

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 520  
№01.200710177  
Инв. №02.518.11.7082-2

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Института ядерных  
исследований РАН

\_\_\_\_\_ В.А.Матвеев

" " июня 2008 г.

**ОТЧЕТ**

о научно-исследовательской работе  
**«ПРОВЕДЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ  
РАЦИОНАЛЬНОГО  
ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
УНИКАЛЬНЫХ УСТАНОВОК «ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ  
ПОТОКОВ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ И КОСМИЧЕСКИХ  
ИСТОЧНИКОВ ИХ ПРОИСХОЖДЕНИЯ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ НА  
БАЙКАЛЬСКОМ ГЛУБОКОВОДНОМ НЕЙТРИННОМ  
ТЕЛЕСКОПЕ (УСУ-БГНТ)»**

(Шифр: 2007-7-1.8-00-05-201)

Государственный контракт от 18 апреля 2007г. № 02.518.11.7082  
и дополнительное соглашение №1 от 11 октября 2007г.  
этап 3

**«ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕДИЦИИ НА ОЗ. БАЙКАЛ, НАТУРНЫЕ  
ИСПЫТАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ПАРТИИ НОВОЙ  
РЕГИСТРИРУЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОНИКИ БГНТ»**

(промежуточный)

Руководитель темы,  
член-корр. РАН

\_\_\_\_\_ Г.В.Домогацкий

« » июня 2008 г.

Москва 2008

**СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ**

**Руководитель работы,  
научная редакция**

член-корр. РАН

Г.В.Домогацкий

**Исполнители темы**

с.н.с, к.ф.-м.н.	В.Айнутдинов	Разделы 1,4,5
инж.-электрон	К.В.Голубков	Раздел 1,4,5
в.н.с.,д.ф.-м.н.	Ж.-А.М.Джилкибаев	Раздел 2,5,6
н.с., к.т.н.	А.М.Клабуков	Раздел 1,2
инж.-электрон.	А.П.Кошечкин	Раздел 2,5
вед. инженер	А.И.Панфилов	Раздел 2,5
стажер-исслед.	А.А.Шейфлер	Раздел 1,4,5
студент	Д.А.Кулешов	Раздел 1,4,5
Н.с. к.ф.-м.н.	О.Н. Гапоненко	Раздел 3

Исполнители, обеспечивающие выполнение проекта:

Ведущие инженеры – 2

Инженеры – экспериментаторы - 5

Рабочие – 14 чел.

Составление и редакция отчета – начальник установки А.В.Аврорин,  
зам.зав.лаб.Н.А.Айрапетова

**Соисполнители темы**

зав.лаб.,д.ф.-м.н.	Л.А.Кузьмичев	Раздел 5 (НИИЯФ МГУ)
с.н.с.к., ф.-м.н.	В.И.Просин	Раздел 5 (НИИЯФ МГУ)
н.с.	И.А.Белолаптиков	Разделы 2,4,6 (ОИЯИ)
мл.н.с	Е.Н.Плисковский	Разделы 4,5 (ОИЯИ)
с.н.с., к.ф.-м.н.	Э.А.Осипова	Раздел 6 (НИИЯФ МГУ)
и.о.директора, д.ф.-м.н.	Н.М.Буднев	Разделы 2,3 (НИИПФ ИГУ)
Н.с.	Г.Л. Паньков	Разделы 4,5 (НИИПФ ИГУ)

## **А Н Н О Т А Ц И Я**

### **к отчету о научно-исследовательской работе**

«Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2012 годы» научно-исследовательские работы по лоту «Проведение исследований в области рационального природопользования с использованием уникальных установок по теме: «Исследование природных потоков элементарных частиц и космических источников их происхождения в экспериментах на Байкальском глубоководном нейтринном телескопе (УСУ-БГНТ)»

Шифр: 2007-7-1.8-00-05-201

Государственный контракт от 18 апреля 2007г. № 02.518.11.708

и дополнительное соглашение №1 от 11 октября 2007г.

этап 3

«Проведение экспедиции на оз. Байкал, натурные испытания экспериментальной партии новой регистрирующей электроники БГНТ».

Объектом исследования данного проекта является УСУ–Байкальский глубоководный нейтринный телескоп (БГНТ), предназначенный для проведения исследований и получения новых результатов в области физики космических лучей, космологии, физики элементарных частиц и нейтринной астрофизики, мониторинга окружающей среды в акватории оз. Байкал.

Целью работы являлось проведение исследований и обеспечение научно-исследовательских, проектных и технологических работ, проводимых организациями Российской Федерации, с предоставлением возможности использования новых результатов в области физики космических лучей, космологии, физики элементарных частиц и нейтринной астрофизики, мониторинга окружающей среды, получаемых в экспериментах на УСУ - Байкальский глубоководный нейтринный телескоп.

Задачи третьего этапа работ по контракту можно считать выполненными ПОЛНОСТЬЮ:

- проведены лабораторные и натурные испытания новых электронных узлов БГНТ;
- проведена экспедиция на оз. Байкал;
- в период экспедиции выполнены работы по профилактике и модернизации регистрирующей системы БГНТ и аппаратуры для мониторинга гидрологических характеристик оз. Байкал;
- интегрированы новые узлы с системой сбора данных БГНТ;
- введена в эксплуатацию экспериментальная система сбора данных на базе FADC в составе БГНТ;
- по завершению экспедиционных работ УСУ-БГНТ был включен в режим постоянного набора данных. За период с 9 апреля по 10 июня 2008г. «живое время» работы детектора НТ200 составило 43 дня, из которых 40 дней - в режиме совместной работы с внешними гирляндами, т.е. как детектор НТ200+;
- проведен анализ экспериментальных данных за 2007г.;
- составлен и рассмотрен промежуточный отчет.

Руководитель работы

член-корр. РАН

\_\_\_\_\_ Г.В. Домогацкий

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ. Проведение экспедиции на оз. Байкал, натурные испытания экспериментальной партии новой регистрирующей электроники БГНТ.....	6
1 Проведение лабораторных испытаний новых электронных узлов БГНТ.....	8
2 Организация экспедиции на оз. Байкал .....	13
3 Проведение работ по профилактике и модернизации регистрирующей системы БГНТ и аппаратуры для мониторинга гидрологических характеристик оз. Байкал во время экспедиции 2008 г.....	23
4 Интеграция новых электронных узлов с системой сбора данных БГНТ в период экспедиции.....	45
5 Ввод в эксплуатацию экспериментальной системы сбора данных на базе FADC в составе БГНТ.....	48
6 Анализ экспериментальных данных за 2007 г. .....	62
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	

### ПРИЛОЖЕНИЕ А. СПИСОК СТАТЕЙ И

КОНФЕРЕНЦИЙ В 2008 г

### ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Научная программа Байкальской

экспедиции ИЯИ РАН в 2008 г.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Проект “Исследование природных потоков элементарных частиц и космических источников их происхождения в экспериментах на Байкальском глубоководном нейтринном телескопе УСУ-БГНТ” выполняется в 4 этапа. Тема 3 этапа (январь-июнь 2008 г.): «Проведение экспедиции на оз. Байкал, натурные испытания экспериментальной партии новой регистрирующей электроники БГНТ». Этап выполняется в следующих целях:

- 1) повышения эффективности и модернизации Байкальского глубоководного нейтринного телескопа НТ-200+
- 2) подготовки и установки на долговременные глубоководные испытания новых устройств, позволяющих на последующих этапах расширить объем телескопа,
- 3) обеспечения научно-исследовательских, проектных и технологических работ, проводимых организациями Российской Федерации, с предоставлением возможности использования новых результатов в области физики космических лучей, космологии, физики элементарных частиц и нейтринной астрофизики, а также мониторинга окружающей среды, получаемых в экспериментах на УСУ-Байкальский глубоководный нейтринный телескоп;
- 4) развития материально-технической базы УСУ–Байкальский глубоководный нейтринный телескоп ИЯИ РАН путем дооснащения имеющегося специализированного комплекса приобретаемыми комплектующими для обеспечения и развития исследований в режиме коллективного пользования .

Головной исполнитель НИР:

Институт ядерных исследований Российской академии наук.

Выполняет следующие работы:

- общее научное руководство,

- планирование и материально-техническое обеспечение работ,
- организация экспедиции,
- проведение лабораторных испытаний новых электронных узлов БГНТ.

Соисполнители:

Научно-исследовательский институт прикладной физики ГОУ ВПО «Иркутский государственный университет».

Участие в выполнении работ по разделу:

- Проведение работ по профилактике и модернизации регистрирующей системы БГНТ и аппаратуры для мониторинга гидрологических характеристик оз. Байкал во время экспедиции 2008 года.

Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова.

Участие в выполнении работ по разделам:

- Ввод в эксплуатацию экспериментальной системы сбора данных на базе FADC в составе БГНТ.
- Анализ экспериментальных данных за 2007 год.

«Объединенный институт ядерных исследований» (г. Дубна).

Участие в выполнении работ по разделам:

- Организация экспедиции на оз. Байкал
- Анализ экспериментальных данных за 2007 год.

Все запланированные работы выполнены главным исполнителем и соисполнителями в полном объеме и в срок. В соответствии с планом закуплены все оборудование и материалы.

По результатам исследований в 2008 г.:

- одна статья опубликована,

- 6 статей подготовлены и направлены для опубликования в ведущих научных отечественных и зарубежных журналах,
- сделано 5 докладов на 3 международных научных конференциях и совещаниях,
- проведено международное совещание по итогам экспедиции,
- 3 студента проходят практику, один из них защитил диплом бакалавра,
- 2 аспиранта обучаются и проводят исследования по тематике данной НИР.

Накопленные экспериментальные данные по регистрации космических частиц высоких энергий доступны в равной степени 10 участникам коллаборации «Байкал», которая включает и соисполнителей по данному контракту. Данные по мониторингу гидросферы и результаты разработок методов и аппаратуры доступны всем заинтересованным организациям в установленном законодательством РФ порядке об интеллектуальной собственности.

Отчет о достижении заданных значений программных индикаторов на 3 этапе выполнения работ (п. 6 Технического задания) приведен в Приложении № 20.

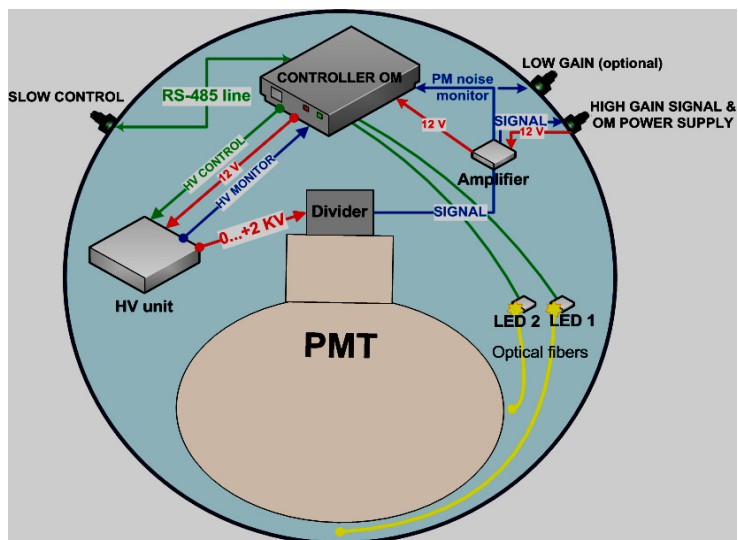
## **1.Проведение лабораторных испытаний новых электронных узлов БГНТ**

Повышение эффективности работы БГНТ с точки зрения регистрации нейтринных событий требует существенного увеличения светосилы, а следовательно, рабочего объема телескопа и количества регистрирующих оптических модулей. Для прототипа элемента кубокилометрового телескопа была разработана новая регистрирующая система, основные новые элементы которой – оптические модули, измерительная система на основе FADC и калибровочная система на базе светодиодов – испытывались на данном этапе работ по проекту. Испытания проводились в два этапа: 1 этап включал



лабораторные тесты аппаратуры, на втором этапе проводились натурные исследования в реальных условиях эксплуатации приборов.

На рисунке 1.1 представлена блок-схема нового оптического модуля (ОМ) телескопа.



**Рисунок 1.1. Блок схема оптического модуля**

Оптический модуль состоит из следующих основных элементов: фотоумножитель (ФЭУ), контроллер ОМ, двухканальный усилитель и блок высоковольтного питания. Основным светочувствительным элементом является ФЭУ. В качестве основного кандидата для использования в установке рассматривается фотоприемник Photonis XP1807 с полусферическим фотокатодом диаметром 12 дюймов. В отчетный период были проведены испытания партии из пяти фотоумножителей этого типа. В качестве основных параметров исследовались следующие характеристики ФЭУ:

- Номинальное значение высоковольтного напряжения ( $HV_{nom}$ ): величина напряжения между фотокатодом и старшим динодом ФЭУ, обеспечивающее величину усиления фотоумножителя на уровне  $\sim 1 \times 10^7$ .

- Отношение пик/долина ( $P/V$  – peak to valley) для одноэлектронного спектра сигналов фотоумножителя.
- Разброс времени прихода сигналов ФЭУ (TTS – transit time spread) для  $HV_{nom}$ .
- Ширина импульса ( $W$ ) для  $HV_{nom}$ .
- Динамический диапазон - величина линейной области откликов фотоумножителей.

Измерения параметров фотоумножителей производились с использованием светодиодного источника света. Длительность сигналов составляла 5 нс (FWHM), длина волны 470 нм. Основные результаты измерений представлены в таблице 1.1.

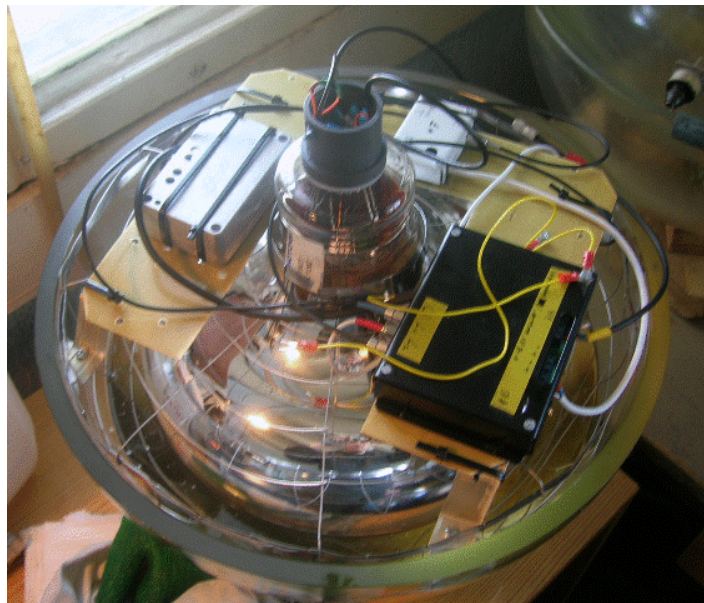
**Таблица 1.1. Результаты тестирования ФЭУ XP1807**

	SN1113	SN1114	SN1055	SN1062	SN1064
$HV_{nom}, V$	1250	1300	1500	1550	1650
$W, ns$	15	14	11	14	15
Диапазон, V	1.9	2.2	2.5	3.0	>2
$P/V$	2	2.5	3	2.5	2
TTS, ns	4.4	4.6	3.9	3.9	5.6

Полученные значения параметров в основном удовлетворяют техническим требованиям, предъявляемым к фотодетекторам для крупномасштабных подводных черенковских детекторов. Исключение составляет несколько завышенное значение TTS: 4-5 нс. Уменьшение этого параметра может быть достигнуто оптимизацией распределения динодных потенциалов ФЭУ, в первую очередь, повышением напряжения на камере фотоумножителя. Проведение таких оптимизационных исследований планируется на следующем этапе работ по проекту.

Спектрометрический канал детектора формируется фотоумножителем, усилителем сигналов ФЭУ и измерительной системой на основе FADC. Для обеспечения надежной работы каналов, сигналы с ФЭУ усиливались по амплитуде. Коэффициенты усиления измерялись в лабораторных условиях для всех спектрометрических каналов и составляли величину близкую к 5 (усиление по амплитуде сигнала). Такое значение с одной стороны обеспечивает достаточно высокое значение средней величины одноэлектронного сигнала (~30 мВ) по отношению к собственным шумам спектрометрического канала, а с другой стороны позволяет работать в динамическом диапазоне сигналов до 100 фотоэлектронов.

Протестированные фотоумножители и усилители монтировались в оптические модули вместе с блоками высоковольтного питания и контроллерами ОМ, как показано на рисунке 1.2.



**Рисунок 1.2. Сборка оптического модуля: размещение контроллера, высоковольтного блока и усилителя на фотоумножителе XP1807**

Для тестирования оптических модулей после монтажа использовались системы управления и калибровки контроллеров ОМ. Контроллеры ОМ

разработаны на основе микросхем С8051F124 и выполняют следующие основные функции:

- Управление величиной высоковольтного напряжения ФЭУ.
- Мониторинг величины установленного высоковольтного напряжения.
- Контроль темпа счета темновых шумов ФЭУ.
- Калибровка фотоумножителя светодиодами источниками света.

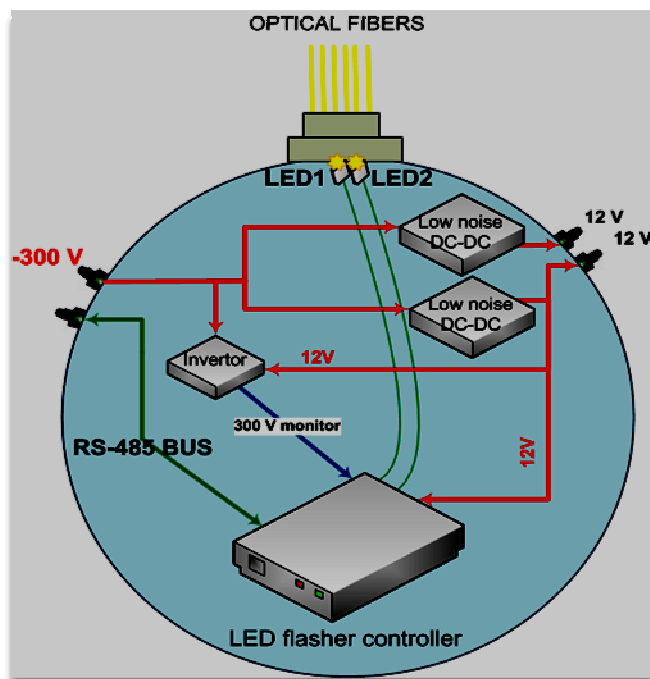
Управление работой контроллера осуществляется по шине RS-485.

Результаты тестирования партии из 14 контроллеров ОМ представлены в таблице 1.2.

**Таблица 1.2. Результаты тестирования контроллеров ОМ**

Тестируемый параметр	Значение	Разброс значений параметров
Минимальный порог счетчика шумов ФЭУ	30 мВ	5 мВ
Максимальное управляющее светодиодами напряжение	11.5 В	0,2 В
Точность контроля установленного значения высоковольтного напряжения	2%	0,5%
Диапазон задержек сигналов светодиодов	1000 нс	<10 нс
Шаг изменения задержек сигналов светодиодов	100 нс	<10 нс

Окончательное тестирование оптических модулей производилось при помощи внешней калибровочной системы – светодиодной матрицы. Блок-схема матрицы представлена на рисунке 1.3.



**Рисунок 1.3. Блок-схема светодиодной матрицы**

Световые импульсы, генерируемые двумя светодиодами матрицами, транслируются к оптическим модулям по пластиковым оптоволоконным кабелям калиброванной длины. В этом режиме тестировалась совместная работа ОМ как в лабораторных, так и в реальных условиях после установки аппаратуры в оз. Байкал.

## **2. Организация экспедиции на оз. Байкал**

Экспедиции на оз. Байкал проводятся ежегодно с целью ремонта и модернизации глубоководной аппаратуры и оборудования БГНТ. Каждая экспедиция требует тщательной подготовки и планирования, которые связаны с большим объемом необходимых работ и крайне сжатыми сроками их исполнения в период, когда лед на озере Байкал выдерживает нагрузки тяжелой подъемной техники и транспортных средств. Этот период, как правило, начинается в конце февраля и заканчивается в первых числах апреля.

Подготовка экспедиции начинается с подведения итогов предыдущей экспедиции на Международном совещании коллаборации «Байкал» в Дубне

в начале июня, где согласовываются программа подготовительных работ. Научная программа экспедиционных работ согласовывается на Международном совещании в Дубне в декабре предшествующего экспедиции года и в окончательном варианте подписывается научным руководителем и утверждается директором ИЯИ РАН. Научная программа Байкальской экспедиции 2008 г. (приложение 1) включает все работы по данной НИР.

Для организации экспедиции необходимо провести следующие основные мероприятия:

- Закупку материалов и комплектующих.
- Ремонт подъемного, льдорезного и автотранспортного оборудования.
- Разработку и изготовление комплектующих и специальной аппаратуры.
- Создание стендов для отладки и испытаний аппаратуры.
- Создание программного обеспечения.
- Проведение отладки и лабораторных испытаний глубоководной аппаратуры.
- Транспортировку материалов, оборудования и аппаратуры из Москвы, Нижнего Новгорода и Иркутска на 106 км Кругобайкальской железной дороги.
- Размещение и жизнеобеспечение научно-технического персонала (до 60 человек) на месте проведения экспедиции.
- Разметка и развертывание ледового лагеря, проведение льдорезных работ.
- Подъем глубоководного оборудования, проведение его ремонта и модернизации.
- Установка нового оборудования.
- Проведение запланированных на период экспедиции экспериментов.
- Сворачивание экспедиции и транспортировка грузов в Москву.

- Включение нейтринного телескопа и систем управления в режим постоянного набора данных.
- Предварительный анализ и подведение итогов экспедиции.

Работы по ледовой транспортировке техники и грузов, ремонту транспортных средств осуществляются Байкальским техническим центром ИЯИ РАН в г. Байкальске. Работники этого центра участвуют в обеспечении экспедиционных работ электроэнергией, продуктами питания и материалами, а также изготовлением и ремонтом подсобных устройств.

Основные этапы выполненных ледовых работ в экспедиции 2008 г.:

- Подготовка к подъему глубоководного оборудования
- Подъем НТ200, внешних стрингов и внешнего лазера
- Ремонт гирлянд телескопа НТ200 и внешних стрингов
- Монтаж экспериментального стринга.

Карта-схема расположения элементов телескопа приведена на рисунке 2.1, расшифровка обозначений дана в таблице 2.1.