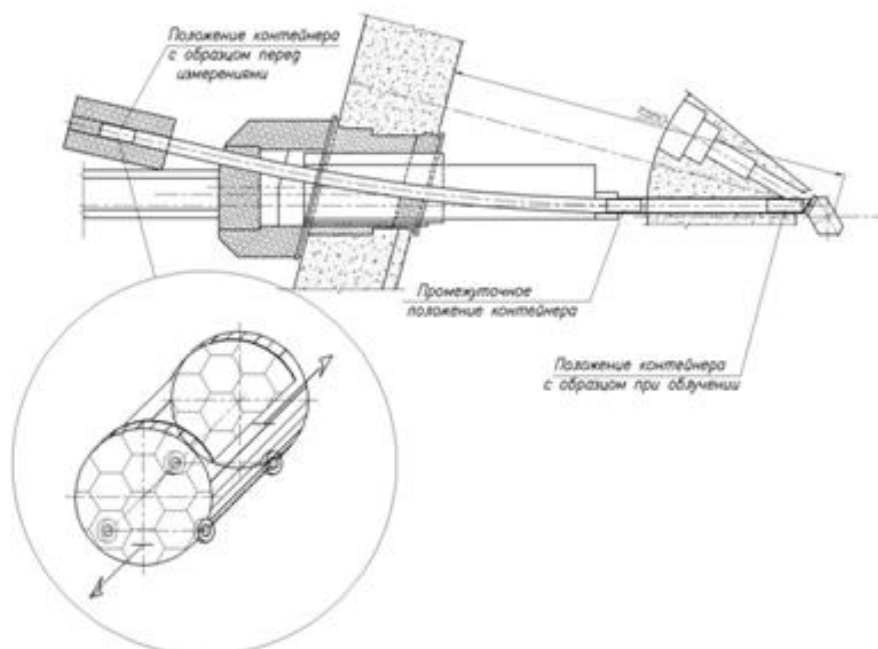


Рисунок 38 - Схема перемещения облучаемых образцов в канале №3 реактора ИБР-2М.

Установка обеспечивает необходимые радиационную (защитная ловушка – б) и ядерную безопасности для исследовательского персонала. Последняя достигается тем, что при проведении экспериментов на облучательной установке на 3 канале экспериментального зала №2 ИБР-2 система передвижения тележки с образцами не допускает приближение переднего края тележки к задней стенке водяного замедлителя ВЗ-303 (прил.1, ВЗ) на расстояние менее 50 мм. Непредвиденное сближение облучательной установки с водяным замедлителем исключается наличием видимого механического упора (ВМУ), который устанавливается на заданном расстоянии.

Защитная ловушка, предназначенная для обеспечения радиационной безопасности персонала, применяется и для временного хранения облученных образцов и защиты персонала от прямого нейтронного пучка и гамма активности от реактора. Она представляет собой прямоугольный бокс, внутри которого находится часть транспортной трубы, выходящей из шибера, с тележкой. Защитная ловушка должна защищать персонал от воздействия гамма-квантов и рассеянных нейтронов, приходящих из активной зоны во время открытия шибера облучательной установки. Она изготовлена из двух слоев вещества, один из которых поглощает нейтроны, а другой – гамма-кванты (например, борированный полиэтилен и свинец). Толщина слоев зависит от мощности дозы и рассчитывается с ее учетом. По нейтронам максимальная мощность дозы при полностью открытом шибере составляет – 30 мЗв/час, по гамма-квантам – 30 мЗв/час.

Кроме того защитная ловушка имеет двери для обеспечения доступа к образцам во время эксперимента. Защитная ловушка установлена на металлической платформе облучательной установки и перемещается вместе с ней.

Устройство мобильной доставки облучаемых образцов позволит существенно поднять эффективность использования реакторного времени за счет параллельных облучений.

9 Работы по оптическим кабелям ЖАК

9.1 Разработка спецификации на оборудование для проверки кабелей ЖАК (блоков расширения к рефлектометру)

Контрольно-измерительное оборудование для проверки оптических кабелей ЖАК должно иметь в своем составе следующие компоненты:

- оптический рефлектометр (OTDR, Optical Time Domain Reflectometer);
- компенсационные катушки;
- электронный микроскоп.

На данном этапе выполнения работ по соглашению приобретается оптический рефлектометр (OTDR), поэтому ниже приведена спецификация именно на этот прибор.

Требования к оптическому рефлектометру.

Оптический рефлектометр должен

- иметь возможность связи с персональным компьютером при помощи разъемов типа USB;
- иметь достаточную собственную встроенную память для хранения результатов измерений;
- выполнять функции следующих приборов, используемых для измерения характеристик оптических кабелей (патч-кордов, от англ. *patching cord* — соединительный шнур) ЖАК:
 - оптического рефлектометра;
 - измерителя мощности оптического излучения;
 - источника видимого излучения.

Характеристики оптического рефлектометра.

Питание прибора осуществляется от сети переменного тока напряжением питания 220 В, частоты 50 Гц или от встроенной аккумуляторной батареи.

Рабочие условия эксплуатации оптического рефлектометра:

- температура окружающего воздуха – от минус 10 до плюс 50°C;
- относительная влажность воздуха – не более 90% при 25°C;
- атмосферное давление – от 70 до 106,7 кПа.

Диапазон измеряемых расстояний (км) – 2; 5; 10; 20; 40; 80.

Тип тестируемого оптического волокна – многомодовое.

Диаметр ядра оптического волокна – 50 мкм

Требуемая длина волны излучения – 850±20 нм.

Длительность зондирующих импульсов (нс) – 6, 12, 25, 100, 300, 1000.

Разрешение (интервал дискретизации сигнала обратного рассеяния), определяемое установленным диапазоном измеряемого расстояния – 0,16 м.

Величины мертвой зоны рефлектометра:

- по отражению: 1,2 м;
- по затуханию: 4,5 м.

Динамический диапазон (дБ), не менее:

- 14,5 при длительности зондирующего импульса 6нс;
- 20,0 при длительности зондирующего импульса 100 нс;
- 25,0 при длительности зондирующего импульса 1000 нс.

Минимальная дискретность отсчета при измерении затухания составляет 0,001 дБ.

Пределы допустимой абсолютной погрешности при измерении затухания в нормальных условиях составляют не более $\pm (0,04 \cdot \alpha)$ дБ, где α - измеряемое затухание, дБ.

Пределы допустимой абсолютной погрешности при измерениях затухания в рабочем диапазоне температур составляют не более $\pm (0,05 \cdot \alpha)$ дБ, где α - измеряемое затухание, дБ. Оптические кабели подключаются к рефлектометру через оптический разъем требуемого типа, который определяется техническим заданием ЦЕРН.

Время установления рабочего режима - не более 15 минут.

Характеристика прибора в качестве измерителя оптической мощности.

Длина волны калибровки: (850 ± 5) нм.

Диапазон измерения оптической мощности, дБм:

- стандартный: от -60 до +3;
- высокий: от -40 до +23.

Пределы допустимой относительной погрешности измерения мощности оптического излучения на длине волны калибровки, % (дБ):

- при стандартном диапазоне измерения оптической мощности: $\pm 8\%$ ($\pm 0,33$ дБ);
- при высоком диапазоне измерения оптической мощности: $\pm 8\%$ ($\pm 0,33$ дБ).

Пределы допустимой относительной погрешности измерения относительных уровней мощности оптического излучения, % (дБ):

- при стандартном диапазоне измерения оптической мощности - $\pm 4\%$ ($\pm 0,17$ дБ);
- при высоком диапазоне измерения оптической мощности - $\pm 4\%$ ($\pm 0,17$ дБ);

Дискретность отображения мощности оптического излучения в единицах дБм - 0,01 дБм.

Изменение мощности оптического излучения относительно опорного значения отображается в децибелах с дискретностью 0,01 дБ.

Для подключения ОВ используются сменные адаптеры для разъемов различных типов.

Характеристика прибора в качестве источника видимого излучения.

Длина волны – (650 ± 20) нм.

Выходная мощность – от 0,5 мВт до 0,9 мВт.

Режим излучения – импульсный и непрерывный.

Тестируемый кабель подключается к источнику видимого излучения через универсальный адаптер.

9.2 Отработка методики тестирования оптических кабелей ЖАК.

На данном этапе выполнения ПНИЭР разработана методика тестирования специальных оптических кабелей с помощью оптического измерительного многофункционального прибора МТР 6000 (далее “прибор МТР 6000”).

Разработанная методика предназначена для измерения параметров специальных оптических кабелей, оценки их качества и возможности применения в модулях модернизируемой электроники жидкоаргоновой подсистемы детектора АТЛАС с помощью прибора МТР 6000.

Выбранная модификация прибора МТР 6000 включает в себя многомодовый оптический рефлектометр на длину волны 850 нм, измеритель оптической мощности и источник видимого излучения с длиной волны излучения 650 нм.

В качестве оптического рефлектометра прибор МТР 6000 предназначен для измерения:

- затухания в оптических волокнах (ОВ) и их соединениях;
- длины ОВ и волоконно-оптических линий;
- расстояния до мест неоднородностей и соединений ОВ.

В качестве измерителя мощности прибор МТР 6000 предназначен для измерения мощности оптического излучения и затухания в ОВ и волоконно-оптических компонентах. В качестве источника видимого излучения прибор МТР 6000 предназначен для генерации видимого света, что позволяет визуально определять места повреждения ОВ.

Прибор МТР 6000 может применяться при производстве ОВ и оптических кабелей, а также при монтаже и эксплуатации волоконно-оптических линий связи для контроля состояния кабелей и прогнозирования неисправностей в них. Прибор МТР 6000 может работать в лабораторных и полевых условиях, как от внешнего источника питания, так и автономно.

Нормативная ссылка:

Приборы оптические измерительные многофункциональные МТР 6000 зарегистрированы в Государственном реестре средств измерений Российской Федерации под № 44290-10; сертификат ВУ.С.37.399.А № 39734.

Общие технические характеристики прибора МТР 6000

Питание прибора осуществляется:

- от встроенной аккумуляторной батареи напряжением $(6,5 \pm 1)$ В и емкостью 3 А·ч;
- от сети переменного тока напряжением питания (230 ± 23) В, частоты $(50 \pm 0,4)$ Гц через блок питания FW7333/12 с выходным напряжением + 12 В.

Мощность, потребляемая от сети переменного тока (230 ± 23) В, частоты $(50 \pm 0,4)$ Гц составляет не более 25 Вт. Ток, потребляемый от встроенной аккумуляторной батареи, не более 0,5 А.

Время заряда аккумуляторной батареи при заряде ее с помощью блока питания FW7333/12 - не менее 10 часов.

Прибор МТР 6000 обеспечивает свои технические характеристики по истечении времени установления рабочего режима, равного 10 мин.

Время непрерывной работы прибора МТР 6000 составляет:

- при питании от полностью заряженной аккумуляторной батареи не менее 5 ч;
- при питании от сетевого блока питания не менее 8 ч.

Время перерыва до повторного включения прибора МТР 6000 после полного цикла работы в непрерывном режиме должно быть не менее 15 минут.

Прибор МТР 6000 имеет жидкокристаллический (ЖК) экран с размером по диагонали 4,3”.

Управление работой прибора МТР 6000 осуществляется с помощью клавиатуры, расположенной на его передней панели.

Управление работой прибора МТР 6000, отображение и хранение результатов измерения может осуществляться с помощью персонального компьютера. Связь с персональным компьютером осуществляется через порт USB-B.

Габаритные размеры прибора МТР 6000 не более 226x149x43 мм.

Масса прибора МТР 6000 с аккумуляторной батареей не более 1,5 кг.

Требования к погрешности измерений или приписанные характеристики погрешности измерений:

Пределы допускаемого значения абсолютной погрешности измерения расстояний в нормальных условиях составляют:

$$\Delta L = \pm (dl + dL + 3 \cdot 10^{-5} \cdot L),$$

где $dl = 0,5$ м;

dL - разрешение (интервал дискретизации сигнала обратного рассеяния), определяемое установленным диапазоном измеряемого расстояния; величина dL может принимать значения 0,16; 0,32; 0,64; 1,3; 2,5; 5,1; 3,8 и 7,6 м;

L – измеряемое расстояние, м.

Аналогично, пределы допустимого значения абсолютной погрешности измерения расстояний в рабочем диапазоне температур составляют:

$$\Delta L = \pm (dl + dL + 5 \cdot 10^{-5} \cdot L).$$

Динамический диапазон измерения затухания для длины волны излучения 850нм составляет (дБ):

- 14,5 для длительности импульса 6 нс;
- 20,0 для длительности импульса 100 нс;
- 25,0 для длительности импульса 1000 нс.

Величина мертвой зоны по отражению при коэффициенте отражения ≤ -40 дБ и длительности импульса – 6 нс составляет:

- по отражению – 1,2 м;
- по затуханию – 4,5 м.

Средства измерения и вспомогательные устройства

В разработанной методике измерения параметров специальных оптических кабелей используются следующие средства измерения и вспомогательные устройства:

- оптический рефлектометр МТР 6000 – используется для снятия рефлектограмм и измерения поглощения в оптическом кабеле;
- дополнительные компенсационные катушки - используются для того, чтобы сместить зону измерения относительно мертвой зоны рефлектометра а также для того, чтобы уменьшить количество подключений непосредственно на входных коннекторах рефлектометра;

- электронный микроскоп – служит для контроля чистоты и дефектности поверхностей оптического волокна непосредственно в коннекторах.

Методы измерений

Измерения с помощью оптического рефлектометра основано на явлении обратного релеевского рассеяния света в волокне и на отражении света от неоднородностей, вызванных наличием скачков показателя преломления. Импульсы света, распространяясь по линии, отражаются на неоднородностях линии и затухают вследствие поглощения в среде.

В большинстве моделей рефлектометров используется модульная конструкция (рисунок 39) [6].

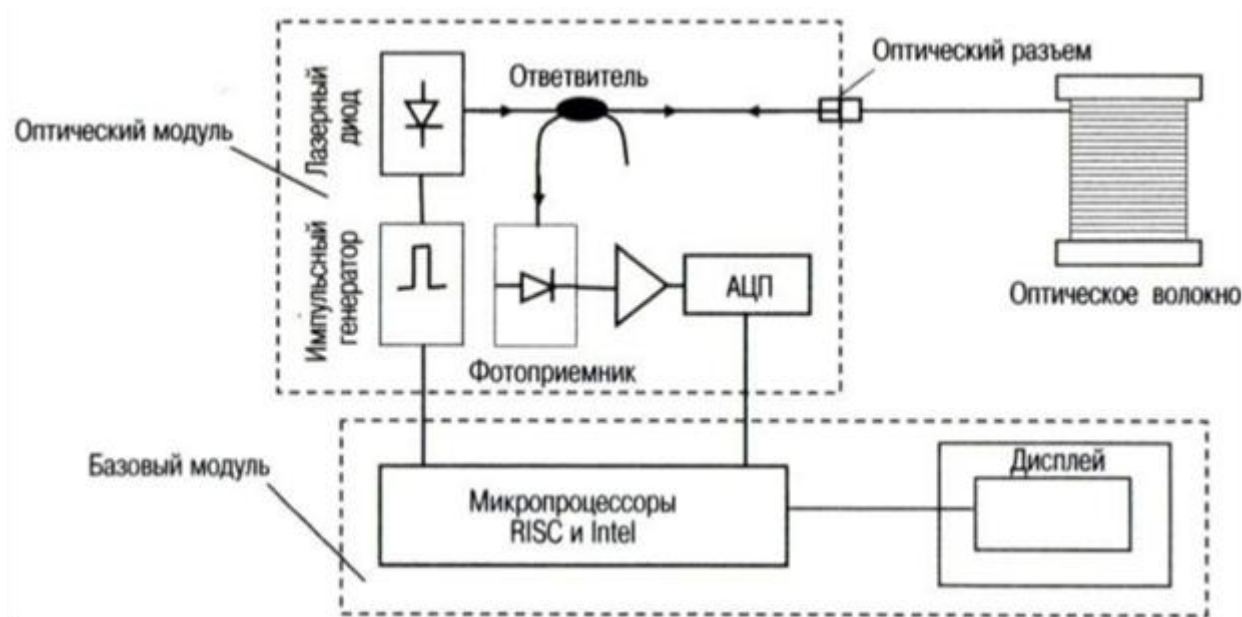


Рисунок 39 - Блок схема рефлектометра

Она содержит базовый модуль и несколько сменных оптических модулей. Базовый модуль представляет собой персональный компьютер, приспособленный для обработки сигнала и вывода его на дисплей. Оптический модуль включает в себя лазерный диод, фотоприемник, оптический ответвитель и оптический разъем. Стоимость оптического модуля зависит от величины его динамического диапазона и может в несколько раз превышать стоимость базового модуля. Модульная конструкция OTDR позволяет потребителю не только выбрать необходимую ему на данный момент конфигурацию прибора, но и в дальнейшем модернизировать прибор.

В качестве источника излучения в оптическом модуле обычно используются лазерные диоды. С их помощью генерируются импульсы мощностью 10...1000 мВт, длительностью от 2 нс...20 мкс и частотой повторения несколько кГц. Эти импульсы поступают через ответвитель на оптический разъем, к которому подключается исследуемое волокно. Рассеянные в волокне импульсы света возвращаются в оптический модуль и передаются с помощью ответвителя на фотоприемник (лавинный фотодиод), где они

преобразуются в электрический сигнал. Этот сигнал усиливается, накапливается, обрабатывается в базовом модуле и отображается на дисплее в графической форме в виде рефлектограммы. Такое представление информации позволяет анализировать её как визуально, так и автоматически с помощью встроенных программных алгоритмов.

Мощность рассеянных назад импульсов на 80...50 дБ (в зависимости от их длительности) меньше мощности импульсов, вводимых в волокно. Поэтому для улучшения отношения сигнал/шум используется многократное усреднение результатов измерений. Причем для их эффективного усреднения достаточно нескольких секунд, так как время, затрачиваемое на прохождение линии мало (100 км свет проходит за 1 мсек). Типичная рефлектограмма содержит около 32 000 измеряемых точек и при вычислении каждой такой точки усредняется несколько тысяч импульсов. Весь этот массив данных рефлектометр обрабатывает за долю секунды. Первая измеренная рефлектограмма сразу выводится на дисплей. Далее на дисплей выводятся усредненные рефлектограммы. При каждом удвоении времени измерений шумы в усредненной рефлектограмме уменьшаются примерно на 0,75 дБ.

Обработка большого массива данных и создание интерфейса для взаимодействия с пользователем осуществляется с помощью двух микропроцессоров. Первый, быстродействующий процессор RISC, дает возможность усреднять до 50 миллионов точек в секунду. Второй процессор Intel обеспечивает работу интерфейсной части программы, автопоиск дефектов в линии, вывод данных на дисплей. Он обеспечивает также совместимость с ПК, что позволяет применять не только обычное программное обеспечение, но и стандартное компьютерное оборудование. Такой рефлектометр представляет широкие возможности для обработки информации (восстановление в увеличенном виде любую из частей рефлектограммы, создание полного списка неоднородностей в линии и погонного затухания на участках между неоднородностями и т.д.).

Анализ рефлектограммы позволяет получить информацию о:

- общем затухании линейной части измеряемого тракта и отдельных его участков;
- расстоянии от точки ввода излучения в тестируемое волокно до неотражающих (поглощающих) неоднородностей;
- величине затухания и обратного отражения на каждой из зафиксированных неоднородностей.

Наличие неоднородности визуально отражается на рефлектограмме нарушением гладкости кривой обратного рассеяния, то есть появлением на ней ступенек и выбросов различной формы.

Каждый тип неоднородности (сварное соединение волокон, трещина, оптический разъем и т.д.) имеет свой характерный образ на дисплее OTDR, и может быть легко идентифицирован. Так, например, отражающие неоднородности (разъемные соединения волокон, трещины, торец волокна) проявляются на рефлектограмме в виде узких пиков, а неотражающие неоднородности (сварные соединения и изогнутые участки волокон) - в виде изгибов в рефлектограмме (рисунок 40) [7].

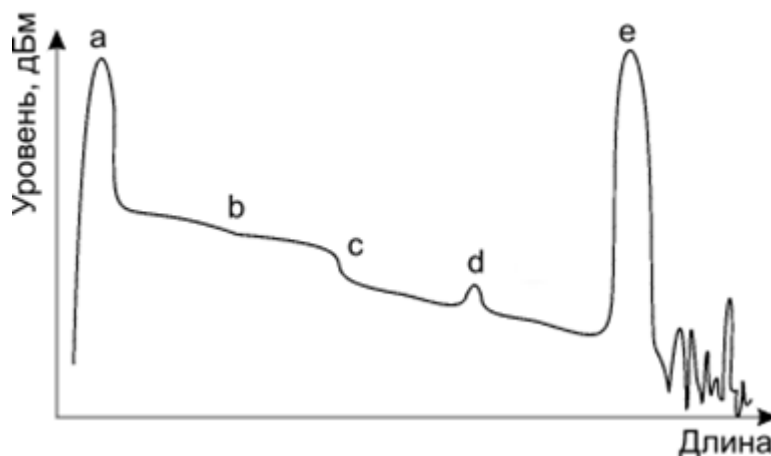


Рисунок 40 - Пример рефлектограммы с основными разновидностями регистрируемых событий: а – импульс френелевского отражения от входного конца; b – волокно без неоднородностей; с – сварной или механический неразъемный соединитель; d – оптический разъем; e – импульс френелевского отражения от выходного конца.

Расстояние до неоднородностей определяется по времени запаздывания импульсов, отразившихся от неоднородности и вернувшихся обратно в рефлектометр. Пересчет времени в расстояние осуществляется автоматически с помощью формулы $L = cT / 2n_g$, где c/n_g – групповая скорость распространения света в волокне, c – скорость света в вакууме, n_g – групповой показатель преломления волокна. Множитель $1/2$ учитывает то, что импульс света проходит участок длиной L дважды – в прямом и обратном направлении. Рефлектограмма представляется на дисплее OTDR как функция длины волокна.

Участки рефлектограммы, расположенные между неоднородностями, имеют вид прямых линий с отрицательным наклоном. Угол наклона этих прямых прямо пропорционален величине потерь в волокне.

Важным достоинством рефлектометрических измерений является то, что в них измерительный прибор подключается только к одному концу линии. Так как длина ВОЛП может достигать довольно больших значений, то ясно, что подключать измерительную аппаратуру только к одному концу такой линии значительно проще.

Требования безопасности, охраны окружающей среды

По способу защиты от поражения электрическим током прибор МТР 6000 соответствует ГОСТ 12.2.091, класс оборудования III, категория монтажа (перенапряжения) II, степень загрязнения 2.

Источник питания соответствует ГОСТ 12.2.091, класс оборудования II, категория монтажа (перенапряжения) II, степень загрязнения 2.

В области лазерной безопасности прибор МТР 6000 соответствует ГОСТ 12.1.040 и классу 1 МЭК 60825-1.

Во избежание попадания в глаза лазерного излучения, нельзя производить подключение и отключение ОВ к прибору МТР 6000 во время проведения измерений или проверки на обрыв волокна (горят светодиоды “LASER” или “VFL”).

Условия измерений

Условия окружающей среды при выполнении измерений прибором МТР 6000:

- температура окружающего воздуха – от минус 10 до плюс 50°С;
- относительная влажность воздуха - не более 90% при 25°С;
- атмосферное давление - от 70 до 106,7 кПа.

Подготовка к выполнению измерений

При питании от сети переменного тока необходимо использовать только блок питания, поставляемый в комплекте с прибором. Питание прибора может осуществляться также от встроенной аккумуляторной батареи.

Измеряемое ОВ присоединяется к рефлектометру через оптический разъем на верхней панели. Тип оптического разъема ОВ должен соответствовать типу разъема рефлектометра.

Для присоединения ОВ к измерителю оптической мощности используются сменные адаптеры для оптических разъемов типа FC, SC, ST.

Разъем источника видимого излучения является универсальным – к нему можно присоединять ОВ с любым разъемом, диаметр наконечника которого равен 2,5 мм. Разъем присоединяемого ОВ должен быть очищен от пыли и загрязнений.

Выполнение измерений

Поскольку длина тестируемого оптического кабеля в планируемом измерении меньше длины мертвой зоны рефлектометра (рефлектометры со сверхмалыми мертвыми зонами существуют, но их цена на много порядков превышает цену прибора МТР 6000), то для оценки потерь разработана следующая схема:

- тестируемый кабель подсоединяется в разрыв между двумя компенсационными катушками, потери на которых предварительно измерены, после чего производится измерение в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора;
- суммарные потери считаются приемлемыми, если они не превышают 0,7 дБ на сборку (тестируемый патч-корд, включающий в себя два коннектора и отрезки оптического кабеля длиной 0,35 м между ними), т.к. согласно техническому заданию потери на каждом из разъемов не должны превышать 0,35 дБ, а потерями в коротком ($\leq 0,35$ м) оптическом кабеле можно пренебречь;
- записанная информация о потерях и соответствующая рефлектограмма сохраняются в памяти прибора для дальнейшего анализа и паспортизации;
- описанная процедура может быть повторена и для инверсного подключения тестируемого кабеля (патч-корда) в случае невыполнения требования по суммарным потерям ($\leq 0,7$ дБ) с целью выявления проблемного коннектора.

Обработка результатов измерений

После стандартной обработки каждого отдельного измерения в соответствии с руководством по эксплуатации прибора и сохранения результатов составляется сводная таблица результатов тестов в электронном виде с целью дальнейшего анализа и паспортизации протестированных кабелей (патч-кордов).

По каждому из протестированных оптических волокон специальных кабелей проводится анализ рефлектограммы на характер и величину вносимых потерь. Все рефлектограммы хранятся в электронной форме для последующей их распечатки и приложения к паспортам кабелей при поставке в ЦЕРН. Распечатанные рефлектограммы также используются для отчетности.

Если потери в каком либо из волокон тестируемого кабеля превышают допустимые величины, необходимо провести визуальный контроль оптического контакта на наличие загрязнений или дефектов. После обнаружения и устранения проблемы проводятся повторные измерения.

Контроль точности результатов измерений

Контроль точности результатов проведенных измерений проводится путем сравнительного замера прибором МТР 6000 оптических характеристик кабеля (патч-корда), предварительно протестированного (паспортизованного) сторонней организацией независимым методом.

Контрольные измерения проводятся после каждых 100 серийных измерений. В случае несовпадения результата измерения с паспортным значением реперного патч-корда более чем на 10%, необходимо заменить дополнительную компенсационную катушку, либо соответствующий оптический коннектор на ней.

10 Работы по модернизации специального программного обеспечения.

10.1 Разработка программного обеспечения для оперативного детектирования «холодных» областей в триггерных каналах ЖАК

Число каналов (ячеек) в жидкоаргоновом калориметре (ЖАК) детектора АТЛАС составляет около 200 тысяч. Определенная часть каналов участвует в формировании триггерного сигнала. Поэтому очень важно отслеживать стабильность работы таких каналов для оперативного определения так называемых «холодных» областей (группы каналов или единичных каналов, в которых по тем или иным причинам наблюдается сравнительно низкая загрузка сигнальных событий). Затем, по возможности быстро, производится ремонт (замена) соответствующих неисправных блоков электроники и ставится отметка в базах данных, что позволяет внести соответствующую поправку при анализе физических процессов.

Для оценки стабильности поведения каналов ЖАК во время набора данных, а также для выявления возможных поломок, регулярно проводятся специальные калибровочные прогоны.

Для обработки этих данных существует определенное программное обеспечение. В настоящее время в своей работе данный пакет опирается на уже известные (определенные по неким опорным данным) границы параметров, используемых для оценки качества данных. В новом сезоне (2015) было решено проверить данные границы и при необходимости их заменить. С этой целью был разработан специальный программный пакет "Validation threshold retuning" («Настройка порогов для мониторинга»).

Другой задачей мониторинга в ЖАК является независимый поиск «плохих» каналов без использования опорных значений. Для этого ячейки группируются на основании их одинаковой геометрии (фи-симметрия). Данный пакет называется «Bad channel hunter» («Охотник за плохими каналами»).

Программный пакет "Validation threshold retuning"

В настоящее время автоматически запускаемый процесс (AutomaticValidationTool - AVT) для валидации (проверки правильности) калибровочных данных на ЖАК использует набор констант, которые определяют границы отклонений для ряда получаемых параметров в ячейках. Существуют три типа калибровочных прогонов, каждый из которых содержит свой набор параметров:

- Delay калибровка: максимальная амплитуда сигнала, ширина сигнала и время;
- = Ramp калибровка: офсет (смещение при нулевой амплитуде сигнала) и коэффициент усиления;
- Pedestal калибровка: шум и пьедестал.

Помимо этого калибровочные данные набираются для каждого из трех типов усиления: low (низкое), medium (среднее) и high (высокое).

В связи с тем, что используемые в работе AVT константы в свое время были выбраны сравнительно грубо (только по частям ЖАК, слои не разделяются) и, в итоге, не вполне отражают текущее положение дел, было решено их переопределить на основании свежих данных.

Для этого написан программный пакет "Validation threshold retuning" (VTR), который формирует список калибровочных прогонов на основании одинаковых условий набора данных (например, статус магнитного поля в ATLAS, недельная или дневная калибровочная кампания и т. п.). Далее из этого списка произвольно выбирается опорный прогон, а для всех остальных прогонов получают границы допустимых отклонений для указанного выше ряда параметров. Таким образом, для каждого параметра набирается свой спектр отклонений (см. рисунки 41 и 42) и в итоге получаем набор границ для этого параметра в зависимости от: части калориметра, слоя в этой части калориметра и коэффициента усиления.

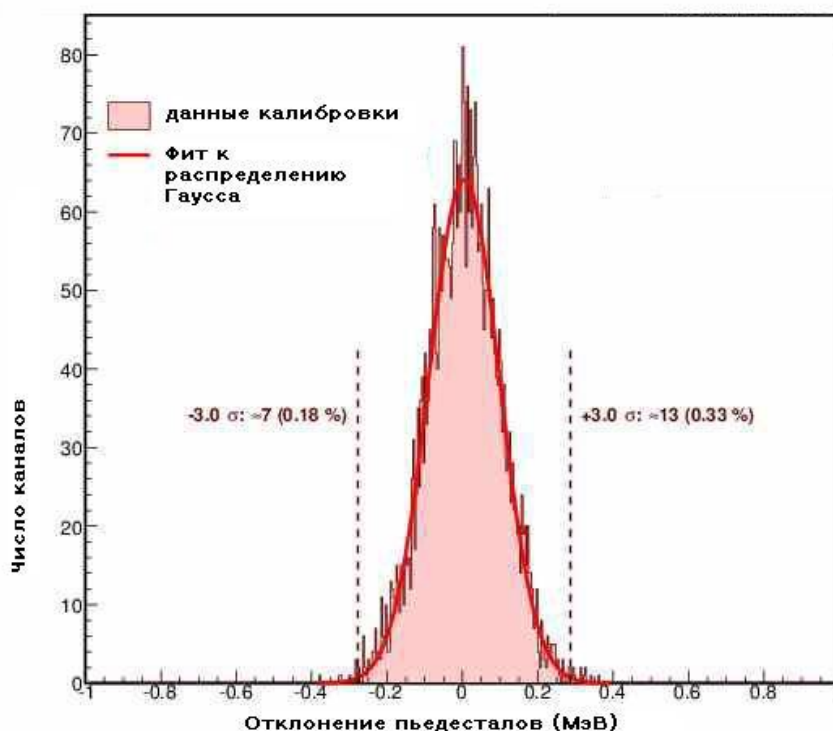


Рисунок 41 - Пример распределения отклонения пьедесталов и полученные пороги для баррельной части ЖАК (слой PS (пресамплер), усиление MEDIUM (среднее), недельная калибровочная кампания).

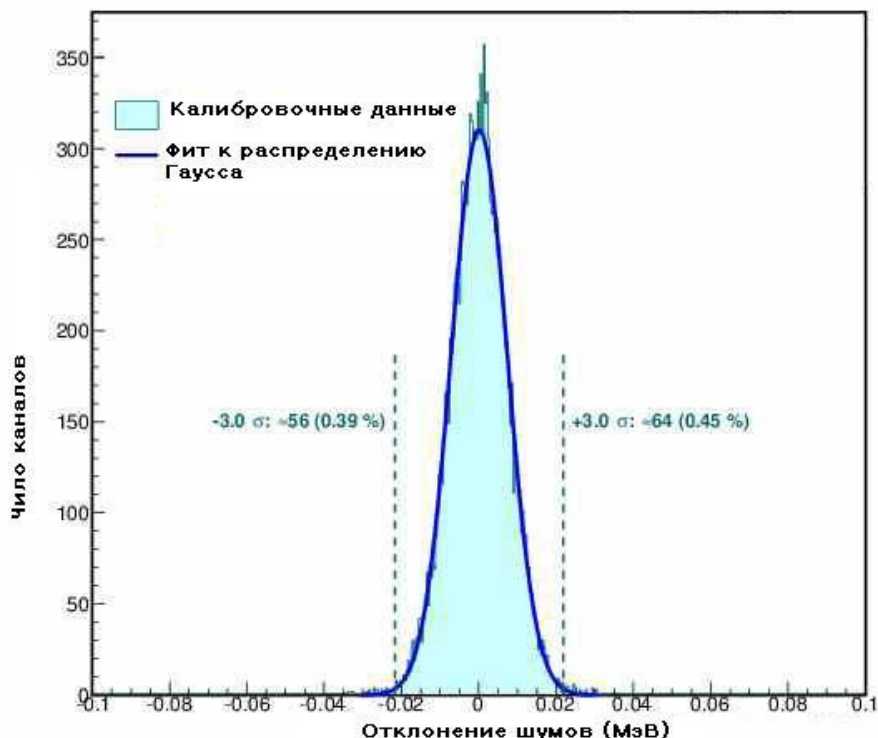


Рисунок 42 - Пример распределения отклонения шумов и полученные пороги для торцевой части ЖАК (слой FRONT (передний), усиление LOW (низкое), дневная калибровочная кампания)

В конечном итоге пакет VTR выдает так называемые карты «плохих» каналов для каждого слоя ЖАК и коэффициента усиления. Данные карты показывают относительную частоту появления «плохих» ячеек, параметры которых выходят за полученные границы в рассматриваемых калибровочных данных, что позволяет сделать соответствующие заключения для каждой конкретной «плохой» ячейки. Например, если определенный канал выходит за границы каждый раз, т. е. частота его появления в конечном наборе калибровочных прогонов составляет 100%, он помечается специальной меткой в базе данных и соответственно учитывается при анализе экспериментальных данных.

В настоящее время пакет VTR полностью готов. Для запуска пакета VTR на постоянной основе нужно набрать определенную статистику в одинаковых условиях. Полученные границы будут переданы для работы AVT. Последний пакет также будет необходимо модернизировать, этим занимается другая группа.

Программный пакет "Bad channel hunter"

Назначение пакета «Bad channel hunter» (BCH) — быстрый анализ набранных калибровочных данных для определения «очень плохих» каналов, калибровочные параметры которых заметно отличаются на фоне остальных. Для работы этого пакета не требуются опорные данные, детектирование «плохих» каналов происходит путем анализа распределения ячеек имеющих одинаковую геометрию в ЖАК (для каждой части и слоя свой набор распределений). Результатом работы данного пакета является файл содержащий список «плохих» каналов, в котором указана геометрия данного канала и какой (какие) из параметров в нем отличаются от общего распределения.

В настоящее время пакет полностью готов и уже используется в повседневной работе ESCAL группы. Но в связи с тем, что сейчас идет переход на новый формат базы данных, в

котором будет храниться описание калибровочных прогонов, этот пакет пока запускается вручную, т. к. есть ряд особенностей. По окончанию перехода на новый формат планируется автоматизировать запуск.

Руководство по использованию ПО для операторов ЖАК приведено в приложении 11.

10.2 Перевод различных компонентов программного обеспечения реконструкции данных внутреннего детектора на новую, более быструю математическую библиотеку

К настоящему времени все программы реконструкции данных, включая ПО для внутреннего детектора, 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).

В рамках этих работ, были также внесены соответствующие изменения в код триггерных алгоритмов В-физики и двухмюонных триггерных алгоритмов. Библиотека предоставляет средства для работы с такими объектами, как пространственные векторы и 4-векторы импульсов, которые используются в данном коде. Её использование обеспечивает унификацию со всем остальным программным обеспечением эксперимента АТЛАС.

10.3 Оптимизация критериев отбора событий для поиска новой физики в процессах парного образования калибровочных бозонов

Изучение образования пар векторных бозонов при максимально возможных энергиях является одним из наиболее интересных направлений современной физики высоких энергий. Это обусловлено прежде всего тем, что процессы с образованием пар векторных бозонов являются ключевыми для понимания механизма спонтанного нарушения симметрии, являющегося основой Стандартной модели.

Изучение процессов образования пар векторных бозонов в эксперименте АТЛАС проводится в различных модах распада. Группа ИФВЭ участвует в работах по изучению процессов образования W (W/Z) бозонов с распадом на лептон, нейтрино и в 2 или 1 струю, а также Z (W/Z) с распадом на 2 лептона и 2 или 1 струю. В адронных распадах векторных бозонов трудно различить W и Z бозоны, поэтому изучается сумма этих двух каналов (W/Z). В зависимости от поперечного импульса векторного бозона при распаде по адронной моде он регистрируется либо как 2 струи (область малых поперечных импульсов), либо как 1 струя большого радиуса (большие поперечные импульсы).

При подготовке к анализу данных второго сеанса на БАК в эксперименте АТЛАС принята новая схема обработки данных. Все данные записываются в формате xAOD, позволяющем проводить анализ как в среде программирования Athena, разработанной в эксперименте АТЛАС, так и в среде программирования ROOT, широко применяемой во всех экспериментах по физике высоких энергий. Поскольку общий объем данных огромен, перед каждой группой, занимающейся конкретным анализом, была поставлена задача формирования своего набора данных, на котором и будет выполняться данный анализ. Объем этих данных не должен превышать 1% от размера всех данных. Сокращение объема

данных достигается несколькими способами, реализация которых определяется алгоритмами в среде программирования Athena. Прежде всего, проводится отбор событий, характерных для данного анализа. Для поиска резонансов в системе $W(l \nu) W/Z (jj/J)$ будут отбираться события с одним электроном или мюоном, содержащие также струи. Для анализа в канале $Z(l) W/Z (jj/J)$ будут отбираться события, содержащие один лептон класса “medium” – средний уровень идентификации, но достаточно высокая эффективность, а также еще один лептон класса “loose” – невысокий уровень идентификации, но очень высокая эффективность. Необходимость отбора лептонов класса “loose” диктуется тем, что они будут использованы в дальнейшем для определения КХД фона.

Другим методом сокращения объема анализируемой информации является сокращение до необходимого минимума информации о каждом объекте (кандидатах в электроны, мюоны, коллекции струй), а также запись только необходимых для анализа коллекций.

Но для проведения поиска резонансов в системе двух векторных бозонов в полуплептонной моде информации, содержащейся в xAOD, недостаточно, необходимы также коллекции струй большого диаметра. Поиск адронных распадов векторных бозонов с помощью струй большого диаметра обусловлен тем, что при больших поперечных импульсах струи от распада находятся близко в угловом пространстве и могут сливаться. Использование алгоритма струй большого диаметра позволяет существенно поднять эффективность регистрации. При этом кроме продуктов распада в состав струи попадают также частицы из подложки события, не являющиеся продуктами распада, что ухудшает точность измерения параметров струи. Были проанализированы несколько вариантов удаления лишних объектов и выбраны 2 алгоритма для дальнейшего анализа с реальными данными – тримминг с малым радиусом 0,2 и долей малоэнергичных кластеров 5% и алгоритм фильтрации с малым радиусом 0,3 и параметром обрезания 0,15. Кроме алгоритмов удаления лишних объектов для увеличения соотношения сигнал/фон были протестированы несколько вариантов мечения событий с распадом векторного бозона. В режиме мечения для каждой струи насчитываются переменные, позволяющие с некоторой вероятностью определить, является ли данная струя продуктом распада векторного бозона или это обычная КХД струя. Анализ нескольких (~10) таких переменных показал, что наибольшей разрешающей силой обладают корреляции по энергии (C2 и D2). В рамках проекта было обеспечено вычисление этих переменных и запись их в сокращенный вариант xAOD.

10.4 Модификация алгоритмов двухмюонного триггера высокого уровня для приведения их в соответствие с новой моделью хранения трековых данных и обеспечения работы с использованием новой библиотеки линейной алгебры.

В процессе подготовки ко второму сеансу работы в эксперименте АТЛАС была разработана новая модель хранения физических данных, включающая новый многоцелевой формат xAOD, призванный заменить аналогичный многоцелевой формат AOD (Analysis Object Data) и семейство более специфичных форматов DPD (Derived Physics Data),

использовавшихся во время первого сеанса Большого адронного коллайдера. Триггерная информация также должна сохраняться в этом формате. Помимо триггерного решения необходимо сохранять информацию о конкретных мюонах и треках, использованных при построении димюонного кандидата (или кандидата для более сложной топологии в семействе триггеров `Vmuthix` раздела В-физики) и параметрах вершины, чтобы они были доступны на этапе анализа данных. Это требуется, в частности, для сопоставления мюонов и треков, восстановленных в ходе последующей реконструкции с теми, которые были реконструированы в триггере высокого уровня.

Первоначально все триггерные алгоритмы триггера В-физики были полностью приведены в соответствие с новым форматом хранения трековых данных в рамках модели `xAOD`. Так, код алгоритмов триггера второго уровня теперь использует новые классы мюонов `xAOD::L2StandAloneMuon` и `xAOD::L2CombinedMuon` и трековые `xAOD::TrackParticle` взамен использовавшихся в первом сеансе работы классов, не совместимых с `xAOD`. Аналогичные изменения были уже проведены ранее в триггере уровня фильтра событий. Следует также отметить, что для алгоритмов `Vmuthix` разделение программного кода на эти два уровня больше не используется, как это было в первом сеансе работы АТЛАС. Вместо этого один и тот же код, созданный на основе кода триггера второго уровня, используется дважды, но с различными коллекциями треков: сначала с той, которая построена алгоритмами быстрой и грубой реконструкции (`FastTrackFinder`), затем – более точными. Это существенно упрощает поддержку и отладку данного кода. Такая схема реализована в триггерных цепочках `Vmuthixv3` (см. рисунок 43), тестирование которых в настоящее время завершается.

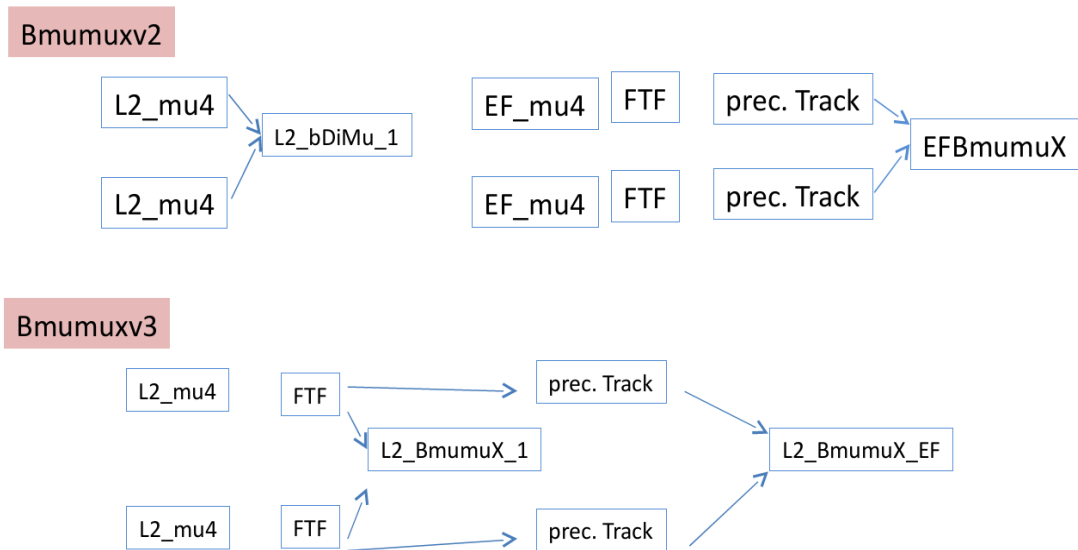


Рисунок 43 -: Схема работы триггерных цепочек семейства Bmumux. Промежуточный вариант Bmumuxv2 использует алгоритм поиска пары мюонов в широком массовом окне (L2_bDiMu_1), после чего происходит быстрая (FTF) и прецизионная (prec. Track) реконструкция треков в мюонных RoI, которые затем используются для построения кандидатов $B \rightarrow \mu X$ алгоритмом уровня фильтра событий (EFBmumuX). Тестируемый вариант Bmumuxv3 дважды запускает один и тот же алгоритм построения кандидатов $B \rightarrow \mu X$ уровня (L2_Bmumux_1 и L2_Bmumux_EF), сначала с использованием данных быстрого трекинга, затем – прецизионного.

Помимо изменений модели трековых и мюонных данных были разработаны классы хранения собственной информации триггера В-физики для xAOD – создан класс объекта триггера В-физики xAOD::TrigVphys. Он позволяет сохранять и в дальнейшем получать доступ к информации о типе топологии, восстановленной триггером (димюон или различные каналы $B \rightarrow \mu \mu X$), параметрам вторичной вершины и ссылкам на треки, составляющие кандидат распада, также хранящиеся в xAOD. Функциональность класса протестирована и отлажена, соответствующие изменения внесены в алгоритмах уровня фильтра событий и триггера второго уровня.

Проведена отладка работы программного кода триггера В-физики и проверка корректности сохранения и извлечения данных в xAOD. Для этого были использованы тестовые наборы модельных данных (SampleA, SampleT), подготовленные в соответствии со всеми последними обновлениями.

10.5 Модернизация алгоритма поиска тяжёлого бозона Хиггса (ТБХ)

В составе международной рабочей группы по поиску ТБХ в канале $H \rightarrow WW \rightarrow \ell\nu\ell\nu$ продолжена работа по оптимизации критериев отбора сигнала. Напомним, что отправной точкой служит научный отчет АТЛАС [8]. Задачей является детальный анализ кинематики лептонов, адронных струй и вектора недостающей поперечной энергии (MET) в смоделированных событиях сигнала от ТБХ и фона. В разработанный ранее алгоритм поиска тяжёлого бозона Хиггса были внесены важные изменения и дополнения, предложенные нами

на Этапе 1, а именно введены жесткие критерии отбора по импульсам первого ($p_T(l1) > 55$ ГэВ) и второго ($p_T(l2) > 30$ ГэВ) лептона в событии, по их инвариантной массе ($M(ll) > 60$ ГэВ) и модулю недостающего поперечного импульса ($MET > 35$ ГэВ). Они, наряду с ограничениями по другим переменным, служили входными данными для специального пакета программ оптимального поиска бозона Хиггса. Этот алгоритм ищет прямоугольные области в многомерном пространстве с наилучшим отношением значимости сигнала над фоном, с учетом статистических и систематических погрешностей. Рассмотрим его более подробно. Алгоритм максимизирует среднее значение функции в искомой области большого числа переменных. Он делит эту область на многомерные прямоугольные блоки (гипер-прямоугольники) и находит набор блоков с максимизированным средним значением искомой функции. Важной характеристикой каждого блока является “поддержка” (support) - интеграл на блоке от плотности вероятности искомой функции. Алгоритм стремится получить область с максимальным средним значением функции и максимальной её “поддержкой”. Поскольку увеличение одной из этих характеристик области ведёт к уменьшению другой, целью является нахождение баланса между ними.

Для достижения цели, алгоритм использует две процедуры изменения области:

1) Сжатие, или очищение сверху-вниз (peeling) – последовательно выбирается прямоугольная область с минимальным средним среди прочих блоков и исключается из искомой области. Алгоритм повторяется для вновь полученной области.

2) Расширение, или заполнение снизу-вверх (pasting) – алгоритм находит прямоугольную область, не входящую в найденную, с максимальным средним среди прочих блоков и добавляет её в искомую область. Алгоритм повторяется для вновь полученной области.

Окончание работы алгоритма определяется значением суммы “поддержки” у искомой области. В алгоритм заложена определённая гибкость - конкретное значение “поддержки” определяется пользователем.

В применении к поиску сигнала среди фона в экспериментах физики высоких энергий максимизируемой функцией может выступать отношение сигнала к фону, а “поддержкой” - общее число событий в области. Таким образом, окончание работы алгоритма и выбор баланса между максимизацией среднего и “поддержкой” определяется значимостью сигнала, в нашем случае она определяется как $sig = S / \sqrt{(B + \Delta B^2)}$, где S – сигнал, B – фон, а неопределенность фона ΔB выбрана равной 10% [9].

После указанной оптимизации производится фитирование распределений по поперечной массе m_T , которая определяется как $m_T = \sqrt{(E_T^{\ell\ell} + E_T^{\text{miss}})^2 - |p_T^{\ell\ell} + E_T^{\text{miss}}|^2}$, где $E_T^{\ell\ell} = \sqrt{|p_T^{\ell\ell}|^2 + m_{\ell\ell}^2}$ методом максимального правдоподобия. Напомним, что для фона

максимум распределения m_T приходится на относительно небольшие значения, тогда как сигнал, особенно если масса бозона Хиггса велика, сосредоточен при больших значениях m_T . Оказалось, что в результате применения отборов, описанных выше, удалось исключить на 95% уровне достоверности существенно меньшие сечения рождения тяжелого бозона

Хиггса (ТБХ), чем до этого. Так, при массе ТБХ 700 ГэВ выигрыш по сечению составил 1,5 раза, а при массе 1000 ГэВ – 3 раза. Вдобавок, впервые поставлены ограничения на сечение рождения ТБХ в интервале масс $1 \div 2$ ТэВ. В канале $H \rightarrow WW \rightarrow \ell\nu\ell\nu$ они составляют $2 \div 3$ фб.

Исследовано влияние перекрытия калориметров АТЛАС на сигнал от ТБХ в канале $H \rightarrow WW \rightarrow \ell\nu\ell\nu$ при рождении бозона Хиггса в механизме слияния векторных бозонов.

В Стандартной Модели основными механизмами рождения бозона Хиггса являются слияние глюонов (ggF, рисунок 44а) и слияние векторных бозонов (VBF, рисунок 44б).

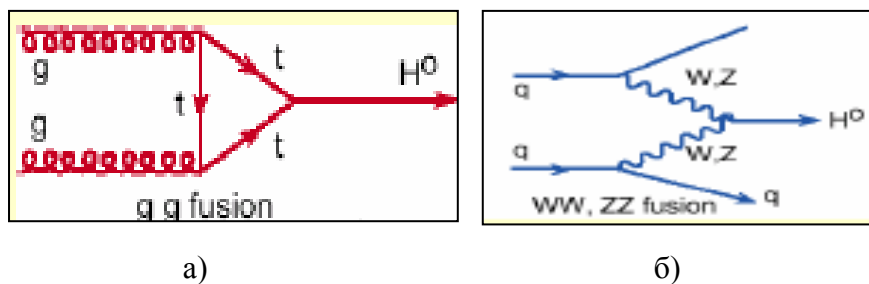


Рисунок 44 - Основные механизмы рождения СБХ и ТБХ на БАК. (а) Механизм слияния глюонов (gg-fusion). (б) Механизм слияния векторных бозонов (VBF или WW, ZZ fusion)

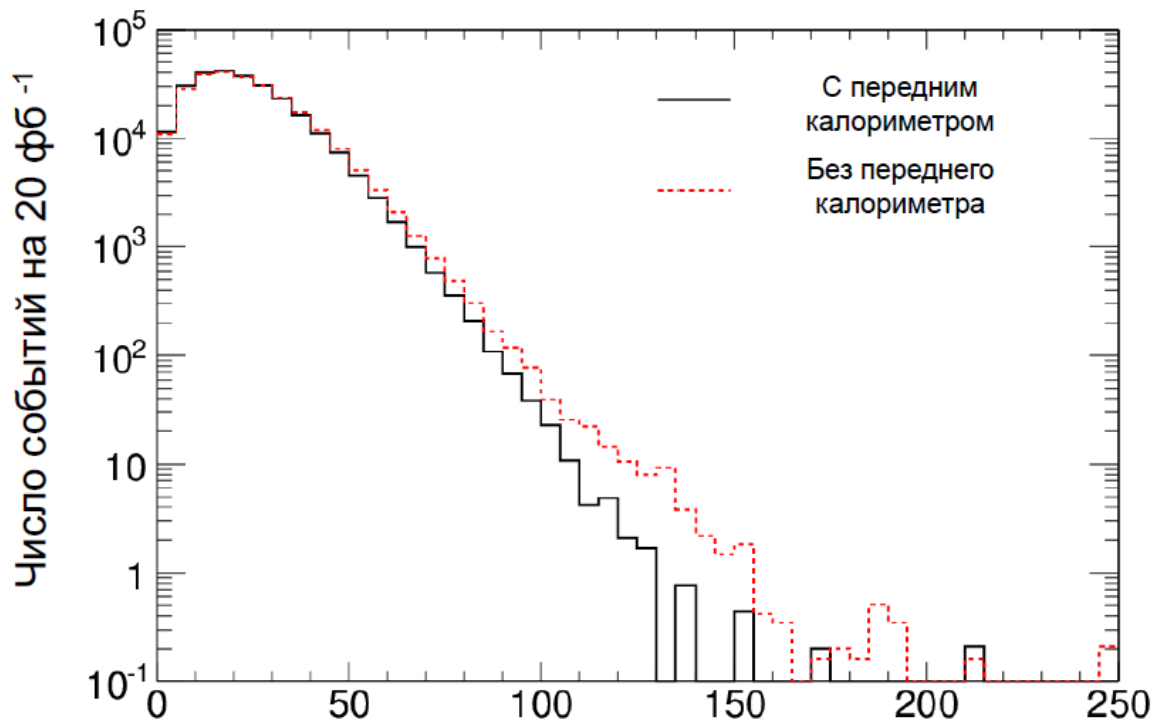
Хотя первый механизм должен доминировать, во втором случае характерной чертой будет наличие двух энергичных адронных струй, летящих под малыми полярными углами. Было показано [9], что для выделения механизма VBF соответствующими критериями отбора можно достичь отношения сигнала к фону для СБХ порядка единицы, что невозможно сделать для ggF. Важнейшим элементом для решения указанной задачи служит передний калориметр, за который отвечает группа ИТЭФ. Он перекрывает углы от 0,8 до 5 градусов, что соответствует диапазону псевдобыстрот от 3,1 до 4,9. Детальные расчеты показывают, что при повышенной светимости и энергии БАК, в области наименьших углов ожидается существенная деградация разрешения переднего калориметра к энергии адронных струй и к недостающей поперечной энергии. Группа ИТЭФ оценила, насколько может уменьшиться сигнал от ТБХ в механизме VBF при изменении перекрытия переднего калориметра к адронным струям. Для этого использовался официальный пакет программ, разработанный группой по поискам СБХ и ТБХ в канале $H \rightarrow WW \rightarrow \ell\nu\ell\nu$, который описан в отчете по Этапу 1. Рассматривались только события, прошедшие все отборы, предназначенные для поиска ТБХ. Затем вводилось ограничение на полярный угол адронных струй. Результаты анализа представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Влияние перекрытия переднего калориметра к адронным струям на сигнал от ТБХ и фон.

Процесс/ перекрытие	Н (300 ГэВ)	Н (600 ГэВ)	Н (900 ГэВ)	Полный фон	Данные 2012 г,
$ \eta < 4,5$	1	1	1	1	1
$ \eta < 4,3$	0,98	0,98	0,97	0,98	57/57
$ \eta < 4,1$	0,93	0,95	0,93	0,93	56/57
$ \eta < 3,9$	0,87	0,89	0,86	0,88	54/57
$ \eta < 3,7$	0,77	0,80	0,76	0,80	48/57
$ \eta < 3,5$	0,66	0,67	0,63	0,72	44/57
$ \eta < 3,0$	0,33	0,32	0,31	0,42	26/57

Оказалось, что в случае $|\eta| < 4.0$ и сигнал, и фон падают лишь на 10%, однако при полном исключении переднего калориметра мы теряем почти 70% событий от ТБХ, что недопустимо много. Отметим неплохое согласие реальных данных и результатов моделирования (ср. предпоследний и последний столбцы в таблице 5). Таким образом, передний калориметр играет ключевую роль в задаче поиска ТБХ при его рождении в механизме слияния векторных бозонов.

Используя программное обеспечение на базе метода TSelector в ROOT, разработанное нами ранее на Этапе 1, мы оценили, как повлияет исключение переднего калориметра на модуль вектора недостающей поперечной энергии (MET). Оказалось, что для событий сигнала СБХ и ТБХ в механизме ggF, а также для фона от топ-кварков и парного рождения векторных бозонов, такое исключение неопасно. Отметим, что такие события имеют большой внутренний MET из-за наличия нерегистрируемых нейтрино с большим поперечным импульсом. Однако, для событий сигнала в механизме VBF наблюдается заметное увеличение среднего значения MET и его среднеквадратичного отклонения, поскольку имеется вклад от передних адронных струй. Еще больший эффект (см. рисунок 45) наблюдается для процессов Дрелла-Яна типа $Z \rightarrow \mu\mu$, $Z \rightarrow \tau\tau$ и $Z \rightarrow ee$, в которых MET, по определению, мал, в случае достаточного перекрытия калориметров.



Недостающая поперечная энергия, ГтВ

Рисунок 45 - Распределение по недостающей поперечной энергии для смоделированных событий типа Дрелла-Яна $qq \rightarrow (Z^* + \text{jets}) \rightarrow \mu\mu + \text{jets}$.

Отметим, что все указанные исследования проводились для условий 2012 г. (т.е. энергия пучков 8 ТэВ, максимальная светимость $7 \times 10^{33} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$). Они будут повторены для условий повышенной энергии и светимости БАК, когда будут доступны соответствующие смоделированные события сигнала и фона.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

Разработана и изготовлена оснастка и инструменты, необходимые для сборки мюонных камер для новых малых колёс установки АТЛАС

Разработаны стенды для контроля и измерения параметров камер НМК и сцинтилляционных счетчиков горячих зон.

Выбран рабочий вариант дрейфовой трубки малого диаметра (ДТМ), изготовлены экспериментальные образцы и исследованы их характеристики.

Осуществлён выбор вариантов миникалориметра, удовлетворяющих требованиям эксперимента АТЛАС по энергетическому и временному разрешениям и радиационной стойкости. Проведено моделирование выбранных вариантов миникалориметра методом Монте-Карло.

Изготовлены лабораторные образцы сцинтиллятора для горячих зон размерами $500 \times 250 \times 6$ мм³ по технологии, обеспечивающей большую радиационную стойкость в сравнении со стандартными методами.

Для цезиевой системе калибровки сцинтилляционного калориметра (ЦКСК) выполнена коррекция имеющегося прототипа гаражного модуля ЦКСК, а также изготовление, настройка и проверка работы двух лабораторных образцов модулей. Изготовлены, настроены и проверены 3- типа плат для уровнемера гидравлики системы калибровки калориметра, а также лабораторные образцы модулей управления помпами и клапанами

Выполнена разработка оптимального алгоритма распаковки входных данных ЖАК в модуле декодера с последующей конвейерной обработкой данных. Проведено моделирование работы декодера ЖАК. Разработаны принципиальные схемы предварительных формирователей сигналов жидкоаргоновых калориметров.

Выполнена доработка облучательной установки на реакторе ИБР-2М ОИЯИ для обеспечения исследований радиационной стойкости элементов разрабатываемых детекторов, предназначенных для работы при повышенной светимости БАК.

Разработана спецификации на оборудование для проверки кабелей ЖАК и методика тестирования оптических кабелей.

В ходе работ по модернизации специального программного обеспечения выполнена разработка программного обеспечения для оперативного детектирования «холодных» областей в триггерных каналах ЖАК, проведен перевод различных компонентов программного обеспечения реконструкции данных внутреннего детектора и других программ на новую, более быструю математическую библиотеку. Оптимизированы критерии отбора событий для поиска новой физики в процессах парного образования калибровочных бозонов. Модифицированы алгоритмы двухмюонного триггера высокого уровня для приведения их в соответствие с новой моделью хранения трековых данных и обеспечения

работы с использованием новой библиотеки линейной алгебры. Модернизирован алгоритм поиска тяжёлого бозона Хиггса.

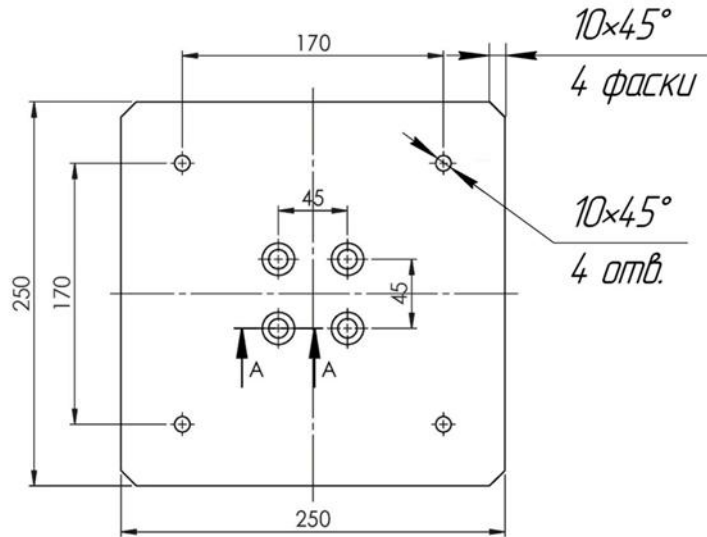
Работы выполнены в полном соответствии с техническим заданием и планом графиком работ по второму этапу соглашения, что позволит продолжать работы, запланированные на последующие этапы. Эффект от использования разработок в установке АТЛАС может быть надёжно оценен после первых месяцев её работы на пучках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

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

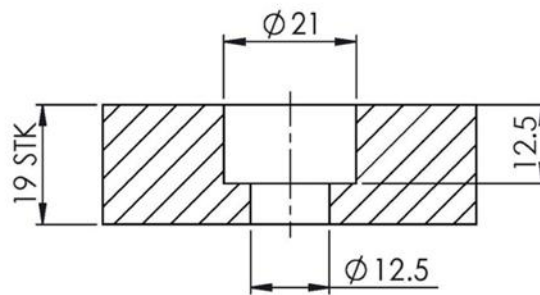
- 1 ATLAS New Small Wheel Technical Design Report. CERN-LHCC-2013-006, ATLAS-TDR-20-2013, June, 2013.
- 2 ATLAS Muon Spectrometer. Thin Gap Chambers. Gas System Safety Report. – ATLAS TGC Collaboration, 1999. Issue 2, Rev. 1. Ref. Num: TGC-002-98
- 3 J. Chapman et al., Simulation for ATLAS nSW Thin Gap ChamberPoS (EPS-HEP 2013) 093.
- 4 S. Agostinelli et al., GEANT4 — a simulation toolkit, Nucl. Instr. and Meth. A506 (2003) 250.
- 5 A. Ribon et al., Status of Geant4 hadronic physics for the simulation of LHC experiments at the start of LHC physics program, CERN-LCGAPP-2010-02 (2010).
- 6 Листвин А.В., Листвин В.Н. Рефлектометрия оптических волокон. М.: ЛЕСАРпт, 2005.
- 7 Семенов А. Б. Волоконно-оптические подсистемы современных СКС. М.: Академия АйТи; ДМК Пресс, 2006.
- 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 Collaboration, Observation and measurements of Higgs boson decay to WW* with the ATLAS detector, arXiv:1412.2641, accepted for publication in Phys. Rev. D.

1909.01.00.01

3.2 ✓ (✓)



A-A (1:1)



- 1 Н12, h12, ±IT12/2
- 2 Острые кромки затупить
- 3 Неуказанные предельные отклонения линейных размеров ±1 мм
- 4 Неуказанные предельные отклонения угловых размеров ±1°

1909.01.00.01			
Пластина НИЖНЯЯ			Лит. Масса Масштаб
			1:4
Лист Листов 1			
АД-33 ГОСТ 4784-97			ПЛЯФ

Копировал

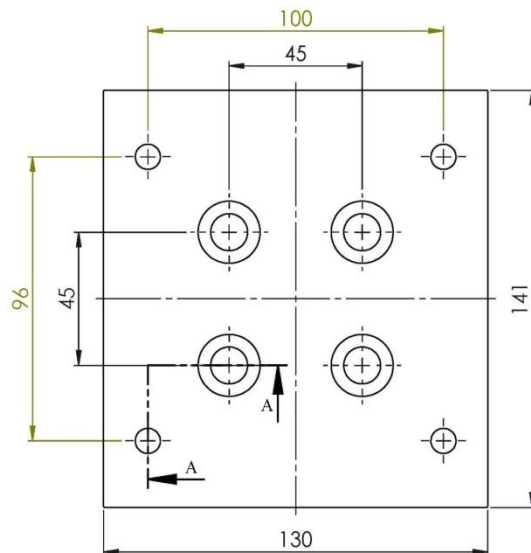
Формат А4

Рисунок 2 - Пластина нижняя.

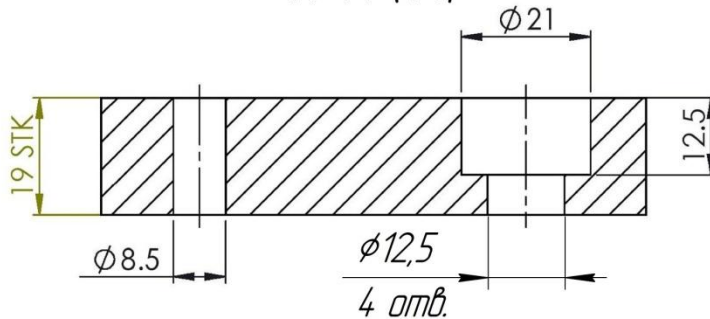
1909.01.00.02

Перв. примен.

Справ. №



A-A (1:1)



Подп. и дата

Инв. № дцкл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Сулейманов		
Пров.		Патричев		
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.				

1909.01.00.02

Пластина
верхняя

Лист	Масса	Масштаб
		1:2
Лист	Листов	1

АД-33 ГОСТ 4784-97

ПИЯФ

Копировал

Формат А4

Рисунок 3 - Пластина верхняя.

№ строки	Наименование	Код продукции	Обозначение документа на поставку	Поставщик	Куда входит (обозначение)	Количество		Примечание	
						на изделие	в ком-плекты		на ре-гуляр.
1									
2	Рама намоточной								
3	машины								
4									
5	Комплект угловых								
6	соединений		3842 523 578	Sherf Motion Technologies LTD		2		2	
7									
8	Крышка профиля		3842 523 580	Sherf Motion Technologies LTD		2		2	
9									
10	Крышка черная 45x90		3842 511 783	Sherf Motion Technologies LTD		4		4	
11									
12	Профиль								
13	45x45x51		3842 511 702	Sherf Motion Technologies LTD		4		4	
14	45x90x1750		3842 511 782	Sherf Motion Technologies LTD		1		1	
15	45x90x2575		3842 511 782	Sherf Motion Technologies LTD		2		2	
16	90x90x772		3842 511 783	Sherf Motion Technologies LTD		2		2	
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									
CS1453963-1000		Листр. прием.		Справ. №		от 16.04.2015		0000	
Изм. № подл.		Подп. и дата		Вам. инв. №		02.002.000 ВП		Рамы намоточной машины	
Изм. № подл.		Подп. и дата		Вам. инв. №		02.002.000 ВП		Ведомость покупных изделий	
Изм. № подл.		Подп. и дата		Вам. инв. №		02.002.000 ВП		ПИЯФ	
Изм. № подл.		Подп. и дата		Вам. инв. №		02.002.000 ВП		Формат А3	

Рисунок 4 – Ведомость покупных изделий.

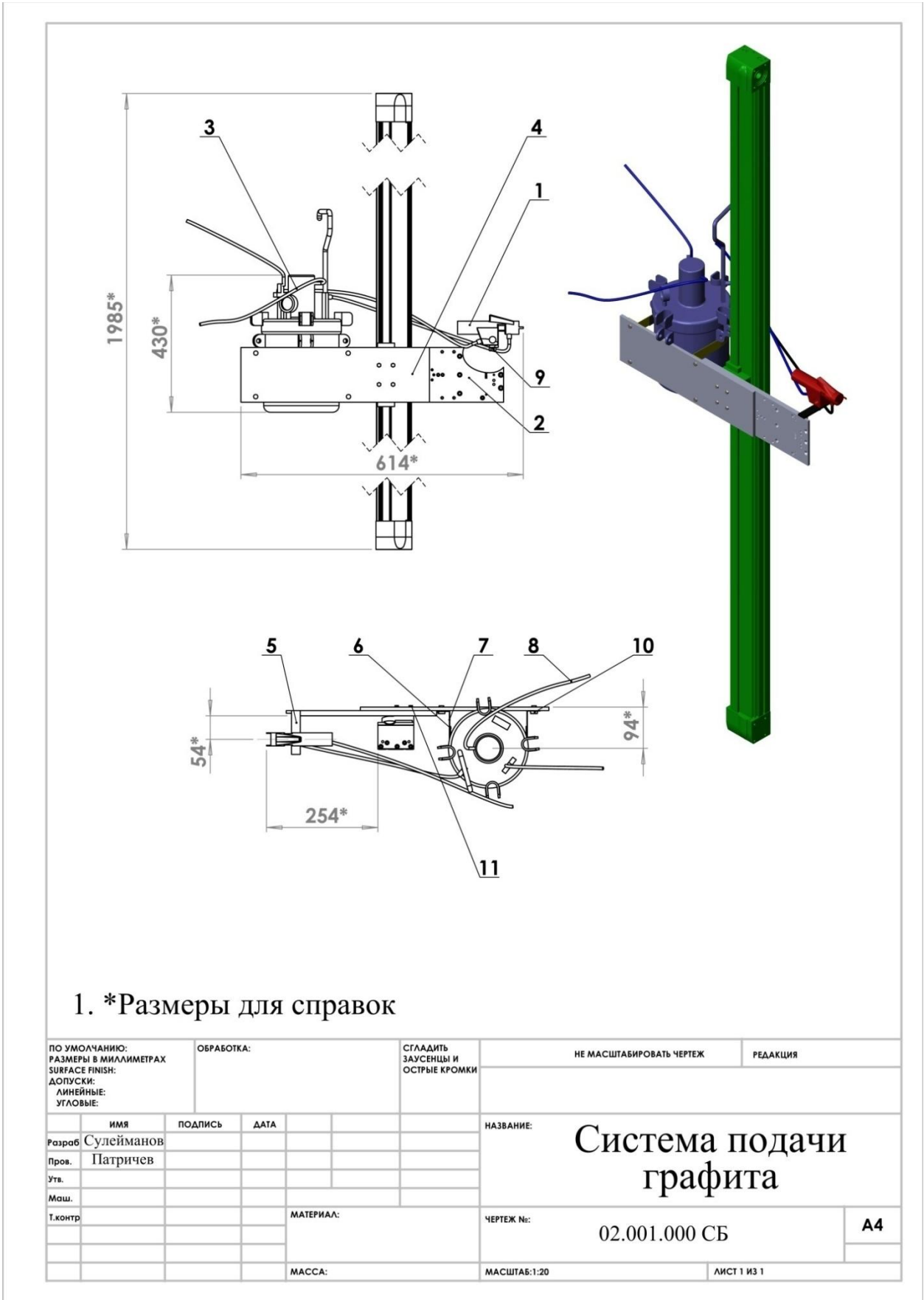


Рисунок 6 – Сборочный чертёж системы подачи графита.

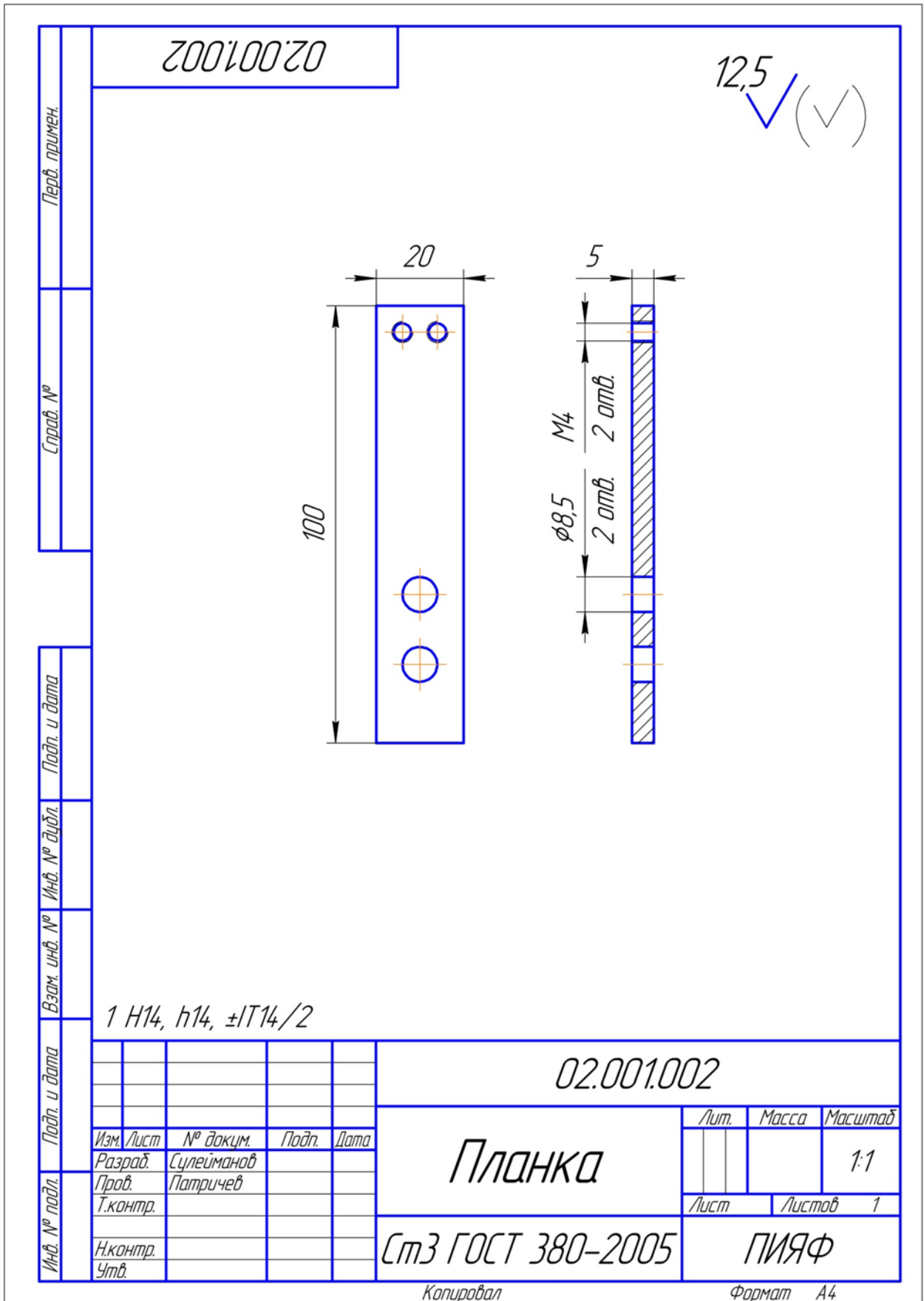


Рисунок 7 - Планка

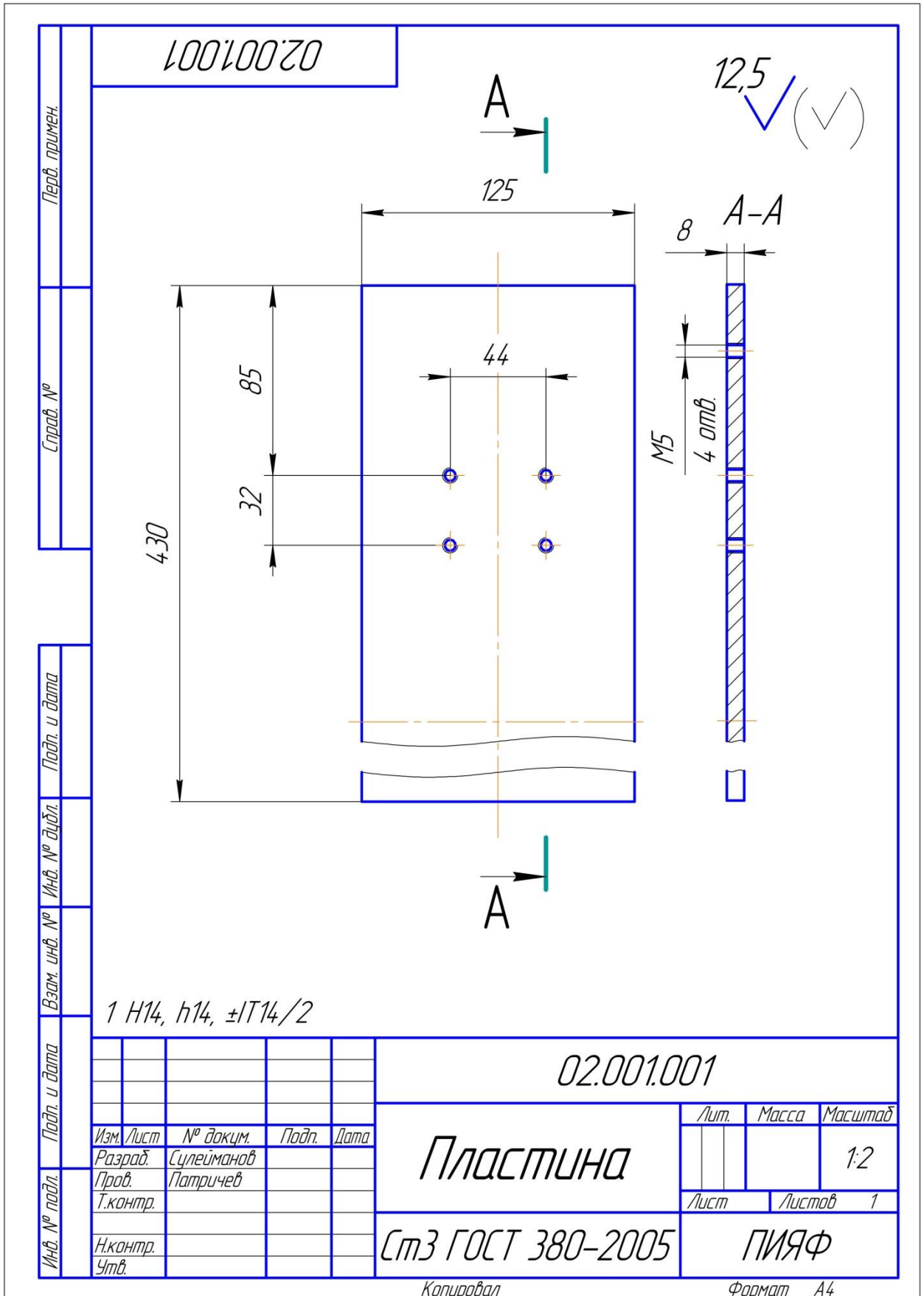


Рисунок 8 – Пластина.

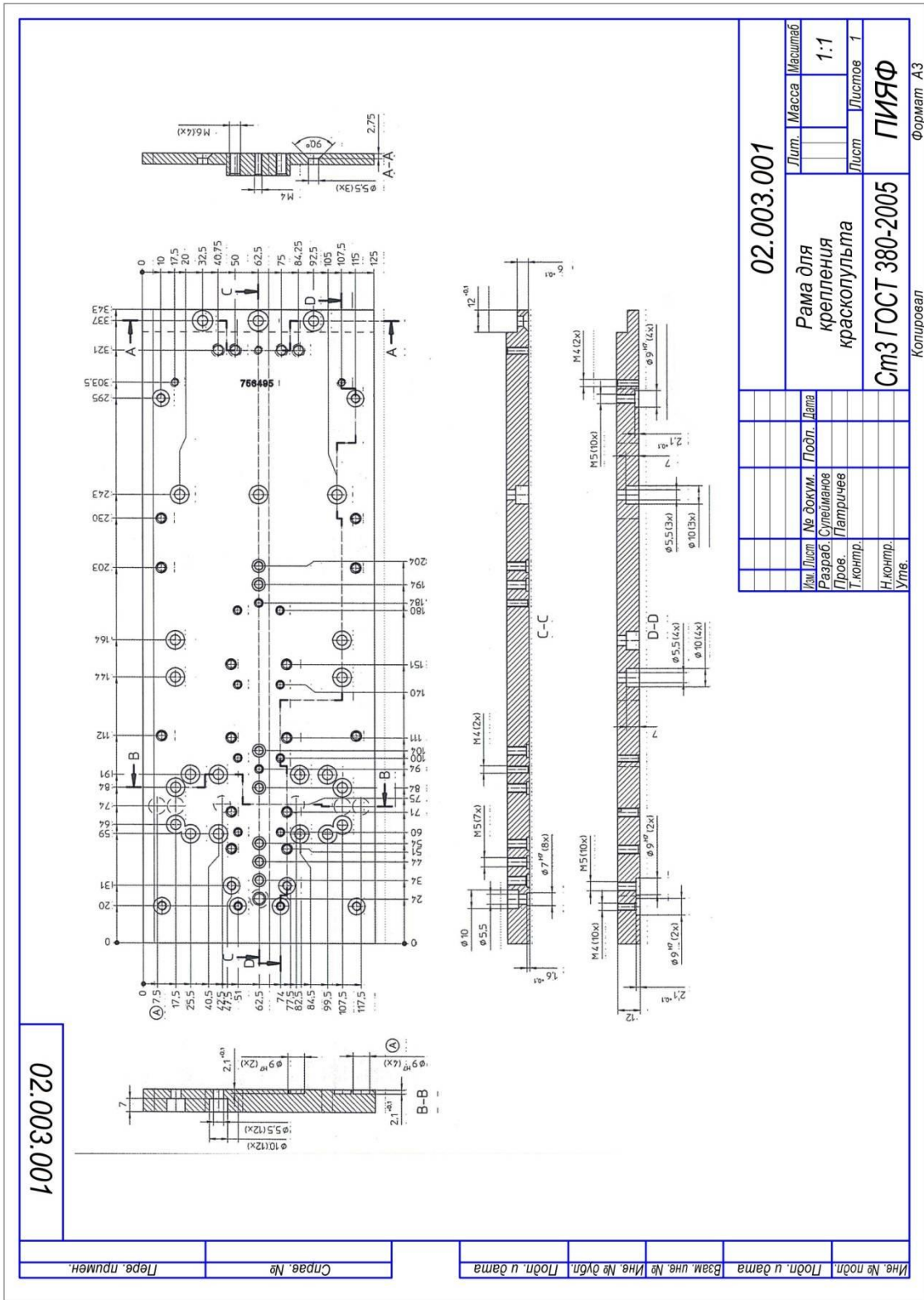


Рисунок 9 – Чертеж рамы для крепления краскопульта.

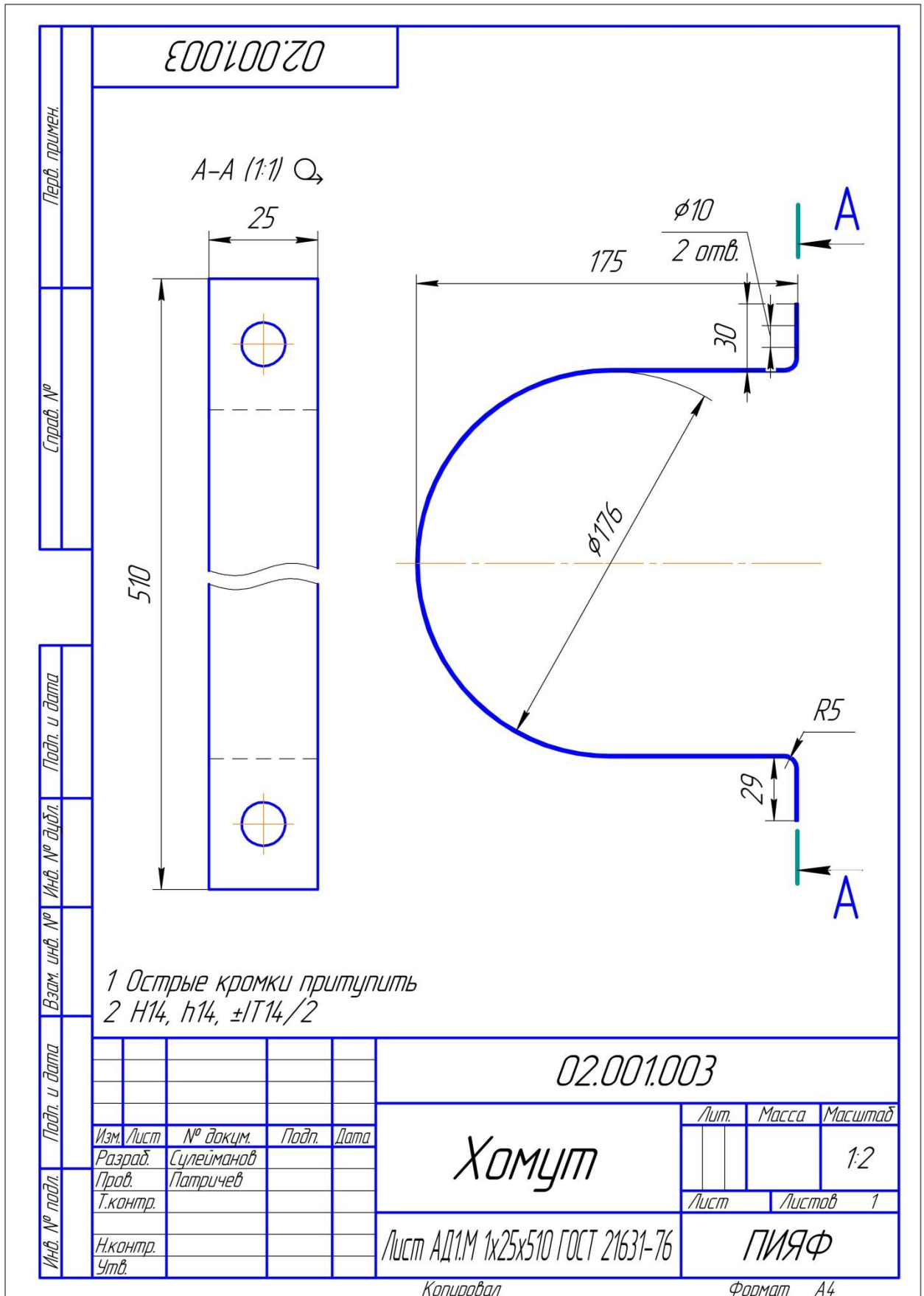


Рисунок 11 – Спецификация на детали системы подачи графита

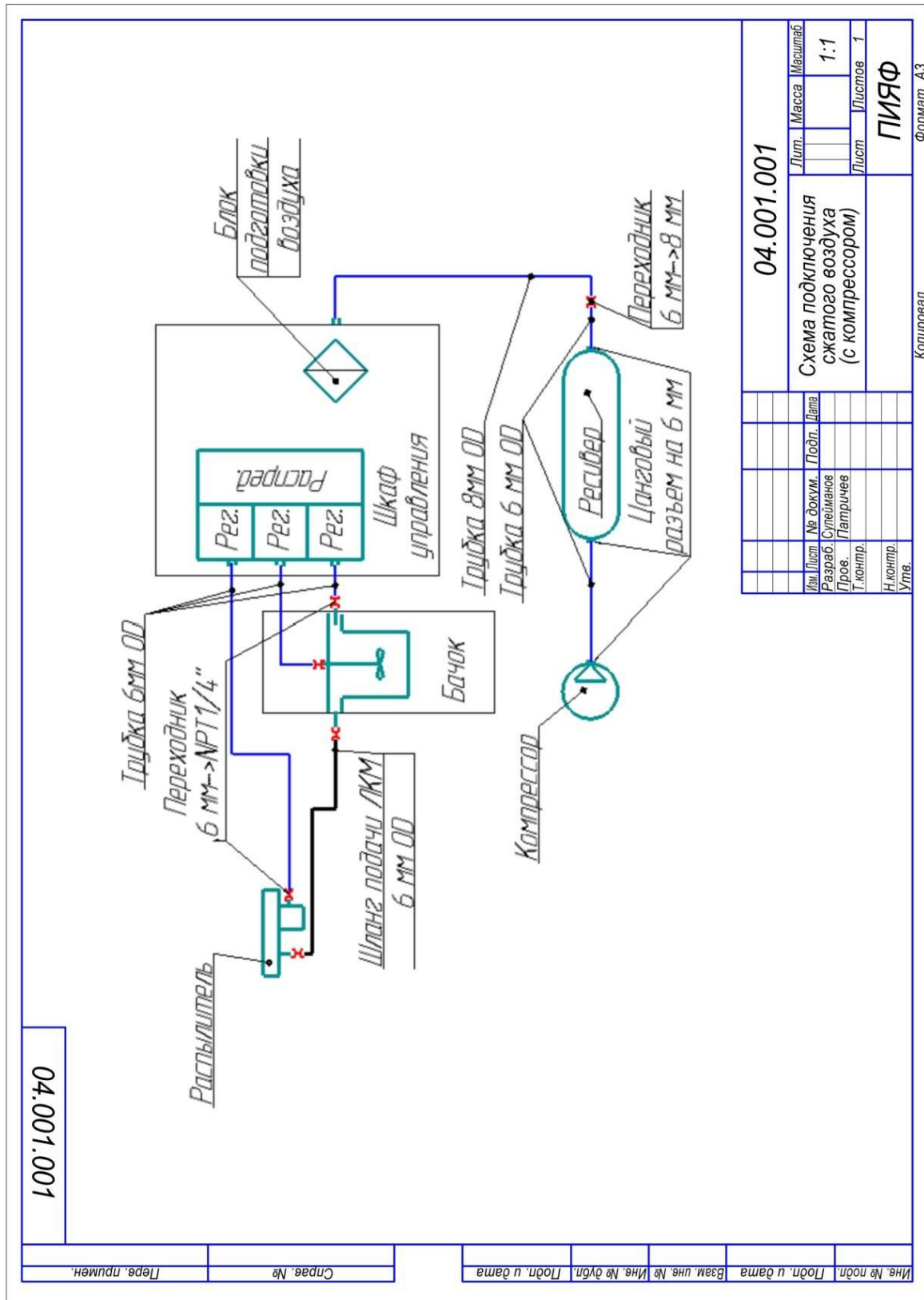


Рисунок 12 - Схема подключения сжатого воздуха к распылительной головке машины для напыления графита на катодные плоскости ТЗК камер.

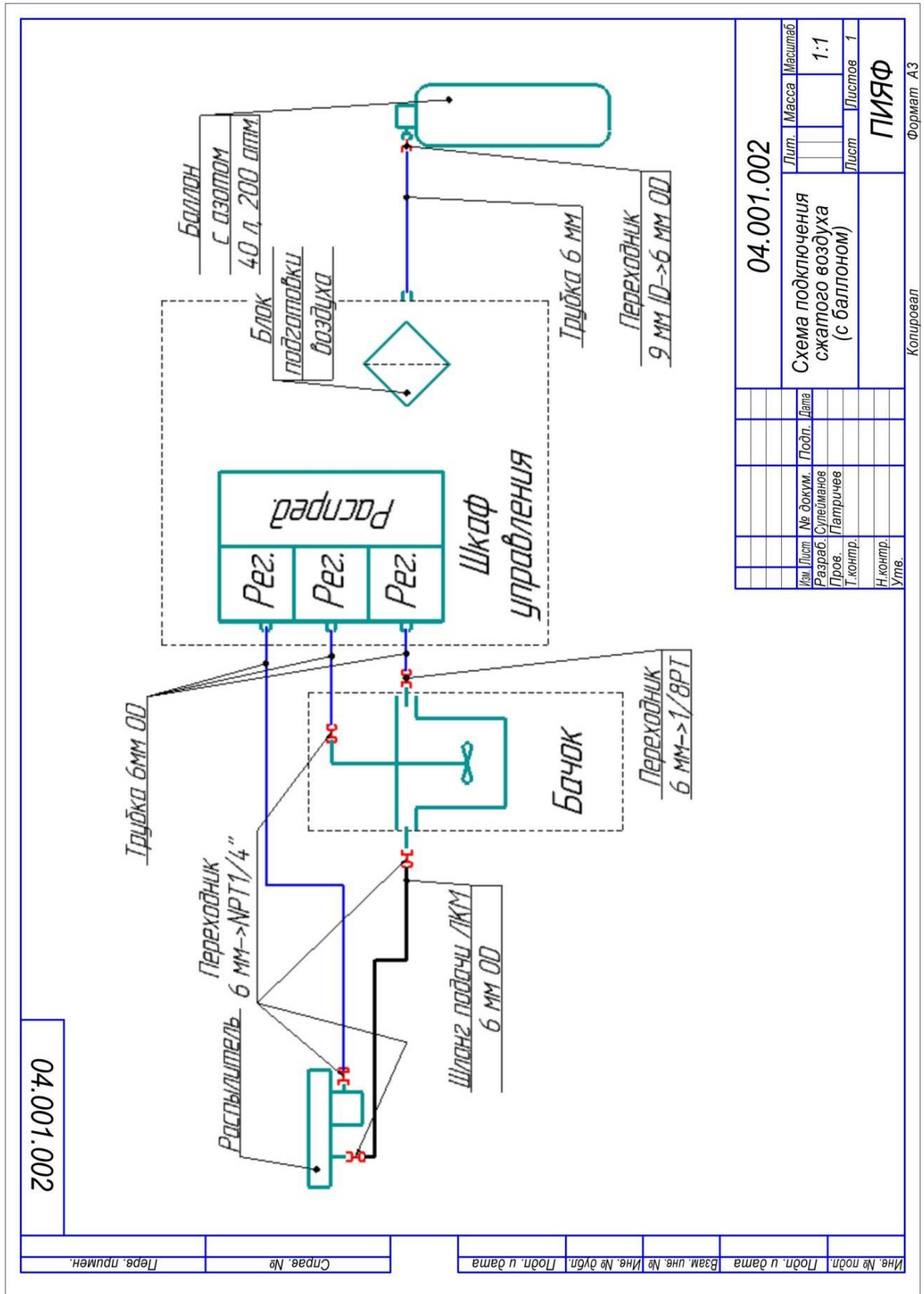


Рисунок 13 - Схема подключения пневматического оборудования с баллоном.

Перв. примен.	Справ. №	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № подл.	Н.контр. Утв.	Т.контр.	Пров. Патричев	Разраб. Сулейманов	Изм. Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб
05.001.001															05.001.001		
															Шкаф управления		
															1:1		
															Лист 1		
															ПНДФ		
Копировал															Формат А4		

Рисунок 14 - Чертеж шкафа управления.

№ строки	Наименование	Код продукции	Обозначение документа на поставку	Поставщик	Куда входит (обозначение)	Количество			Примечание	
						на изделие	в комплекты	на регистр.		Всего
1										
2	Система перемещения			ФЕСТО-РФ						
3										
4	Датчик положения									
5	SIES-8M-PO-24V-K-0.3-									
6	-M8D	551392			4			4		
7										
8	Кабель кодирующего устройства									
9										
10	NEBM-M12G8-E-5-N-									
11	-SIG15	8003762			2			2		
12										
13	Кабель									
14	NEBM-M16G8-E-5-Q9-									
15	-LE8	8003766			2			2		
16										
17	Контроллер									
18	СММР-АС-C2-3А-М0	1622901			1			1		
19	СММР-АС-C5-3А-М0	1622902			1			1		
20										
21	Осевой набор									
22	ЕАММ-А-L48-80P	2042616			1			1		
23	ЕАММ-А-L48-100А	557984			1			1		
24										
Итого:									от 16.04.2015	
Изм. № подл.						CS1453963-1000 ВП				Лист 1
Изм. № подл.						Устройство напыления				Лист 1
Изм. № подл.						катодных плоскостей				Лист 6
Изм. № подл.						Ведомость покупных изделий				Лист 6
Изм. № подл.						ПИЯФ				Лист 6

0000

Копировал

0000

Копировал

0000

Копировал

0000

Рисунок 15 – Ведомость покупных изделий для устройства напыления.

Кол-во	Наименование	Код продукции	Обозначение документа на поставку	Поставщик	Куда входит (обозначение)	Количество			Примечание
						на из-дские	в ком-плексе	на ре-гулир	
Всего									
1									
2	Привод вертикальный								
3	EGC-80-1600-ТВ-КФ-								
4	-50Н-ГР	556814				1			1
5									
6	Привод								
7	EGC-80-2500-ТВ-КФ-								
8	-50Н-ГР	556814				2			2
9									
1	Сервопривод								
1	EMME-AS-80-S-LS-	2093106				1			1
1	EMME-AS-100-S-HS-								
1	- ASB	2103469				1			1
1									
1	Соединительный вал								
1	KSK-80-1700	562521				1			1
1									
1	Соединительный кабель								
1	NEBU-M8G3-K-10-LE3	541332				4			4
2									
2	Флаг переключения								
2	SF-EGC-1-80	558048				2			2
2									
2	Монтажные элементы								
2									
2	Консоль								
2	console 4A for EGC-80	756530				1			1
2	console 4B for EGC-80	756531				1			1
8									
2									
9									

Име. № подл.	16.04.2015	Име. № инв. №	16.04.2015
Подл. и дата	16.04.2015	Взам. инв. №	16.04.2015
Име. № подл.		Име. № дубл.	
Подл. и дата		Подл. и дата	

Име. № подл.		Име. № докум.		Подп.		Дата	
CS1453963-1000 ВП							Лист
0000							2

Копировал
формат А3

Рисунок 16 – Ведомость покупных изделий для устройства напыления (продолжение).

№	Наименование	Код продукции	Обозначение документа на поставку	Поставщик	Куда входит (обозначение)	Количество			Примечание
						на из-деле	в ком-плек-ты	на ре-гулир. Всего	
1									
2	Монтажный комплект								
3	installation kit	756491				1		1	
4	installation kit	756543				1		1	
5	installation kit	756544				1		1	
6									
7	Монтажный профиль								
8	profile mounting MUE-								
9	-70/80	558043				12		12	
10									
11	Монтажные лапы								
12	HPE-80	558322				2		2	
13									
14	Набор адаптеров для								
15	приводов								
16	Interface module								
17	- ME-N2	562241				2		2	
18									
19	Набор приспособлений								
20	adapter kit for EGC-								
21	-80/DGC-25	756495				1		1	
22									
23	Опорный профиль								
24	support profile HMIА-								
25	-E07	539379				2		2	
26									
27									
28									
29									
Име. № подл.	16.04.2015								
Подп. и дата	16.04.2015								
Взм. инв. №									
Име. № дубл.									
Име. № докум.									
Подп.									
Дата									
CS1453963-1000 ВП									Лист
0000									3

Формат А3

Копировал

Рисунок 17 – Ведомость покупных изделий для устройства напыления (продолжение).

№	Наименование	Код продукции	Обозначение документа на поставку	Поставщик	Куда входит (обозначение)	Количество			Примечание
						на из- деле	в ком- плект	на ре- гулir.	
1									
2	Шкаф управления								
3									
4	Вакуумные захваты								
5	ESG-20-SS-HA-QS	189173				32			32
6									
7	Генераторы вакуума								
8	VN-14-L-T4-PQ3-VQ3-								
9	-RO2-B	532649				4			4
10									
11	Контроллер								
12	CDPX-X-A-W-7	574411				2			2
13									
14	Соединительный								
15	для пневмоостровов								
16	NEBV-NIG2-P-5-N-	566661				4			4
17									
18	Каркас								
19									
20	Заглушка								
21	IPM-AN-08-40X40-PA	191663				4			4
22	IPM-AN-08-40x80-PA	191677				8			8
23									
24	Ножка								
25	IPM-SS-80-M12x100-	538140				4			4
26									
27	Петля с фиксацией								
28	IPM-ZG-08-40x40/К-								
29	-GDZN	538168				2			2

Имя	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист
					4

CS1453963-1000 ВП

Формат А3

Копировал

0000

Рисунок 18 – Ведомость покупных изделий для устройства напыления (продолжение).

№	Наименование	Код продукции	Обозначение документа на поставку	Поставщик	Куда входит (обозначение)	Количество			Примечание
						на из-делие	в комплект	на ре-гулир. Всего	
1									
2	Профиль								
3	РМ-РН-08-40х40-АЛ	191494				20		20	
4	РМ-РН-08-40х80-АЛ	191512				10		10	
5	РМ-РН-08-80х80-АЛ	191522				20		20	
6									
7	Соединитель								
8	РМ-УР-08-СВ-СТ	191551				14		14	
9	РМ-УР-08-УВ-ГДЗН	191553				16		16	
10									
11	Уголок								
12	РМ-УВ-08-								
13	80х80х80/М8-АЛ	191578				8		8	
14	РМ-УВ-08-Е1/80-АЛ	191584				14		14	
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									
25									
26									
27									

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
CS1453963-1000 ВП				
Формат А3				
Копировал				
0000				
Лист				
5				

Рисунок 19 – Ведомость покупных изделий для устройства напыления (продолжение).

№ строки	Наименование	Код продукции	Обозначение документа на поставку	Поставщик	Куда входит (обозначение)	Количество			Примечание	
						на изделие	в комплекте	Всего		
1										
2	Система крепления									
3										
4	Краскопулт			Prowin-tools		1		1		
5										
6	Монтажная плата			ФЕСТО-РФ		1		1		
7										
8	Нагнетательный бак									
9	2 л			Prowin-tools		1		1		
10										
11	Фитинг обжимной									
12	6 мм OD, NPT1/4**			ФЕСТО-РФ		4		4		
13										
14	Фитинг обжимной									
15	6 мм OD, PT1/8**			ФЕСТО-РФ		1		1		
16										
17	Фитинг обжимной									
18	9 мм ID, 6 мм OD			ФЕСТО-РФ		1		1		
19										
20	Шланг 6 мм			ФЕСТО-РФ		5		5		
21										
22	Шланг 8 мм			ФЕСТО-РФ		1		1		
23										
24										
Инва. № докум.	16.04.2015	Подп. и дата								Лист
Взам. инв. №										6
Инва. № докум.										CS1453963-1000 ВП
Инва. № докум.										
Инва. № докум.										0000
Инва. № докум.										формат А3

Рисунок 20 – Ведомость покупных изделий для устройства напыления (окончание).

27 мая 2015 г.

г. Гатчина

АКТ
изготовления оборудования
для сборки тонкозаязорных камер новых малых колес
мюонного спектрометра АТЛАС

Соглашение с Минобрнауки России
от 20.10.2014 г. № 14.610.21.0005

Комиссия в составе:

Председатель	руководитель лаборатории адронной физики ОФВЭ	Федин О.Л.
члены комиссии	ведущий инженер инженер	Патричев С.К. Сулейманов А.Т.

назначенная распоряжением по отделу физики высоких энергий ФГБУ «ПИАФ» от 25 мая 2015 г. № 11303/3-99-759, 27 мая 2015 г. проверила факт изготовления оборудования для сборки тонкозаязорных мюонных камер (ТЗК).

1. Комиссии предъявлено:

Оборудование для сборки тонкозаязорных камер, изготовленное в рамках работ по созданию новых малых колес (НМК) мюонного спектрометра эксперимента АТЛАС, в составе:

- 1.1 Устройство для натяжения анодных проволок.
- 1.2 Устройство для напыления графита на катодные плоскости.
- 1.3 Установка для смешивания рабочего газа.

2. В результате проверки установлено:

Перечисленное оборудование соответствует требованиям технического задания и конструкторской документации.

3. Вывод

Разработанное оборудование для сборки тонкозаязорных камер новых малых колес удовлетворяет требованиям, необходимым для изготовления модулей тонкозаязорных камер и пригодно для проведения испытаний.

Председатель



Федин О.Л.

члены комиссии



Патричев С.К.



Сулейманов А.Т.

Техническое задание на устройство сборки квадруплетов на основе МИК

1. Введение

Квадруплеты, созданные на основе панелей МИК будут использоваться в Новых Малых Мюонных Колесах (НМК) эксперимента АТЛАС для реконструкции мюонных треков, и должны обеспечить импульсное разрешение лучше, чем 15% для 1 ТэВ мюонов. Это налагает требования к механической точности сборки камеры не хуже, чем $\sigma_{\text{камеры}}=40$ мкм.

2. Назначение

Устройство сборки квадруплетов предназначено для соединения в один квадруплет трех дрейфовых и двух считывающих панелей.

3. Техническое задание

Техническое задание предусматривает создание устройства, обеспечивающего точное соединение панелей Микомегас камер. Для соединения будут использоваться соединительные штифты и вставки с классом посадки H7/g6, который характеризуется минимальной по сравнению с остальными величиной гарантированного зазора. Допустимое отклонение от радиуса штифтов/вставок - 2,5-14,5 мкм с углами входа 0,3°-1,7°. Таким образом, устройство должно будет обеспечить соединение панелей без деформации во избежание потери точности сборки $\sigma_{\text{камеры}}=40$ мкм. Время сборки одного квадруплета не должно превышать 4 часов.

18 мая 2015 г.

АКТ
Приемки устройства сборки квадруплетов

Соглашение с Минобрнауки России
от «20.10.2014г.» № 14.610.21.005

Комиссия в составе:

Председатель	нач. отдела ОИЯИ	Жемчугов А.С.
Члены комиссии	зам. ученого секретаря ЛЯП ОИЯИ	Госткин М.И.
	нач. сектора ОИЯИ	Гонгадзе А.Л.

назначенная распоряжением по ЛЯП ОИЯИ от «06» мая 2015г. № 42, «18» мая 2015 г. проверила факт изготовления объекта испытаний.

1. Комиссии предъявлены:

Устройство сборки квадруплетов, созданное в рамках модернизации НМК эксперимента АТЛАС.

2. В результате проверки установлено:

Устройство сборки квадруплетов обеспечивает точное соединение панелей Микромегас камер, не вносит дополнительные деформации. Тесты, проведенные с использованием макетов панелей, показали, что на нанизывание каждой панели тратится порядка 5 минут.

3. Вывод

Устройство сборки квадруплетов полностью удовлетворяет техническому заданию и является работоспособным.

Председатель комиссии

Члены комиссии



А.С.Жемчугов

М.И.Госткин

А.Л.Гонгадзе

Рабочий проект стенда контроля камер на основе рентгеновского сканера

По результатам работ, выполненных в течение 1-го этапа данного проекта, были определены технические требования и разработан рабочий проект стенда контроля новых газовых детекторов, изготавливаемых для модернизации мюонного спектрометра супердетектора АТЛАС.

Система контроля качества новых мюонных детекторов представляет собой автоматизированный рентгеновский сканер (РС), состоящий из жесткой сварной рамы, смонтированной на ней координатной системы, шкафа управления сервоприводами, источника рентгеновского излучения (рентгеновской трубки) с коллиматорами и специализированного программного обеспечения для управления всеми компонентами сканера, обработки получаемых данных и визуализации результатов анализа. Установка осуществляет сканирование рентгеновским пучком поверхности детекторов (обеспечивая максимальную область сканирования 2220x1410 мм) с целью выявления и локализации производственных дефектов и определения рабочих характеристик детекторов. В конструкции сканера используется рентгеновская трубка с блоком питания производства фирмы Amptek (США), шаговые двигатели, редукторы и модули горизонтального и вертикального перемещения производства фирмы Purelogic (Россия) и рельсовые специализированные подшипники INA (Германия). Габаритный чертеж сканера приведен на рисунке 1.

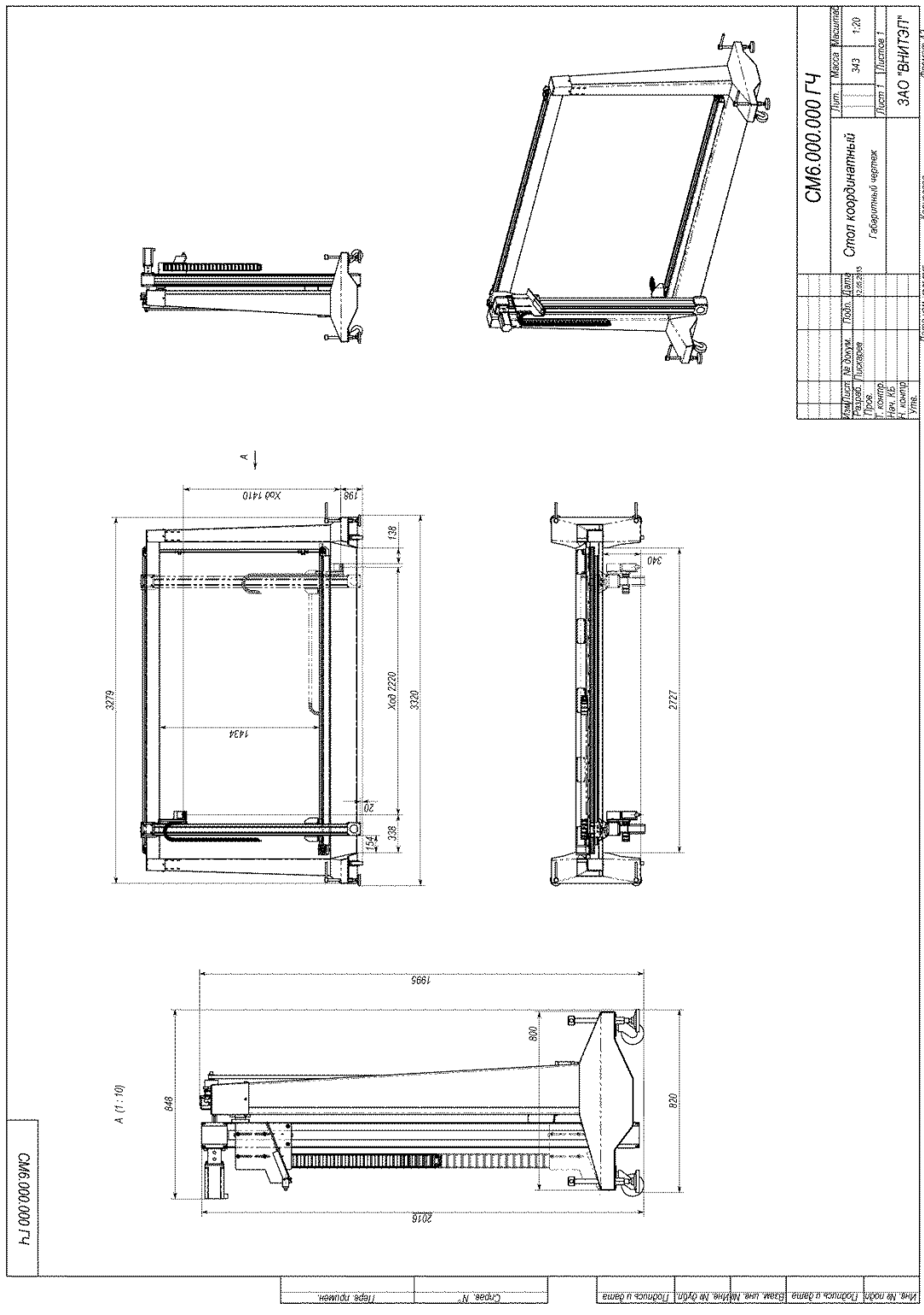


Рисунок 1 – габаритный чертёж механической части РС

Рабочий проект стенда испытаний сцинтиляционных счётчиков для горячих зон

На основе технического задания, разработанного на первом этапе работ по соглашению был разработан рабочий проект стенда испытаний сцинтиляционных счётчиков для горячих зон установки АТЛАС.

Общий вид (модель) основной части стенда показан на рисунке 1.

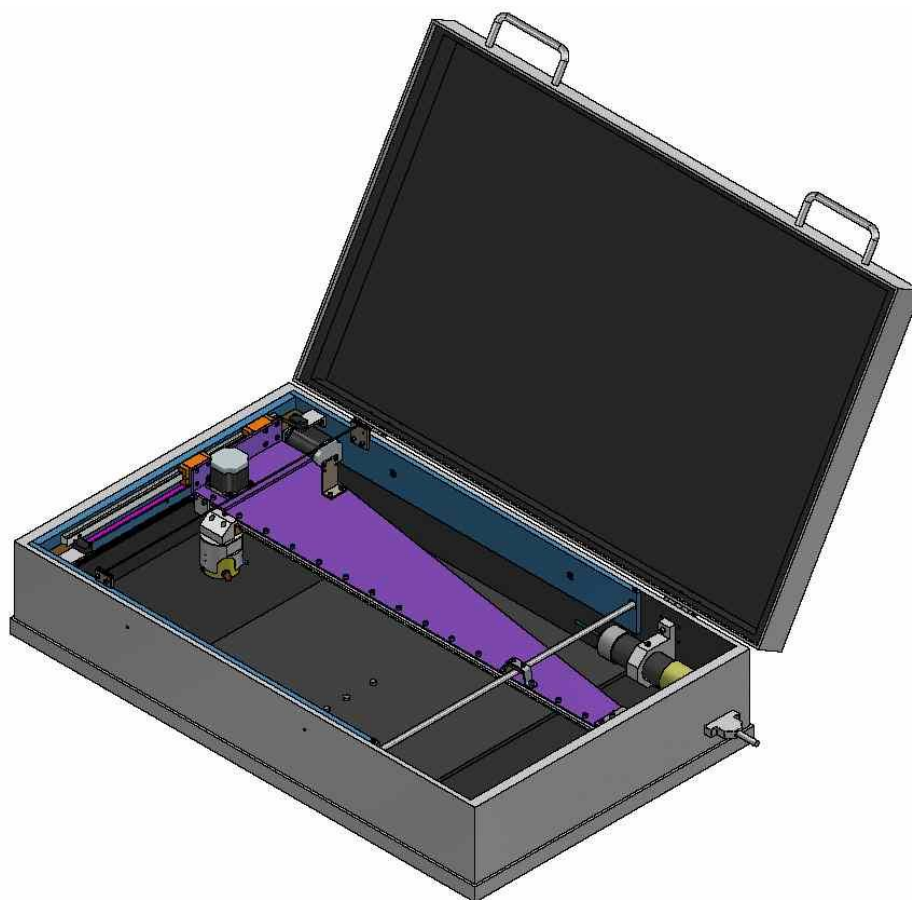
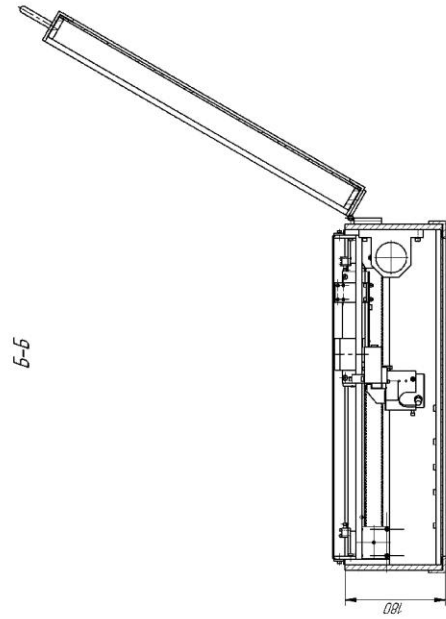


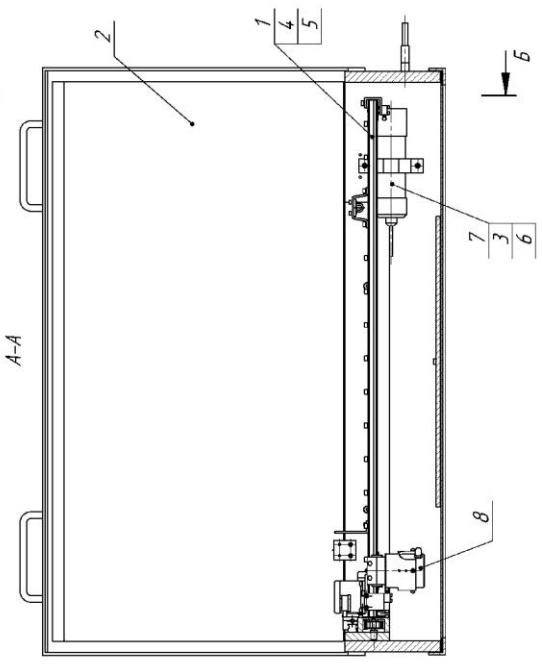
Рисунок 1 – Общий вид основной части стенда

Конструкторская документация для стенда приведена ниже.

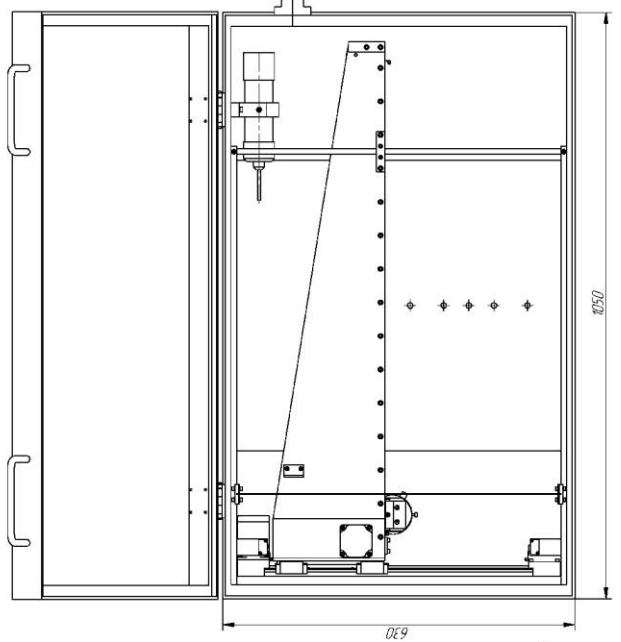
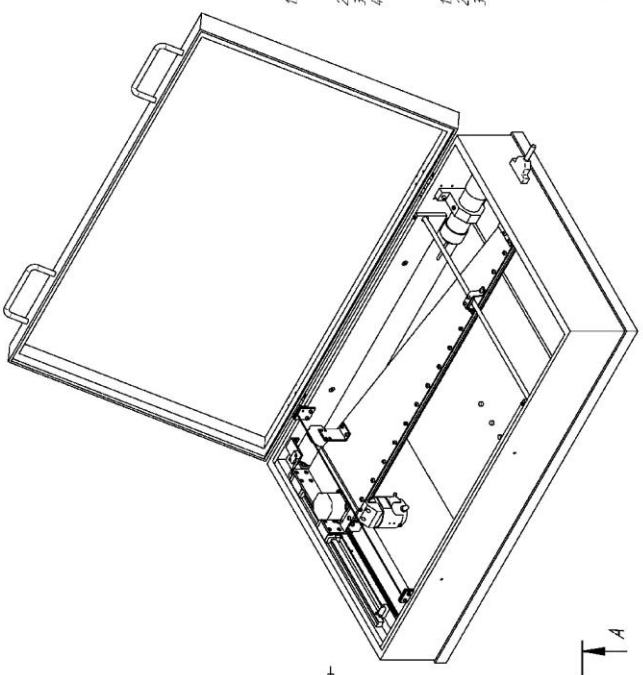
97 00-00-00-8976



Б-Б



A-A



Техническая характеристика

- 1. Пределы перемещения источника
 - по оси Y 250 мм
 - по оси X 775 мм
- 2. Начальная скорость перемещения источника 50 мм/с
- 3. Габаритные размеры стелды при закрытой крышке: 1050х630х230 мм
- 4. Вес стелды 65 кг

Технические требования

- 1. Размеры для справок
- 2. Электрическая проводка по заказчику
- 3. Остальные ТТ по ИСТ 95227-93

9468-00-00-00 СБ

Исполн.	М.И. Мухомов
Провер.	С.В. Сидорова
Утверд.	И.В. Иванов
Дата	14.05.2014
Лист	1 из 1
Код	КО
ФГУП	ГНЦ ИФВЭ

Исполн.	М.И. Мухомов
Провер.	С.В. Сидорова
Утверд.	И.В. Иванов
Дата	14.05.2014
Лист	1 из 1

Форм. Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примеч.	
						Перв. примен.
9468-00-00-00						
A1		9468-00-00-00СБ	Сборочный чертеж			
			Сборочные единицы			
A4	1	9468-01-00-00	Рама	1		
A4	2	9468-02-00-00	Ящик светозащитный	1		
			Стандартные изделия			
	3		Винт М5 х 25 ГОСТ 11738-84	2		
	4		Винт DIN 7991 - М6х20	4		
	5		Винт DIN 7991 - М6х30	3		
	6		Шайба 5 ГОСТ 6402-70	2		
			Прочие изделия			
	7		Фотоэлектронный умножитель	1	Поставляет заказчик	
	8		Источник	1	Поставляет заказчик	
9468-00-00-00						
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		
Разраб.	Сквороднев					
Проб.	Постнова					
Н. контр.						
Утв.	Никитин					
Стенд проверки сцинтилляторов			Лит.	Лист	Листов	
				1		
			КО ФГБУ ГНЦ ИФВЭ			

Копировал

Формат А4

		Форм	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примеч.	
Перв. примен.	9468-00-00-00					Документация			
		A1			9468-01-00-00СБ	Сборочный чертеж			
						Сборочные единицы			
		A4	1	9468-01-01-00	Пластина	1			
		A4	2	9468-01-02-00	Контейнер для источника	1			
		A4	3	9468-01-03-00	Привод по оси Y	1	Шпоновый двигатель GSH-5718-79-30-0163		
		A4	4	9468-01-04-00	Привод по оси X	1	Шпоновый двигатель GSH-5718-55-30-098		
		A4	5	9468-01-05-00	Опора	1			
		A4	6	9468-01-06-00	Устройство крепления ремня X	1			
A4	7	9468-01-07-00	Устройство крепления ремня Y	1					
A4	8	9468-01-08-00	Зажим струны	2					
Справ. №						Детали			
					9	9468-01-00-01	Стенка торцевая	1	
					10	9468-01-00-02	Стенка боковая	2	
					11	9468-01-00-03	Штанга	1	
					12	9468-01-00-04	Корпус	1	
					13	9468-01-00-05	Корпус	1	
					14	9468-01-00-06	Уголок	1	
					15	9468-01-00-07	Уголок	1	
					16	9468-01-00-08	Уголок	2	
					17	9468-01-00-09	Ось	1	
				18	9468-01-00-10	Швеллер	1		
				19	9468-01-00-11	Прокладка	1		
Подп. и дата					9468-01-00-00				
	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата				
	Разраб.	Сквороднев							
Инв. № подл.	Пров.	Постнова					Лит.	Лист	
								1	
								3	
							КО		
							ФГБУ ГНЦ ИФВЭ		
	Н. контр.								
	Утв.	Никитин							

Копировал

Формат А4

Форм.	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примеч.	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Изм. № подл.	
												Изм.	Лист
				Стандартные изделия									
		20		Винт М3 х 16 ГОСТ 11738-84	8								
		21		Винт М4 х 10 ГОСТ 11738-84	6								
		22		Винт М4 х 12 ГОСТ 11738-84	2								
		23		Винт М4 х 14 ГОСТ 11738-84	4								
		24		Винт М4 х 16 ГОСТ 11738-84	4								
		25		Винт М4 х 40 ГОСТ 11738-84	8								
		26		Винт М5 х 10 ГОСТ 11738-84	12								
		27		Винт М5 х 14 ГОСТ 11738-84	3								
		28		Винт М5 х 16 ГОСТ 11738-84	2								
		29		Винт АМ5 х 25 ГОСТ 8878-93	2								
		30		Винт DIN 7991 - М4х10	4								
		31		Винт DIN 7991 - М4х12	10								
		32		Винт DIN 7991 - М5х20	8								
		33		Винт DIN 7991 - М6х20	4								
		34		Гайка М4 ГОСТ 5927-70	2								
		35		Гайка М5 ГОСТ 5927-70	1								
		36		Гайка М5 ГОСТ 5929-70	2								
		37		Шайба 3 ГОСТ 6402-70	6								
		38		Шайба 4 ГОСТ 6402-70	24								
		39		Шайба 5 ГОСТ 6402-70	17								
9468-01-00-00											Лист		
											2		

Копировал

Формат А4

Перв. примен.		Форм.	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примеч.	
Справ. №						<u>Материалы</u>			
				40		Нить капроновая D=2 мм, L=630 мм	1		
							<u>Прочие изделия</u>		
				41		Каретка B21-GB2C-15-H	3	Поставляет заказчик	
				42		Рельс B21-GB2R-15, L=925 мм	1	Поставляет заказчик	
				43		Рельс B21-GB2R-15, L=480 мм	1	Поставляет заказчик	
				44		Шкив Dd=30 мм, B=11 мм, P=1\5"	2	Поставляет заказчик	
		45		Ремень полиуретановый B=10мм, P=1\5", L=1040 мм	1	Поставляет заказчик			
		46		Ремень полиуретановый B=10мм, P=1\5", L=1790 мм	1	Поставляет заказчик			
		47		Микровыключатель Honeywell JV9020	4	Поставляет заказчик			
Подп. и дата									
Инв. № дубл.									
Взам. инв. №									
Подп. и дата									
Инв. № подл.									
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	9468-01-00-00			Лист	
								3	

Копировал

Формат А4

АКТ

изготовления лабораторных образцов дрейфовых трубок малого диаметра (ДТМ).

Соглашение с Минобрнауки России

от «20.10.2014г» № 14.610.21.0005

«25.05.2015г.»

Комиссия в составе:

Председатель	Руководитель сектора БТД ОЭФ	Фахрутдинов Р.М.
члены комиссии	Ведущий научный сотрудник	Борисов А.А.
	Ведущий научный сотрудник	Кожин А.С.

назначенная распоряжением по Отделению экспериментальной физики ФГБУ ГНЦ ИФВЭ от «...» мая 2015г. № 300-..... (?), проверила факт изготовления лабораторных образцов ДТМ.

1. Комиссии предъявлены:

1.1. Лабораторные образцы ДТМ в корпусе из лавсановой пленки толщиной 0,125 мкм, покрытой (напыленной) алюминиевым слоем с обеих сторон. Диаметр лабораторных образцов ДТМ 15 мм. Количество образцов – 12 шт.

1.2 Техническая документация – «Требования к техническим характеристикам ДТМ», «Требования к лабораторным образцам ДТМ» в соответствии с Техническим заданием на выполнение ПНИЭР (п.4.2.2, 4.2.8.3).

1.3 Комплект чертежей КО ГНЦ ИФВЭ № 9456 «Дрейфовая трубка».

2. В результате проверки установлено:

2.1. Лабораторные образцы ДТМ (далее – «Объекты испытаний») изготовлены в ФГБУ ГНЦ ИФВЭ в период с «6» апреля 2015 г. по «15» мая 2015 г. в соответствии с Технической документацией на их изготовление.

3. Вывод

Объекты испытаний пригодны для проведения стендовых испытаний.

Председатель комиссии

Р.М.Фахрутдинов

Члены комиссии

А.А.Борисов

А.А.Кожин

21 мая 2015 г.

АКТ
Приемки лабораторных образцов сцинтилляторов
для горячих зон

Соглашение с Минобрнауки России
от «20.10.2014г.» № 14.610.21.005

Комиссия в составе:

Председатель	нач. отдела ОИЯИ	Давыдов Ю.И.
Члены комиссии	ст. научный сотрудник ОИЯИ	Усубов З.У.
	ст. инженер ОИЯИ	Шалюгин А.Н.

назначенная распоряжением по ЛЯП от «20» мая 2015г. № 45, «21» мая 2015г. провела приемку лабораторных образцов сцинтилляторов для горячих зон.

1. Комиссии предъявлены:
Лабораторные образцы сцинтилляторов прямоугольной формы размерами 250x500x6 мм, трапецидальной формы с основаниями 168 мм и 215 мм, высотой 478 мм, толщиной 6 мм и трапецидальной формы с основаниями 133 мм и 169 мм, высотой 362 мм, толщиной 6 мм, изготовленные в рамках модернизации сцинтилляционных детекторов для использования в горячих зонах эксперимента АТЛАС.
2. В результате проверки установлено:
Образцы сцинтилляторов имеют высокую прозрачность, яркость в голубом свете. Все поверхности хорошо отполированы. Образцы не имеют свилей, видимых внутренних и внешних неоднородностей.
3. Вывод:
Образцы сцинтилляторов удовлетворяют ожидаемым параметрам и готовы к дальнейшему детальному исследованию их параметров с использованием радиоактивных источников и пучков ускорителей.

Председатель комиссии

Ю.И.Давыдов

Члены комиссии

З.У.Усубов

А.Н.Шалюгин

АКТ

изготовления лабораторных образцов модулей и плат электроники цезиевой системы калибровки сцинтилляционного калориметра АТЛАС.

Соглашение с Минобрнауки России
от «20.10.2014г.» № 14.610.21.0005

Г. Протвино

13.04.2015г.

Комиссия в составе:

Председатель	Руководитель ОЭА	Слепцов М. А.
члены комиссии	Главный научный сотрудник	Сенько В.А.
	Ведущий научный сотрудник	Солдатов М.М.

назначенная указанием по ФГБУ ГНЦ ИФВЭ от «31» октября 2014г. № 58, «05» ноября 2014 г. проверила факт изготовления объектов испытаний.

1. Комиссии предъявлены:

Объекты для испытаний в составе:

- 1.1 Лабораторные образцы гаражного модуля в количестве 2шт.
- 1.2 Лабораторные образцы модулей управления помпами, клапанами в количестве модулей управления помпами 4 шт., модулей управления клапанами 15 шт.
- 1.3 Лабораторные образцы 3-х типов плат для уровнемера.
- 1.4 Модули связи с периферийным оборудованием.
- 1.5 Комплект технической документации, включающий функциональные, принципиальные и монтажные схемы модулей.

2. В результате проверки установлено:

2.1. Объекты испытаний изготовлены в ФГБУ ГНЦ ИФВЭ в соответствии с принципиальными и монтажными схемами в комплектности, установленной Техническими требованиями на их изготовление.

3. Вывод

Объекты испытаний пригодны для проведения испытаний в составе цезиевой системы калибровки сцинтилляционного калориметра АТЛАС.

Председатель комиссии

М.А.Слепцов

Члены комиссии

В.А.Сенько

М.М.Солдатов

Принципиальные схемы и требования к электрическим характеристикам усилителей и предварительных формирователей ЖАК

Электрические характеристики предварительного формирователя:

Предварительный формирователь осуществляет компенсацию полюса нулем и дополнительное интегрирование.

Диапазон входных сигналов - от 12 мкВ до 750 мВ; сигналы положительные.

Диапазон выходных сигналов, как и коэффициент усиления, будут определены после окончательной разработки формирователя. Предварительные значения усиления приняты равными 4 для передней секции калориметра и 8 - для задней секции, соответственно. С учетом уменьшения амплитуды после интегрирования абсолютные значения усиления будут выбраны равными 6 и 12, соответственно.

Дополнительно вносимый шум должен быть не более 5% от шума предварительного усилителя, что составляет 206 мкВ на выходе формирователя при усилении равном 6.

Точность подбора емкости в каскаде компенсации определяется из условия, что фронт выходного сигнала после основного формирователя может быть установлен равным 50 нс с точностью не хуже ± 1 нс. Из такого требования и известного диапазона емкостей детекторных ячеек ($24 \div 430$ пФ) следует, что величина данной емкости должна варьироваться в диапазоне от 1 пФ до 25 пФ, с шагом 1 пФ.

Прототип предварительного формирователя.

Так как технология производства микросхем для будущего модуля FEB находится на стадии изучения и пока не выбрана, было признано целесообразным на первом этапе спроектировать и испытать макет предварительного формирователя с использованием коммерческих операционных усилителей. Схема одного канала такого формирователя приведена на рис. 1. Он состоит из двух каскадов, один из которых, - это каскад компенсации полюса нулем, а второй осуществляет требуемое усиление и дополнительное интегрирование для получения фронта сигналов 50 нсек после прохождения их через основной формирователь RC- CR2 типа.

Проведено моделирование данной схемы с помощью программы PSPICE. Полученные входные и выходные сигналы показаны на рис. 2. Из рисунка видно, что сигнал на входе формирователя после предварительного усилителя проинтегрирован на эффективной емкости детектора, а первый каскад практически идеально воспроизводит входной треугольный сигнал.

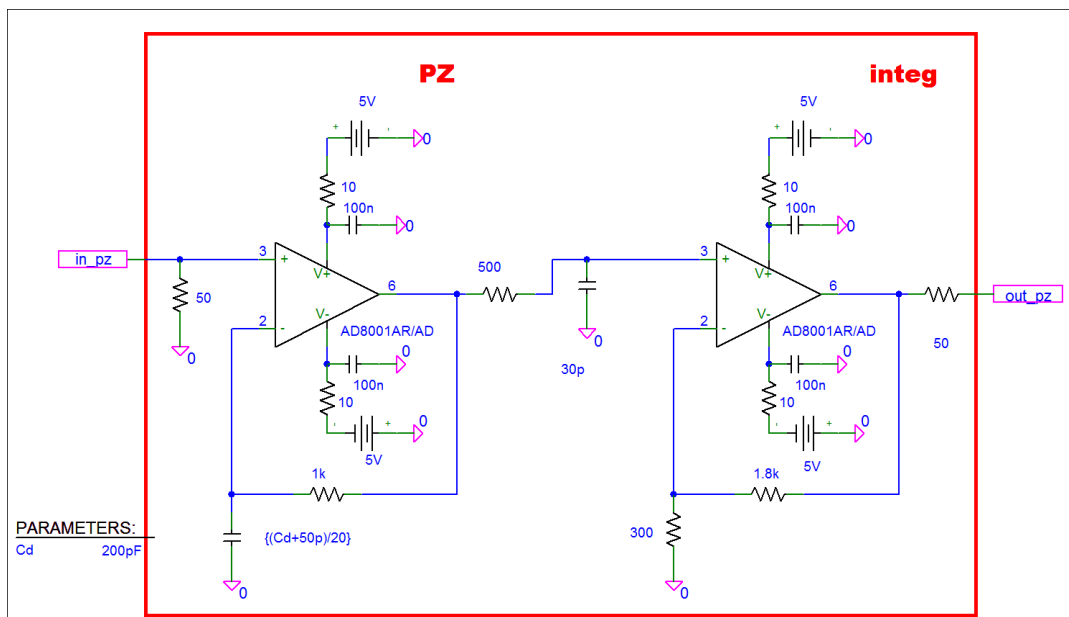


Рисунок 1 - Принципиальная схема одного канала предварительного формирователя.

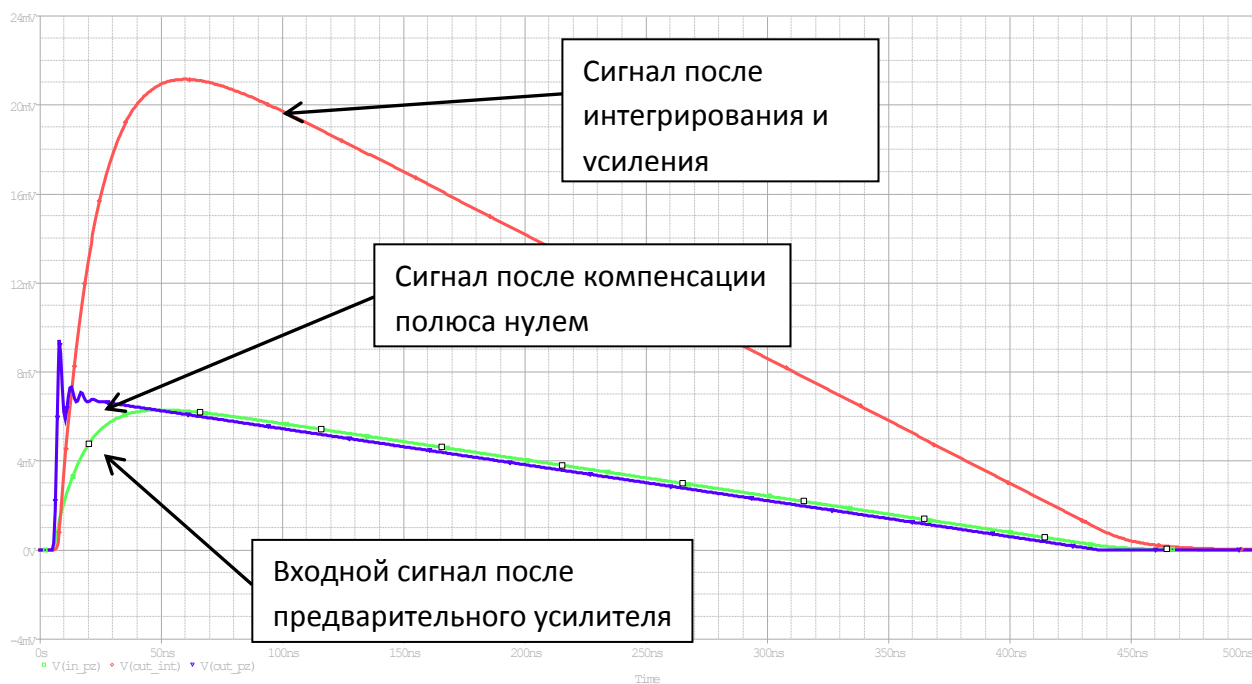


Рисунок 2 - Входной, промежуточный и выходной сигналы одного канала предварительного формирователя. Сигнал после каскада компенсации полюса нулем представляет собой практически идеальный треугольник.

Разработана печатная плата для макетирования и изучения характеристик прототипа предварительного формирователя (рисунок 3). Данная плата является универсальной и будет использована в качестве одного канала усилителя для планируемого эксперимента HiLum2 (работы по теме «Выбор вариантов переднего мини-калориметра, удовлетворяющих требованиям эксперимента АТЛАС по энергетическому и временному разрешениям и радиационной стойкости»).

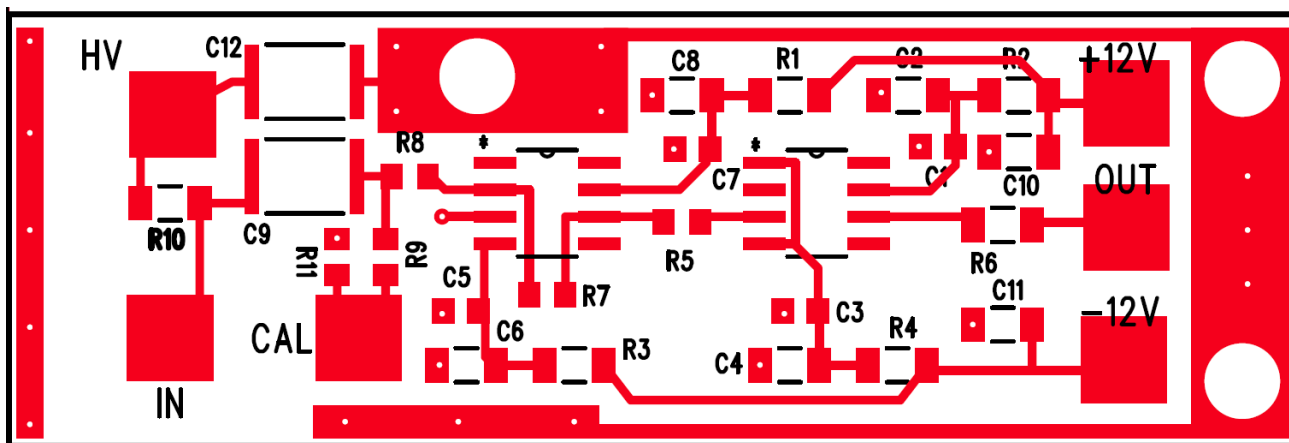


Рисунок 3 - Топология печатной платы одного канала предварительного формирователя.

Разработан и создан лабораторный стенд для проверки и изучения электрических характеристик прототипа предварительного формирователя. Для создания стенда за счет выделенных средств приобретен импульсный генератор Tektronix AFG3252. Ниже приведены структурная схема стенда (рисунок 4) и его фотография (рисунок 5). На сегодняшний момент управление генератором и осциллографом осуществляется вручную, но в дальнейшем стенд будет работать под управлением персонального компьютера.

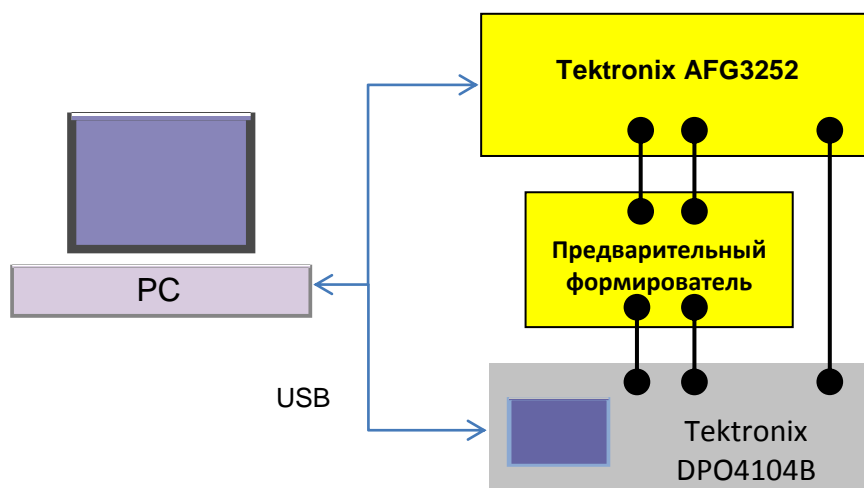


Рисунок 4 - Структурная схема стенда для изучения характеристик предварительного формирователя.

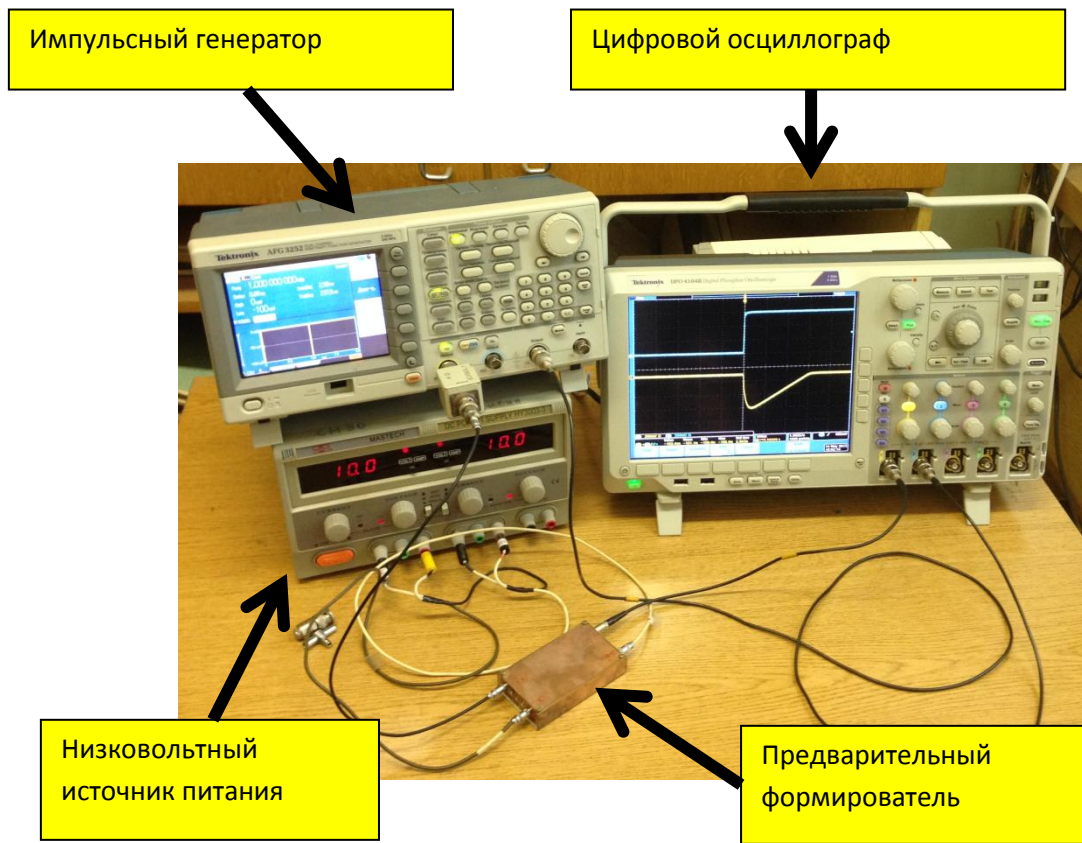


Рисунок 5 - Фотография стенда для изучения характеристик предварительного формирователя.

Базовое руководство для операторов и расширенное руководство для экспертов ЕСАL группы по пакетам VTR и ВСН

В настоящее время идет процесс переноса калибровочных прогонов ЖАК с хранилища castor на другое место, так называемую систему eos. Также меняется формат записи калибровочных данных в базу данных. В связи с этим в пакеты необходимо будет внести соответствующие изменения и только потом уже написать требуемые руководства по ним. Тем не менее на данном этапе имеется единое описание, которое в дальнейшем будет разделено на базовую и расширенную версии.

Необходимо отметить, что пакет VTR предназначен для запуска только узким кругом экспертов и поэтому руководство по нему не будет выкладываться на общий информационный ресурс.

2.4.1. Сборка и установка пакетов

Пакеты VTR и ВСН написаны на языке C++ с широким использованием библиотек STL, Boost и Root. Исходники находятся на кластере lxplus в папках /afs/cern.ch/user/v/victorb/Development/GetDev — VTR и /afs/cern.ch/user/v/victorb/Development/BadChanHunter — ВСН. Для сборки и установки достаточно скопировать исходный код и собрать пакет стандартной командой make.

2.4.2. Запуск программ и аргументы

Для запуска программ не требуется выполнять предварительные настройки переменных окружения специальными скриптами.

2.4.2.1. "Validation threshold retuning"

Работа с пакетом VTR в конечном итоге сводится к запуску команды treshTun в командной строке на линуксовом кластере lxplus. Команда treshTun имеет следующий набор аргументов:

- -f имя текстового файла содержащего описание калибровочных прогонов для анализа;
- -t тип калибровочной компании, daily или weekly;
- -w установка «А» или «С» колеса/стороны ЖАК;
- -l задание индекса для слоя ЖАК;
- -b работать в тихой моде без вывода информации на экран;
- -d рисовать основные графики;
- -a выводить на экран дополнительный графики;
- -s сохранять результаты в текстовый файл, а графики в pdf файл;
- -v выводить на экран подробную информацию о ходе обработки;
- -h вывод на экран справки о программе.

2.4.2.2 «Bad channel hunter»

Для запуска пакета ВСН в командной строке на линуксовом кластере lxplus нужно набрать badChHunter. Данная команда имеет следующий набор аргументов:

- -F имя текстового файла со списком калибровочных прогонов;
- -L задание индекса для слоя ЖАК;
- -p печатать информацию об анализируемом прогоне;
- -v выводить на экран подробную информацию о ходе обработки;

- -h вывод на экран справки о программе.