

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Иркутский государственный университет»

УДК 524.1; 524.8

№ госрегистрации АААА-А19-119111990027-1

Инв. Номер

УТВЕРЖДАЮ

Ректор университета

профессор

_____ А.Ф.Шмидт

"15" декабря 2020 г.

ОТЧЕТ
О ВЫПОЛНЕННЫХ РАБОТАХ

по теме: «Развитие уникальной научной установки Астрофизический
комплекс МГУ-ИГУ»

Грант в форме субсидии от "5" ноября 2019 г. № соглашения ЭБ 075-15-2019-1631,
Внутренний номер соглашения № 05.619.21.0013.

(Заключительный)

Руководитель проекта,
Декан физического факультета
Д. ф.-м.н.

_____ Н.М.Буднев

Иркутск 2020

РЕФЕРАТ

Ключевые слова: Космические лучи, гамма-астрономия, галактические и внегалактические источники, черенковское излучение, радио излучение широкий атмосферный ливень, широкоугольный черенковский детектор, атмосферный черенковский телескоп, гамма-обсерватория TAIGA.

Объект исследований – астрофизические источники частиц и гамма-квантов сверхвысоких энергий, энергетические спектры и массовый состав заряженных космических лучей в диапазоне энергий 100 ПэВ – 10 ЕэВ, энергетические спектры гамма-квантов с энергией выше 2 ТэВ, Галактические локальные источники фотонов с энергиями больше 100 ТэВ, диффузные гамма-кванты с энергиями порядка 100 ПэВ, гипотетические частицы темной материи.

Цель проекта – модернизация действующей крупной уникальной научной установки «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ» до уровня лучших мировых аналогов, способных обеспечить решение фундаментальных и прикладных задач на переднем крае современной науки и привлечь для решения таких задач международное научное сообщество.

В отчете представлены результаты, полученные при выполнении следующих работ, предусмотренных планом – графиком Соглашения о предоставлении субсидии от "5" ноября 2019 г. № соглашения ЭБ 075-15-2019-1631, Внутренний номер соглашения № 05.619.21.0013: завершение работ по развертыванию и вводу в режим штатного набора данных пилотного комплекса гамма-обсерватории TAIGA в полном объеме; модернизация вычислительной инфраструктуры УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ»; модернизация энергосистемы УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ» (закупка инверторов DOMINATOR UPS 20 кВт, монтаж и ввод строй трансформаторной подстанции, дизельной электростанции, системы бесперебойного питания); закупка комплектующих для широкоугольных камер для регистрации черенковского и флуоресцентного свечения ШАЛ (фотосенсоры фирмы HAMAMATSU, платы BabyMIND и т.д.); завершение по модернизации черенковской установки Tunka-133 с целью увеличения ее эффективной площади до 5 кв.км; модернизация системы синхронизации детекторов и установок УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ» на базе технологии WhiteRabbit; модернизация геофизического комплекса УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ»; подготовка проекта и инфраструктуры для включения в состав УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ» широкоугольных телескопов (30 градусов поле зрения), регистрирующих черенковское и флуоресцентное

излучение ШАЛ; проведение штатных сеансов наблюдений осеннего- сезона 2020 года с помощью действующих детекторов и установок УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ», обработка и анализ полученных экспериментальных данных; завершение работ по повышению чувствительности робот-телескопа MASTER, за счет создания нового робот-телескопа MASTER-600 с оптическими камерами диаметром 600 мм.

Введение

Последние десятилетия ознаменованы огромными успехами в понимании структуры материи как на микроуровне, так и на масштабах Вселенной, а также взаимодействий элементарных частиц и ядер в широкой области энергий. Особое значение имеет открытие с помощью Большого адронного коллайдера (ЛHC) бозона Хиггса. Большим событием стала регистрация первых астрофизических нейтрино высоких энергий установкой IceCube. Тем не менее, сохраняется ряд нерешенных проблем фундаментального характера: до сих пор нет удовлетворительного понимания проблем «конфаймента», не ясна природа темной материи и темной энергии, барионной асимметрии, происхождения космических лучей сверхвысоких энергий и т.д. Возможно, эти проблемы будут решены только в рамках «Новой Физики», т.е. физики за пределами Стандартной Модели. С точки зрения роста энергии, возможности ускорительной физики уже близки к техническому пределу, поэтому в последние годы во всем мире возрос интерес к методам исследований без использования ускорителей т.н. неускорительной физике высоких энергий. Более того, все больше усиливается связь исследований проблем астрофизики и физики элементарных частиц, что послужило основой формирования нового направления фундаментальной науки AstroparticlePhysics (астрофизики элементарных частиц).

В 2012 году исполнилось 100 лет с момента публикации В. Гессом статьи о наблюдении ионизирующего излучения внеземного происхождения [1]. Однако, и в XXI веке исследование потоков заряженных частиц, гамма-квантов и нейтрино высоких энергий, изучение их астрофизических источников и механизмов ускорения КЛ в галактических (оболочки сверхновых звезд, пульсары и т.д.) и внегалактических (активные ядра галактик, квазары и т.д.) объектах наряду с поиском новых форм материи – важнейшие направления современной астрофизики. Поскольку заряженная и нейтральная компоненты космического излучения от внеземных источников генетически тесно связаны, совместное исследование потоков ядер, гамма – квантов и нейтрино высоких энергий представляет особую ценность и может дать важную информацию для решения многих фундаментальных проблем астрофизики и физики высоких энергий.

В последние годы гамма-астрономия стала самым динамично развивающимся направлением астрофизики высоких энергий, в котором получено много важнейших фундаментальных результатов, зарегистрировано гамма-излучение с энергией выше 1 ТэВ около 200 локальных источников [2]. Однако, зарегистрированы только единичные гамма-кванты с энергией выше 50 ТэВ ни от одного источника не зарегистрированы гамма - кванты с энергией выше 150 ТэВ. Можно сказать, что эта область энергий остается *Terraincognita* для современной гамма – астрономии, хотя и представляет большой интерес

для решения многих фундаментальных задач астрофизики элементарных частиц. Так, например, до сих пор нет ответа на вопрос об источниках Галактических космических лучей с энергией в районе 1 ПэВ - области, непосредственно примыкающей к классическому «колелу» в спектре всех частиц, открытому более полувека назад, но до сих пор не получившему окончательного объяснения. Такие источники принято называть ПэВатронами. Особый интерес представляет поиск гамма-квантов с энергиями выше 1 ПэВ.

Преимущества гамма – квантов как носителя информации о самых мощных Галактических и метagalacticких источниках энергии по сравнению с заряженными космическими лучами связаны с тем, что гамма – кванты сохраняют направление движения на источник, а по сравнению с нейтрино – относительная простота их регистрации. Гамма кванты высоких энергий > 100 ГэВ не могут образовываться как тепловое излучение даже самых горячих объектов в Галактике и Метагалактике. Они могут возникать только в результате взаимодействия ультра - релятивистских заряженных частиц (космических лучей) с окружающим газом, фотонами и магнитными полями [3]. В принципе, высокоэнергичные гамма - кванты могут также рождаться в результате взаимодействий и распадов гипотетических частиц реликтовой темной материи, оставшихся от Большого взрыва.

Энергетические спектры и потоки гамма квантов отражают спектры и потоки заряженных частиц их образовавших, как в источниках ускорения, так и в процессах распространения от источников до Земли. Это позволяет исследовать природу самых катастрофических процессов в Галактике и Вселенной, поскольку механизмы ускорения до энергий десятки и сотни ТэВ, как правило, связаны с появлением и эволюцией гигантских ударных волн, возникающих при энерговыделениях порядка 10^{51} эрг и больше, характерных для взрывов и слияния звезд в Галактике, а также при аккреции вещества на черные дыры в ядрах активных галактик и на нейтронные звезды. Прямолинейность распространения гамма-квантов дает возможность оценивать потоки космических лучей и спектры вдали от Солнечной системы и даже в других галактиках.

Поток гамма – квантов высоких энергий слишком мал для прямой их регистрации с помощью орбитальных детекторов, поэтому для их наблюдений используются наземные установки, регистрирующие те или иные компоненты т.н. широких атмосферных ливней (ШАЛ), развивающихся после взаимодействия гамма- квантов в верхних слоях атмосферы. В одних случаях регистрируется черенковский свет от ШАЛ, в других заряженные частицы (электроны, мюоны) ШАЛ на уровне установки [4].

До сих пор основной объем знаний о потоках и источниках гамма - квантов высоких энергий получен с помощью установок: HEGRA [5], H.E.S.S. [6], MAGIC [7] и

VERITAS[8]. Они представляют собой совокупность 2 -5 черенковских детекторов состоящих из составных зеркал диаметром 4 - 24 м, отражающих черенковский свет на мозаику фотоприемников, в которых формируется изображение ШАЛ. Такие телескопы принято называть *ImagingAtmosphericCherenkovTelescope* (IACT). Метод анализа формы изображений, предложенный А.М.Хилласом [9] в середине 80-х годов, позволил с высокой надежностью отделять ШАЛ, образованные гамма –квантами, от ШАЛ, порожденных космическими лучами. Уровень чувствительности существующих в настоящее время гамма-телескопов оптимизирован для энергетического диапазона 100 ГэВ – 20 ТэВ, в результате только от 10 источников зарегистрированы гамма-кванты с энергией выше 10 ТэВ, и ни от одного источника не зарегистрированы гамма - кванты с энергией выше 100 ТэВ. Причина этого очевидна, из-за крутого падения потока гамма – квантов с энергией, для того чтобы продвинуться в область гамма-астрономии сверхвысоких энергий нужны установки площадью не менее квадратного километра. С другой стороны, Для эффективного подавления фона при использовании IACT детекторов важно, чтобы один и тот же ШАЛ давал изображение в нескольких телескопах (стереоскопический подход). Для этого телескопы располагают на небольших расстояниях не более 100-120 м друг от друга, и эффективная площадь регистрации одного IACT детектора не более 10^5 м^2 , то есть в расчете на 1 км^2 площади установки необходимо не менее 10 дорогостоящих IACT детекторов, что ограничивает возможности создания установок большой площади на базе исключительно IACT детекторов.

Проектируемые и создаваемые в настоящее время гамма - телескопы четвертого поколения (СТА [10], HAWC [11], LHAASO [12]) будут иметь значительно более высокую чувствительность по сравнению с действующими установками в области энергий до 100 ТэВ, что позволит существенно улучшить знания о потоках и источниках гамма - квантов высоких энергий. Но из-за ограниченности площади установок HAWC, и LHAASO величиной 0.1 – 1 кв.км продвинуться с их помощью в область энергий существенно выше 100 ТэВ вряд ли будет возможно.

Только в наиболее амбициозном проекте СТА запланировано размещение около 70 т.н. SmallSizeTelescope (SST) с шагом 300м на площади 7 км^2 для исследования потоков гамма –квантов с энергиями выше 10 ТэВ. Для исследований в области более высоких энергий нужны установки еще большей площади и другие методические решения, которые позволили бы иметь установку площадью 10 кв.км и более при разумной стоимости. При этом стоимость LHAASO составит 150 миллионов долларов, а СТА порядка 400 миллионов Евро. Более того, первоначально предполагалось построить СТА к 2016-2017 году, однако, до сих пор не принято решение о целевом финансировании

этого дорогостоящего проекта, не выбрано окончательно место строительства, не решены многие технические проблемы.

Альтернативный подход к решению фундаментальных проблем астрофизики элементарных частиц и гамма-астрономии сверхвысоких энергий заложен в проекте гамма-обсерватории TAIGA (Tunka Advanced Instrument for cosmic ray physics and Gamma Astronomy) с гибридной системой детекторов.

Идея гибридного подхода начала формироваться в 2012 году в рамках совместного германо-российским проекта «Исследования гамма-лучей и заряженных космических лучей в Тункинской долине в Сибири с помощью инновационных технологий», поддержанного в октябре 2011 года обществом Гельмгольца и РФФИ (программа Helmholtz «HRJRG»). И вышла на качественно новый уровень развития в рамках гранта Правительства Российской Федерации для государственной поддержки научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых по теме: «Гамма – астрономия мульти-ТэВных энергий» (Договор от 28 июня 2013г № 14.В25.31.0010). Ключевая идея проекта состоит в объединении в единый комплекс установок с разными типами детекторов. Сочетание разных методов регистрации различных компонент ШАЛ, возникающих при взаимодействии космического излучения высоких энергий с атмосферой, позволяет получать наиболее эффективным способом информацию о частицах их породивших и об астрофизических источниках этих частиц.

Для реализации проекта была создана международная коллаборация TAIGA, в которую вошло несколько ведущих российских и европейских научных организаций и университетов, в том числе:

1. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный университет», ФГОУ ВО ИГУ.
2. Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В.Скобелева Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», МГУ.
3. Международная межправительственная научно-исследовательская организация Объединенный институт ядерных исследований, ОИЯИ, (г.Дубна).
4. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
5. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерных исследований Российской академии наук, ИЯИ РАН.
6. Немецкий электронно-синхротронный центр (Deutsches Elektronen-Synchrotron), DESY, г. Гамбург, г. Цойтен, Германия.

7. Туринский университет (Universita' degli Studi di Torino), Dipartimento di Fisica Generale, Uni TU г. Турин, Италия.

8. Институт технологий (Karlsruher Institut für Technologie) , KIT , г. Карлсруэ, Германия.

9. Гамбургский университет (University of Hamburg) , УНН, г. Гамбург, Германия.

10. Институт физики Макса Планка (Max Planck Institute for Physics) MPP, Munich, Germany), г. Мюнхен, Германия

В последующие годы число участников коллаборации постоянно расширялось, в нее вошли:

1. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук, ИЯФ СО РАН

2. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Новосибирский национальный исследовательский государственный университет", НИУ НГУ.

3. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный университет», ФГБОУ ВО АлтГУ,

И другие научные организации и университеты.

В качестве первого этапа реализации гибридного подхода было принято решение о создании в составе УНУ «Астрофизический комплекс МГУ- ИГУ» в Тункинском астрофизическом центре коллективного пользования (ТАЦКП) Иркутского государственного университета (ИГУ) (Рис.1) пилотного комплекса гамма-обсерватории TAIGA площадью 1 км^2 . Уже и этот комплекс должен иметь наивысшую в мире чувствительность для регистрации гамма-квантов с энергией выше 100 ТэВ на уровне $2,5 \cdot 10^{-13} \text{ ТэВ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ за 500 часов наблюдения за источником. Что позволит впервые в мире начать поиск Галактических ПэВатронов (источников космических лучей с энергиями выше 1 ПэВ) и решать широкий спектр задач астрофизики элементарных частиц, гамма-астрономии и физики космических лучей. Но еще одним важным результатом должна стать экспериментальная проверка эффективности гибридного подхода. Что должно стать основой для создания полномасштабной гамма-обсерватории TAIGA площадью, измеряемой десятками квадратных километров. В пилотном комплексе гамма-обсерватории TAIGA [13,14] (Рис.2) интегрированы как введенная в строй в 2012 году крупнейшая в мире (в настоящее время) черенковская установка **Тунка-133** [15] в составе 175 оптических детекторов, распределенных на площади 3 квадратных километра (Рис.3), так и новые установки, построенные и строящиеся в рамках договора №14.В25.31.0010 и за счет других российских и зарубежных источников финансирования.



Рисунок 1 - Тункинский астрофизический центр коллективного пользования ИГУ

Towards Very High Energy Gamma-Ray Astronomy array at Tunka Valley

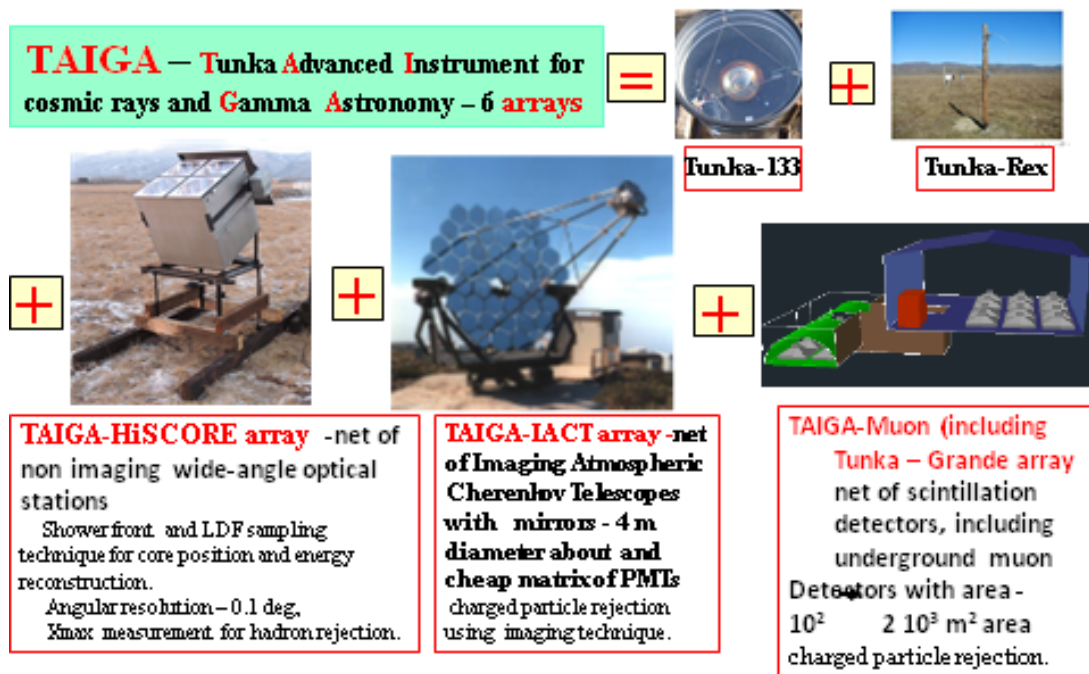


Рисунок 2 - Структура гамма-обсерватории TAIGA в составе 6 установок: «плотная» широкоугольная черенковская установка Тунка-133, установка Tunka-Rex для регистрации радио излучения ШАЛ; низкопороговая широкоугольная черенковская установка TAIGA-HiSCORE, сеть черенковских атмосферных телескопов с изображением

(установка TAIGA-IACT); установки TAIGA-Muon и Tunka-Grande, предназначенная для регистрации заряженной компоненты ШАЛ.

К концу 2016 года полностью завершено создание первой в гамма-обсерватории TAIGA установки для измерения заряженной компоненты ШАЛ, которая получила название **Tunka-Grande** по аналогии с установкой KASCADE-Grande, с учетом того, что при строительстве установки **Tunka-Grande** использовано 380 сцинтилляционных счетчиков размером 80x80 см, ранее работавших в установке KASCADE-Grande. Установка Tunka-Grande включает в себя 19 станций (Рис.4). Каждая станция имеет наземный детектор из легких материалов, в которых находится по 12 сцинтилляционных счетчиков, для регистрации электрон-позитронной компоненты ШАЛ и подземный детектор для регистрации мюонов, в каждом из которых по 8 таких же счетчиков. После отладки, настройки, калибровки установки Tunka-Grande в ноябре 2015 года начат штатный набор экспериментальных данных о заряженной компоненте ШАЛ при совместной работе с черенковскими и радио установками. Установка Tunka-Grande используется для абсолютной энергетической калибровки черенковской установки Тунка-133, выработки триггера для радио установки Tunka-Rex а также поиска «безмюонных» событий, в том числе, с целью выделения инициированных гамма-квантами ШАЛ с энергией выше 10 ПэВ, при этом используется то, что в инициированных ядрами ШАЛ, как минимум, в 30 раз больше мюонов, чем в ШАЛ той же энергии от гамма – квантов.

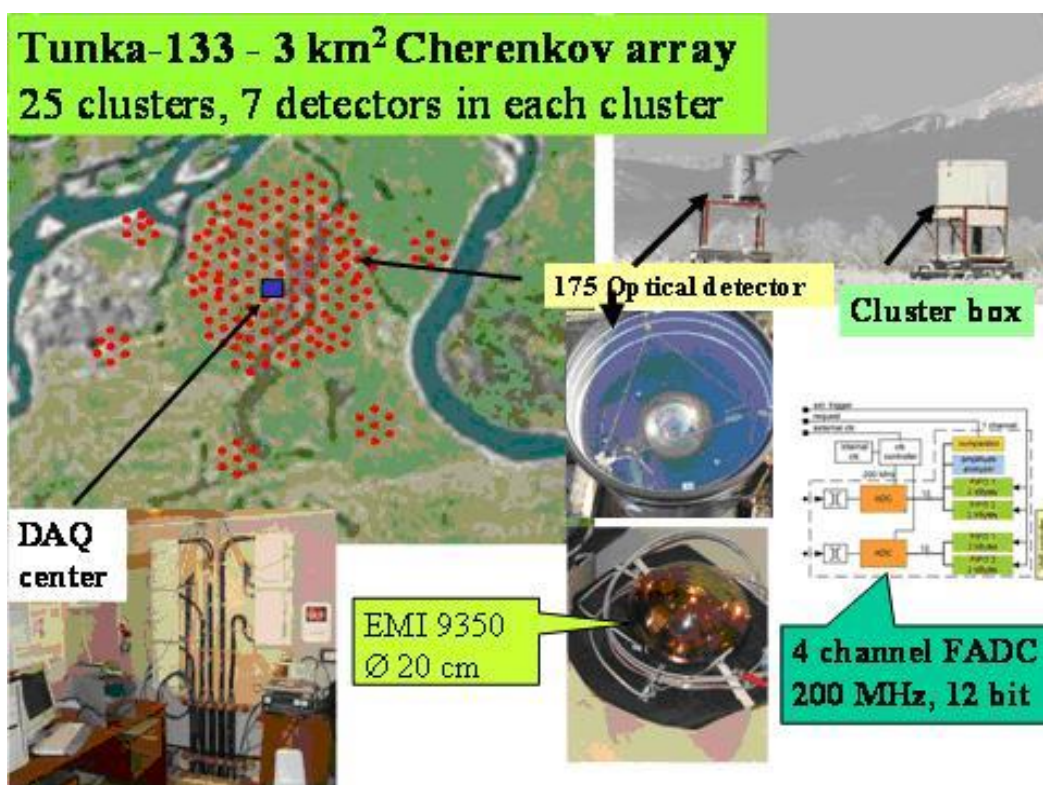


Рисунок 3 - Установка Тунка-133 в составе которой 175 оптических детекторов (справа сверху), сгруппированных в 25 кластеров, распределенных на площади около 3-х км²

Мюонные детекторы позволяют достаточно эффективно подавлять фон от заряженных космических лучей и при меньших энергиях, однако, из-за малого числа мюонов в ШАЛ при таких энергиях (число мюонов в ШАЛ от протона с энергией 100 ТэВ около 1000) общая площадь мюонных детекторов должна составлять несколько десятых долей процента от площади гамма - обсерватории, на которой ведется поиск гамма-квантов высоких энергий. В ближайшие годы планируется создать установку TAIGA-Muon, включающую мюонные детекторы общей площадью не менее 2000 м², размещенные на площади порядка 1 км². (в установке Tunka-Grande общая площадь мюонных детекторов 80м²). Серьезной проблемой при использовании счетчиков установки KASCADE-Grande в мюонных детекторах является то, что их корпуса не герметичны и не имеют достаточной механической прочности, поэтому их пришлось размещать в специально построенных бетонных подземных помещениях

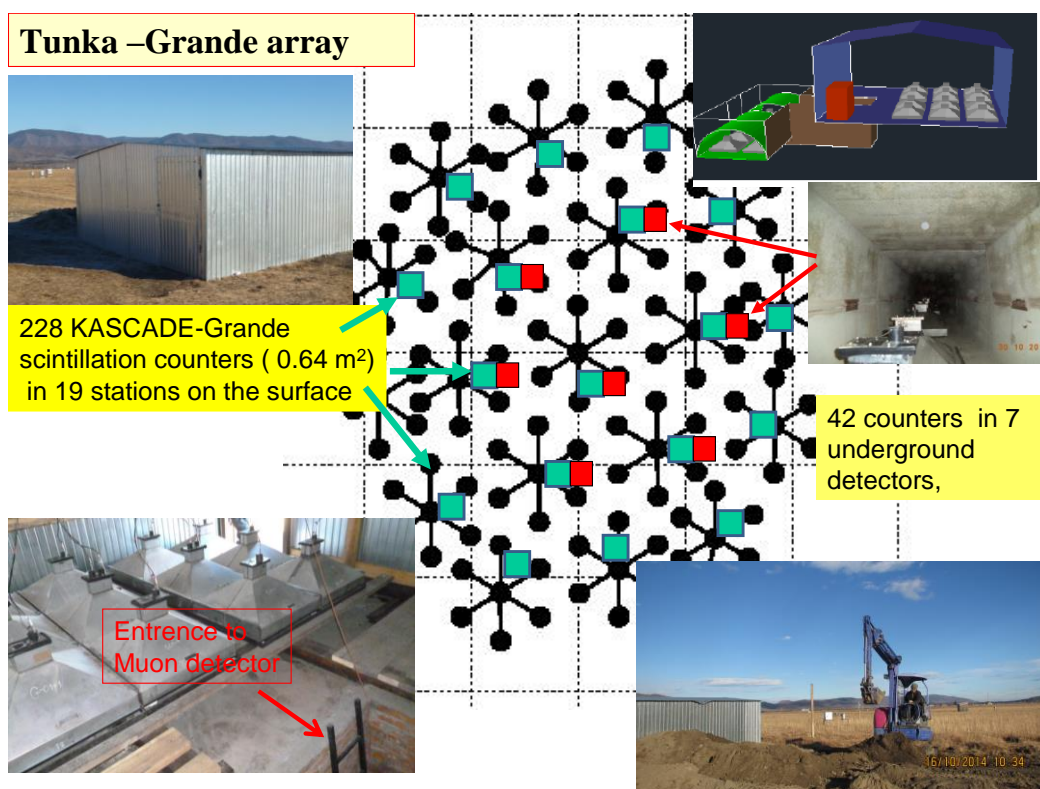


Рисунок 4 - Размещение 19 сцинтилляционных станций установки Tunka-Grande для регистрации заряженных частиц. Красные квадраты – 7 станций, в которых мюонные детекторы были построены в 2014 году, в остальных 12 - в 2015 году

В 2018 году совместно с Институтом ядерной физики им. Г.И.Будкера СО РАН и Новосибирским государственным университетом после натурных испытаний экспериментальных образцов перспективных сцинтилляционных счетчиков для установки

TAIGA-Muon, начато серийное производство новых сцинтилляционных счетчиков. В работе использован опыт, полученный при разработке систем пороговых черенковских счетчиков АШИФ (Аэрогель-ШИФтер-Фотоумножитель) для детекторов КЕДР и СНД в ИЯФ СО РАН. Использование переизлучателей спектра в пороговых аэрогелевых счетчиках позволило значительно снизить стоимость системы идентификации частиц детектора КЕДР и уложиться в доступный бюджет при производстве системы.

Ключевой установкой гамма-обсерватории TAIGA должна стать низкопороговая широкоугольная черенковских установка **TAIGA-HiSCORE** [17-19].. В пилотном комплексе гамма-обсерватории TAIGA установка TAIGA-HiSCORE будет включать в себя сеть из 120 оптических станций, распределенных с шагом 106 м на площади около 1 км²[18] (Рис.5).

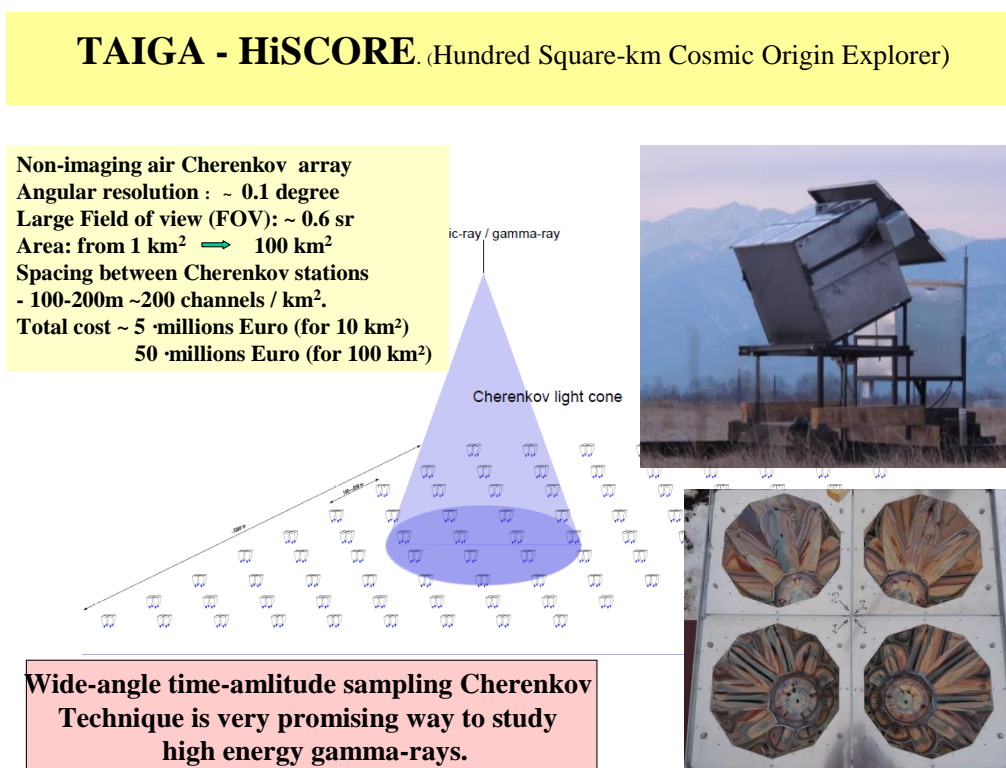


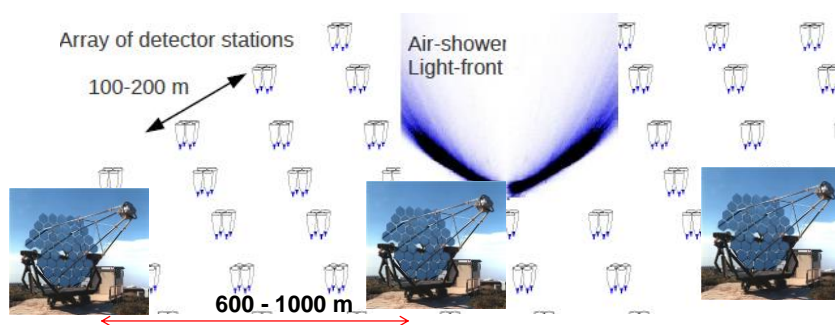
Рисунок 5 - Схематический взгляд на распределение оптических станций (внизу справа) широкоугольной низкопороговой черенковской установки TAIGA-HiSCORE в строящейся гамма- обсерватории TAIGA

Каждая оптическая станция включает по 4 фотоэлектронных множителя (ФЭУ) с диаметром фотокатода от 20 см до 30 см, оснащенных конусами Винстона, что увеличивает эффективную площадь каждого ФЭУ в станции дополнительно в 4 - 6 раз. Сигналы с ФЭУ одной станции суммируются аналоговым образом, что позволяет дополнительно понизить энергетический порог в два раза. Все эти меры должны позволить понизить энергетический порог установки TAIGA-HiSCORE до 30-40 ТэВ (для регистрации гамма-квантов). По ее данным будет восстанавливаться направление оси

ШАЛ с точностью порядка 0,1 градуса и положение оси с погрешностью в несколько метров, а также энергии ШАЛ с точностью 10-15% и глубины максимума ШАЛ с точностью 20 -25 г/см². Также будет производиться предварительный отбор ШАЛ, которые, возможно, были порождены гамма-квантами, а не заряженными частицами.

Однако, достаточная достоверность выделения порожденных гамма-квантами ШАЛ из фона от космических лучей исключительно по данным установки TAIGA-HiSCORE остается под вопросом. В этой связи исключительное значение имеет создание в составе гамма-обсерватории TAIGA установки TAIGA- IACT – сети атмосферных черенковских телескопов (АЧТ), которые позволяют выделять порожденные гамма-квантами ШАЛ по форме изображения черенковского изображения, регистрируемого с помощью матрицы ФЭУ, расположенной в фокусе составного зеркала. В англоязычной литературе такие телескопы называются ImagingAtmosphericCherenkovTelescope (IACT). Предварительные расчеты показывают, что при совместной работе установки TAIGA- IACT с широкоугольной установкой TAIGA-HiSCORE не требуется одновременной регистрации ШАЛ несколькими АЧТ, в силу чего расстояние между ними может быть увеличено до 800 - 1000 м (Рис.6), что в несколько раз больше, чем в установках, включающих в себя только АЧТ. Это определяется тем, что на установку TAIGA -IACT ложится только задача выделения электромагнитных каскадов от гамма-квантов по форме изображения, но по их данным восстановление направления и энергии первичной частицы будет затруднено из-за относительно большого в среднем расстояния от оси ШАЛ при такой редкой расстановке АЧТ.

**Концепция гамма - обсерватории TAIGA :
совместная работа широкоугольных детекторов TAIGA-
HiSCORE и черенковских телескопов TAIGA-IACT**



**Положение оси и направление ШАЛ восстанавливаются по данным TAIGA –HiSCORE.
Подавление фона с помощью TAIGA-IACT**

Рисунок 6 - Концепция гамма – обсерватории TAIGA - совместная работа широкоугольных детекторов TAIGA-HiSCORE и черенковских телескопов TAIGA-IACT.

Работающие совместно с телескопами оптические станции TAIGA-HiSCORE будут давать необходимую информацию о положении оси и направлении прихода и энергии ШАЛ, необходимую при дискриминации АЧТ порожденных космическими лучами ШАЛ. Таким образом, в расчете на единицу площади количество АЧТ в гамма - обсерватории TAIGA будет примерно в 10 раз меньше, чем в СТА. Это позволяет существенно меньшим числом телескопов контролировать большую площадь, необходимую для набора статистики при высоких энергиях, и существенно подавить фон событий от космических лучей. Но сравнение чувствительности существующих и проектируемых установок показывает, что чувствительность гамма-обсерватории TAIGA для регистрации гамма-квантов с энергией выше 100 ТэВ будет не хуже, чем в установках СТА, LHAASO, HAWC (Рис.7).

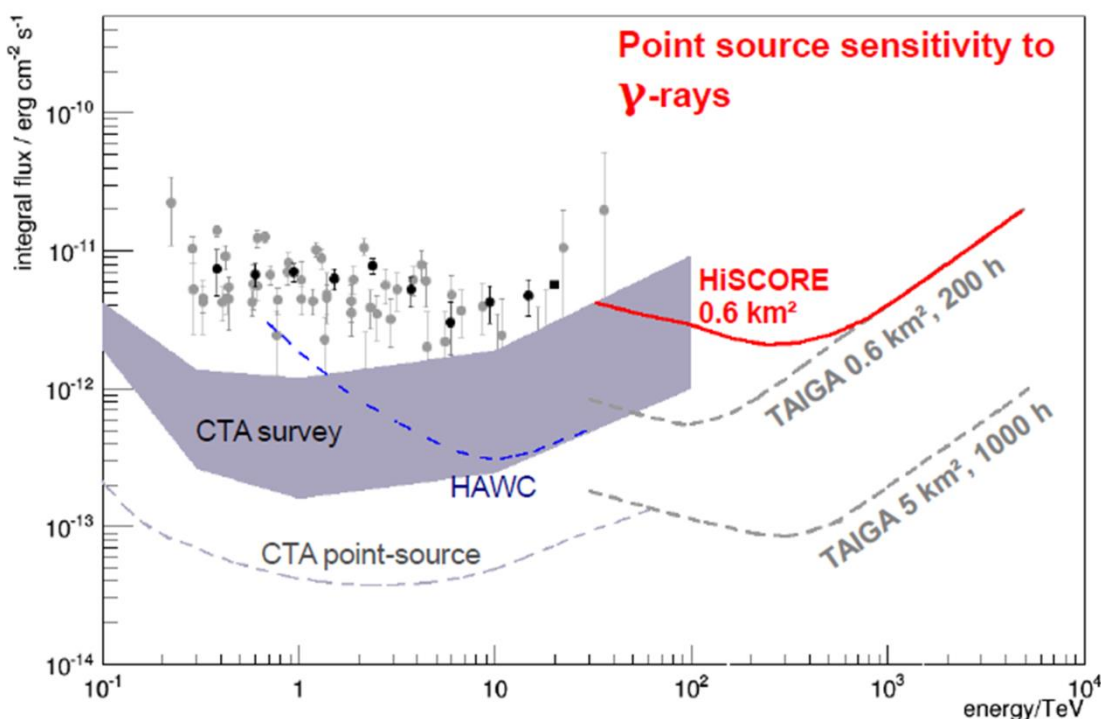


Рисунок 7 – Чувствительность гамма – обсерватории TAIGA при совместной работе широкоугольных детекторов TAIGA-HiSCORE и черенковских телескопов TAIGA-IACT для регистрации гамма-квантов в сравнении с другими экспериментами.

Полномасштабная установка TAIGA- IACT (Imaging Atmospheric Cherenkov Telescope) – будет представлять собой сеть из 16 телескоп-рефлекторов (Рис.8) системы Дэвиса-Коттона, расположенных на площади 10 км². Рефлекторы телескопов имеют специальную сферическую форму диаметром 432 см (F/1.1). Совокупная площадь 34 зеркал диаметром 60 см составляет– 10 м². В фокусе телескопов расположены камеры на базе ФЭУ со светособирающими конусами Винстона. Каждая камера первых трех телескопов будет включать в себя 547 предоставленных DESY ФЭУ XP1911 диаметром 19

мм. Угол обзора камеры (FoV) – 9.6×9.6 град. Для точечных источников каждый телескоп позволит по форме и угловым характеристикам черенковского изображения выделять порожденные гамма-квантами ШАЛ (расстояние до оси которых не более 500м) из ~ 10 тысяч раз более интенсивного фона ШАЛ, которые возникают в результате взаимодействия заряженных космических лучей с атмосферой. Энергетический порог регистрации гамма-излучения телескопом около 1 ТэВ. Чувствительность в диапазоне 1-20 ТэВ составит 10^{-12} эрг/см² с при 50 часах наблюдения за источником. Совместная работа телескопов и широкоугольных детекторов позволяет при регистрации гамма-квантов от локальных источников подавить фон от космических лучей в 50-100 раз даже при расстоянии между телескопами 800-1000 м. Угловое разрешение составит - 0.1 град. Чувствительность установки в диапазоне 30 – 200 ТэВ составит $5 \cdot 10^{-14}$ эрг/см² с при 500 часах наблюдения за источником (2 сезона работы обсерватории).

The TAIGA – IACT

**The first TAIGA - IACT
Is in commissioning since early 2017 :**

- 34-segment reflectors (Davis-Cotton)
- Diameter 4.3 m, area ~ 10 m²
- Focal length 4.75 m
- Threshold energy ~ 1.5 TeV

Next 2 IACTs in construction.

**The final IACT array will include
16 IACTs over 10 km²
with > 800 m spacing
(i.e. in “mono-mode”).**

**Will be operated in Hybrid-Mode,
with TAIGA-HiSCORE, TAIGA-Muon.**



Рисунок 8 – Основные параметры атмосферных черенковских телескопов установки TAIGA-IACT.

Еще одно успешно развивающееся направление работы - создание совместно с НИИЯФ МГУ и Институтом технологий (KarlsruherInstitutfürTechnologie, KIT), г. Карлсруэ, Германия новой установки Tunka-Rex (TunkaRadioextension) [20-23] для исследования космических лучей высоких энергий методом регистрации радио

излучения ШАЛ. Первоначально перед этим направлением ставились в большей степени методические задачи по отработке методик восстановления основных характеристик ПКЛ по данным о радиоизлучении ШАЛ, полученным при совместной работе с установками Тунка-133 и Tunka-Grande. Однако, уже полученные результаты показали высокую перспективность не только исследований заряженных космических лучей радио методом с помощью установки Tunka-Rex, но и поиска гамма-квантов и нейтрино с энергией выше 30 ПэВ при совместной работе с установками Tunka-Grande и TAIGA-Muon.

Установка Tunka-Rex (Tunka-Radioextension) после развертывания летом 2016 года нового кластера из 19 радио детекторов ШАЛ включает в себя 63 детектора для регистрации радиосигналов ШАЛ в диапазоне частот 30 -80 МГц (Рис.9). Магнитодипольные антенны установки SALLA подключены к системам сбора данных установок Тунка-133 и Tunka-Grande. Точность восстановления энергии ШАЛ по данным установки Tunka-Rex -15% при энергиях выше 10^{17} эВ, глубины максимума ШАЛ не хуже 40 г/см^2 .

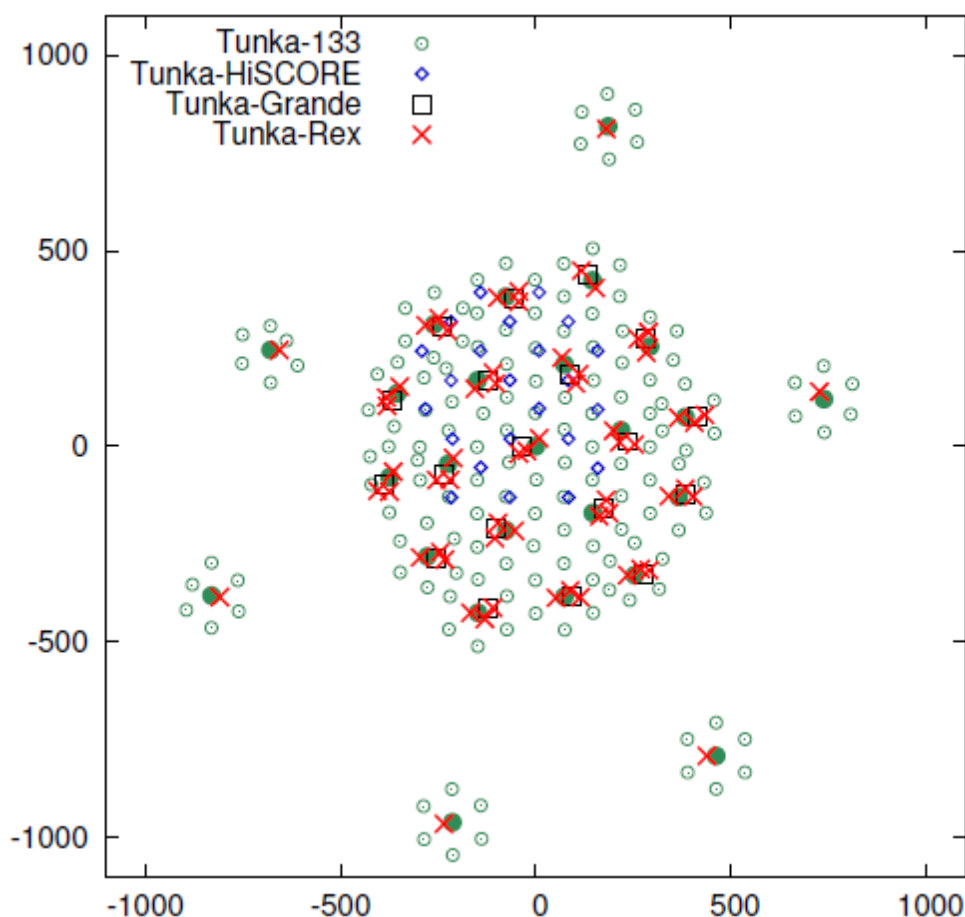


Рисунок 9 – Расположение радио детекторов ШАЛ установка Tunka-Rex (Tunka-Radioextension), относительно других детекторов гамма-обсерватории TAIGA.

В отчете представлены результаты работы, полученные в 2020 году в рамках соглашения о предоставлении субсидии от "5" ноября 2019 г. № соглашения ЭБ 075-15-2019-1631, внутренний номер соглашения № 05.619.21.0013, основной целью которого является завершение работ по созданию пилотного комплекса гамма - обсерватории TAIGA для регистрации всех компонент ШАЛ с гибридной системой детекторов на площади около 1 км² (Рис.10). Чувствительность этого комплекса составляет 10⁻¹³ ТэВ см² сек⁻¹ (для регистрации гамма-квантов в диапазоне энергий 30 – 200 ТэВ при 500 часах наблюдения за источником, 2 сезона работы обсерватории), что уже позволяет наблюдать на высоком уровне статистической обеспеченности гамма-излучение Крабовидной туманности и источника Тихо Браге с энергией выше 40 ТэВ.

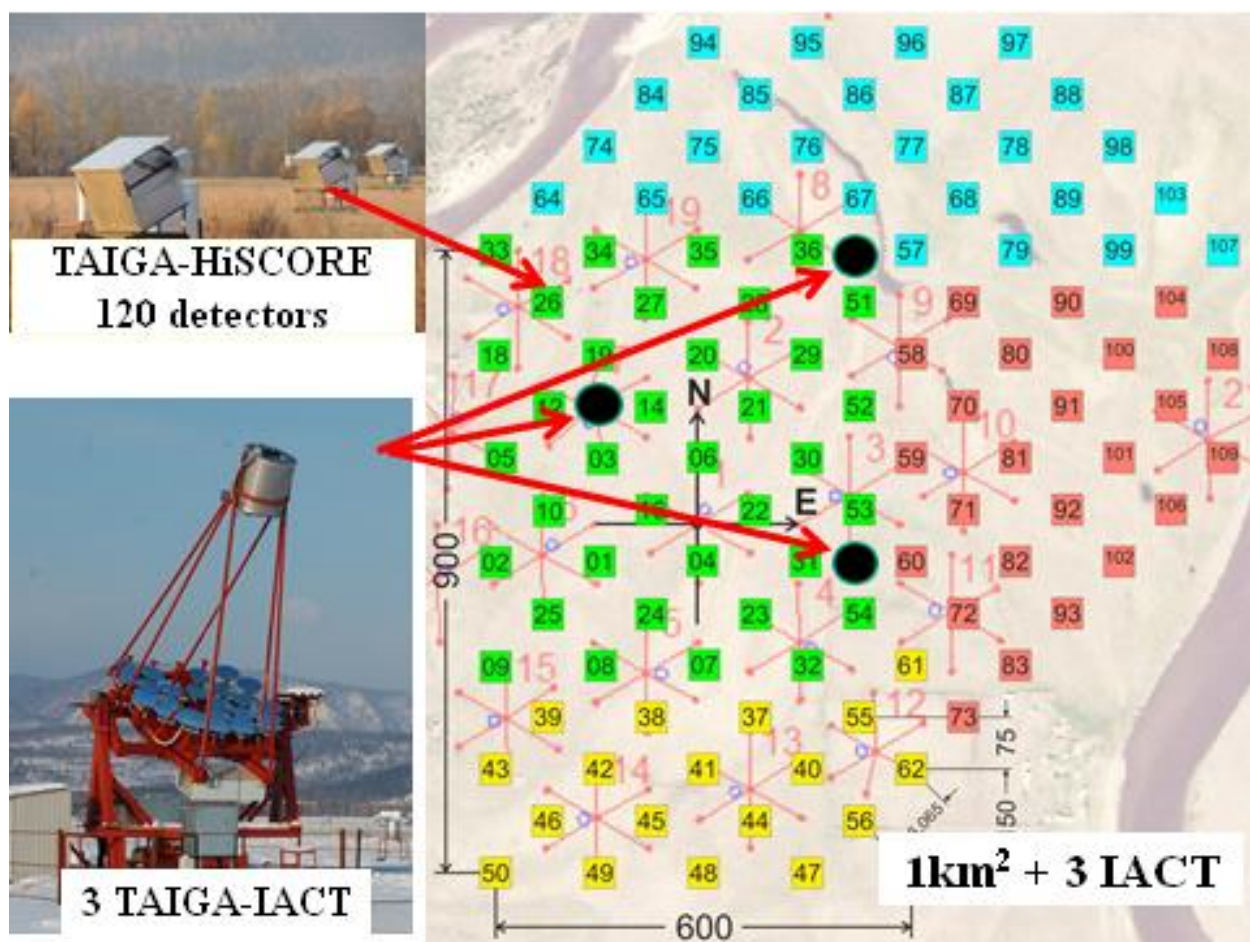


Рисунок 10 - Пилотный комплекс гамма - обсерватории TAIGA. Зеленые квадраты – оптические станции 1 кластера установка TAIGA-HiSCORE, желтые – второго, красные – третьего и голубые – четвертого кластеров установки TAIGA-HiSCORE. Черные кружки – местоположение атмосферных черенковских телескопов установки TAIGA-IACT.

Международной коллаборацией MASTER ведутся исследования оптических транзитов различной природы (гамма-всплески, сверхновые, экзопланеты, астероиды и т.д.). В настоящее время в состав коллаборации входят:

1. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», Государственный астрономический институт имени П.К. Штернберга (ГАИШ МГУ)

2. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный университет», ИГУ,

3. Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Уральский федеральный университет имени первого президента России Б.Н.Ельцина", УрФУ,

4. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория Российской академии наук. Кисловодская Горная астрономическая станция Российской Академии Наук, ГАС ГАО РАН, Кисловодск, Россия

5. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук (САО РАН), Нижний Архыз.

6. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Благовещенский государственный педагогический университет" (БГПУ),

7. Институт астрономии, Земли и космического пространства (Instituto de Ciencias Astronomicas, de la Tierra y del Espacio) ICATE), Сан – Хуан, Аргентина

8. Астрономическая обсерватория им. Феликса Агилара Национального университета Сан Хуан (Observatorio Astronomico Felix Aguilar) (OАFA), National University of San Juan), Сан Хуан, Аргентина.

9. Институт солнечно-земной физики СО РАН, ИСЗФ СО РАН, Иркутск, Россия

10. Канарский институт астрофизики, Ла Лагуна Тенерифе), Испания

11. Южноафриканская астрономическая обсерватория, Сазерленд, Южно-Африканская Республика

Геофизические исследования в ТАЦКП ИГУ ведутся консорциумом организаций в составе:

1. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный университет», ИГУ.

2. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук. ИФЗ РАН. Центр геоэлектромагнитных исследований.

3. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова Российской академии наук, ИЗМИРАН.

4. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерных исследований Российской академии наук, ИЯИ РАН.

В данном отчете представлены основные результаты, полученные при выполнении 2-ого этапа работ в рамках соглашения о предоставлении субсидии от "5" ноября 2019 г. № соглашения ЭБ 075-15-2019-1631, Внутренний номер соглашения № 05.619.21.0013. по теме: «Развитие уникальной научной установки Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ», направленных на модернизацию УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ» как крупнейшей исследовательской инфраструктуры уровня mega-science для проведения междисциплинарных научных исследований в области астрофизики элементарных частиц, гамма- астрономии, физики космических лучей, физики метеорных явлений, физики верхней атмосферы, гео- и радиофизики в кооперации с ведущими российскими и зарубежными университетами и научными центрами.

В **первом разделе** представлены результаты работы по завершению работ по развертыванию и вводу в режим штатного набора данных пилотного комплекса гамма-обсерватории TAIGA в полном объеме (**пункт 2.1 плана-графика**).

Во **втором разделе** представлены результаты работы по модернизации вычислительной инфраструктуры УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ». (**пункт 2.2 плана-графика**).

В **третьем разделе** представлены результаты работы по модернизации энергосистемы УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ» (**пункт 2.3 плана-графика**).

В **четвертом разделе** представлены результаты работы по закупки комплектующих для широкоугольных камер для регистрации черенковского и флуоресцентного свечения ШАЛ (**пункт 2.4 плана-графика**).

В **пятом разделе** представлены результаты работы по завершению модернизации черенковской установки Tunka-133 с целью увеличения ее эффективной площади до 5 кв.км. (**пункт 2.5 плана-графика**).

В **шестом разделе** представлены результаты работы по модернизации системы синхронизации детекторов и установок УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ» на базе технологии WhiteRabbit (**пункт 2.6 плана-графика**).

В **седьмом разделе** представлены результаты работы по модернизации геофизического комплекса УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ» (**пункт 2.7 плана-графика**).

В **восьмом разделе** представлены результаты работы по подготовке проекта и инфраструктуры для включения в состав УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ»

широкоугольных телескопов (30 градусов поле зрения), регистрирующих черенковское и флуоресцентное излучение ШАЛ. **(пункт 2.8 плана-графика).**

В **девятом разделе** представлено описание штатных сеансов наблюдений осеннего-сезона 2020 года с помощью действующих детекторов и установок УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ», результатам обработки и анализа полученных экспериментальных данных. **(пункт 2.9 плана-графика).**

В **десятом разделе** представлены результаты работы по завершению работ по повышению чувствительности робот-телескопа MASTER, за счет создания нового робот-телескопа MASTER-600 с оптическими камерами диаметром 600 мм. **(пункт 2.10 плана-графика).**

1. Завершение работ по развертыванию и вводу в режим штатного набора данных пилотного комплекса гамма-обсерватории TAIGA в полном объеме.

Поток гамма – квантов высоких энергий слишком мал для прямой их регистрации с помощью орбитальных детекторов, поэтому для их наблюдений используются наземные установки, регистрирующие те или иные компоненты широких атмосферных ливней (ШАЛ), развивающихся после взаимодействия гамма - квантов в верхних слоях атмосферы. В одних случаях регистрируется черенковский свет от ШАЛ, в других заряженные частицы (электроны, мюоны) ШАЛ на уровне установки. Наиболее успешным типом установок в гамма-астрономии высоких энергий являются установки, построенные на основе узкоугольных телескопов (угол обзора 3-5град), состоящих из зеркал диаметром 10 - 24 м, отражающих черенковский свет на мозаику фотоприемников, в которых формируется изображение ШАЛ. Метод анализа формы изображения, предложенный А.М.Хилласом в конце 80-х годов, позволил с высокой надежностью отделять ШАЛ, образованные гамма-квантами, от ШАЛ, порожденных заряженными космическими лучами. Такие телескопы принято называть IACT (ImagingAtmosphericCherenkovTelescope) телескопами. В состав современных установок на базе IACT (HESS, MAGIC, VERITAS) входят от 2 до 5 телескопов, в мозаике каждого зеркала около 1000 фотоумножителей. Для эффективного подавления фона при использовании установок IACT телескопов важно, чтобы один и тот же ШАЛ давал изображение в нескольких телескопах (стереоскопический подход). Для этого телескопы располагают на небольших расстояниях не более 100-120 м друг от друга. Таким образом, для создания установки большой площади, необходимой для получения данных в области высоких энергий, требуется очень большое число телескопов. В планируемой установке СТА т.н. SmallSizeTelescope (SST) предполагается поставить телескопы с шагом 300м. Даже при такой редкой расстановке, в установке площадью 7 км^2 должно быть не менее 70 IACT, стоимость каждого порядка 2,5 млн. Евро, так что стоимость установки получается порядка 175 млн. Евро. Более того, на данный момент экспериментально не проверена возможность эффективного подавления фона космических лучей и восстановления параметров ШАЛ (Направление прихода и энергия) при такой редкой расстановке IACT.

Таким образом, для продвижения в область высоких энергий требуются установки большой площади (1 км^2 и больше) и новые, оптимизированные для данной области энергий подходы для их построения. Один из таких подходов развивается в гамма-обсерватории TAIGA, создаваемой в составе УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-

ИГУ» вТункинском астрофизическом центре коллективного пользования Иркутского государственного университета. В рамках этого проекта прецизионное восстановление направления оси и энергии ШАЛ осуществляется по данным широкоугольных установок TAIGA-HiSCORE (порог регистрации порожденных гамма-квантами электромагнитных ШАЛ - 30 ТэВ и Тунка-133 (порог регистрации адронных ШАЛ 5 ПэВ, порожденных гамма-квантами электромагнитных ШАЛ - 500 ТэВ), а также радио установки ШАЛ Tunka-Rex (порог регистрации адронных ШАЛ 100 ПэВ, порожденных гамма-квантами электромагнитных ШАЛ - 10 ПэВ), стоимость квадратного километра которых во много раз меньше, чем стоимость покрытия такой же площади IACT, в дальнейшем мы будем использовать для них предложенной нами название Атмосферные черенковские телескопы (АЧТ). Для определения вида частицы породившей ШАЛ (выделение ШАЛ от гамма-квантов), будет, в основном, использоваться информация, получаемая с помощью атмосферных черенковских телескопов установки TAIGA-IACT и мюонных детекторов установок TAIGA-Muon и Tunka-Grande. Исключительное значение имеет то, что, как показали результаты проведенного моделирования, расстояние между телескопами установки TAIGA-IACT может быть увеличено до 600 - 800 м, что существенно больше, чем в установках, включающих в себя только АЧТ. Это определяется тем, что на установку TAIGA -IACT ложится только задача выделения электромагнитных каскадов от гамма-квантов по форме изображения и возможно при регистрации данного ШАЛ только одним АЧТ, то есть возможна работа в монорежиме. Таким образом, в расчете на единицу площади количество IACT в гамма - обсерватории TAIGA будет примерно в 10 раз меньше, чем в СТА. Работающие совместно с телескопами оптические станции установки TAIGA-HiSCORE будут давать информацию о положении оси и направлении прихода ШАЛ, необходимую при дискриминации телескопами ШАЛ от космических лучей.

В области энергий выше 100 ТэВ весьма важным методом выделения ШАЛ от гамма-квантов является использование детекторов мюонов большой площади. Возможность выделять ШАЛ от гамма-квантов основывается на том, что число мюонов в ШАЛ от космических лучей, как минимум, в 30 раз превышает число мюонов в ШАЛ от гамма-квантов. Ввиду относительно малого числа мюонов в ШАЛ при таких энергиях (число мюонов в ШАЛ от протона с энергией 100 ТэВ около 1000). Таким образом, дополнительное подавление фона, как минимум, на порядок будет осуществлять на основе информации о числе мюонов в ШАЛ, которая будет получаться от установок TAIGA-Muon и Tunka-Grande.

Данный проект является существенным вкладом в общий план работ по созданию инфраструктуры уровня mega-science гамма-обсерватории TAIGA в составе УНУ

«Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ» и проведению в ней многопрофильных научных исследований, которые ведутся международной коллаборацией TAIGA.

1.1 Модернизация низкопороговой широкоугольной черенковской установки TAIGA-HiSCORE, очередь 2020 года.

Оптические станции установки TAIGA-HiSCORE (Рис.1.1) сгруппированы в 4 кластера (отмечены разными цветами на рисунке 1), в каждом из которых около 30 станций. Станции расположены в узлах прямоугольной сетки с шагом 106 м. В центре каждого кластера расположен локальный центр сбора данных, связанный с оптическими станциями оптоволоконными кабелями и кабелями для подачи питания.

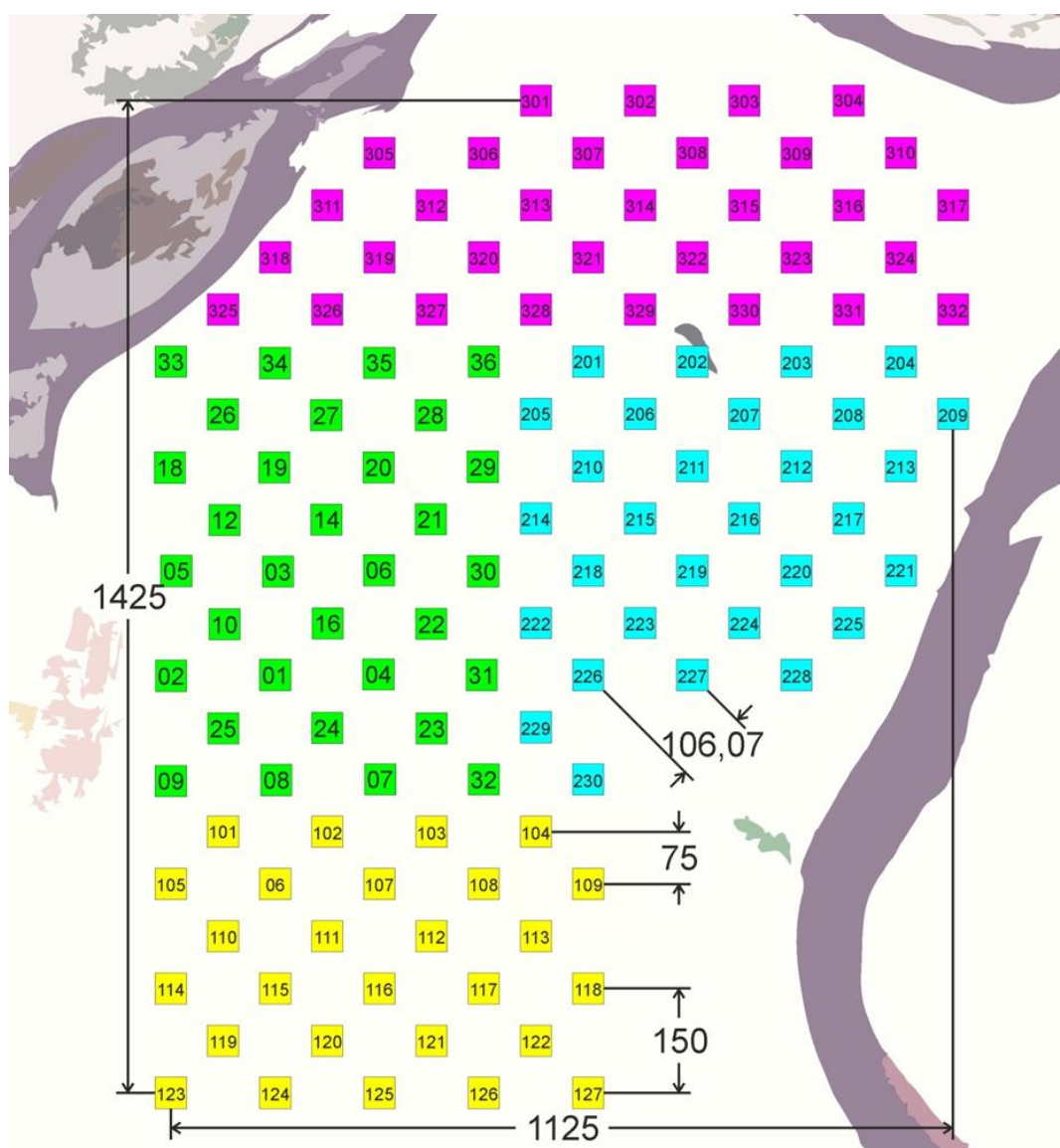


Рис. 1.1 - Конфигурация установки TAIGA-HiSCORE. Зелёным цветом изображены станции первого кластера, жёлтым – второго, синим – третьего и фиолетовым – четвёртого.

В течении 2020 года были завершены работы по вводу в строй 3 кластера и полностью развернут 4 кластеру установки TAIGA-HiSCORE. в составе 32 оптических

станций. Произведен монтаж черенковских контейнеров и контейнеров для электроники его оптических станций (Рис. 1.2), отсыпаны пескогравийной смесью площадки под станции, собраны срубы, установлены рамы, смонтированы корпуса черенковских контейнеров оптических станций со светособирающими конусами Винстона и контейнеров для электроники его оптических станций, произведена полная оснастка станций электроникой. Протестированы и установлены 128 ФЭУ R5912 производства фирмы Hamamatsu во всех 32-х оптических станциях 4 кластера.



Рисунок 1.2 Монтаж широкоугольной оптической станции 4-ого кластера установки TAIGA-HiSCORE.

Было завершено создание сети кабельных коммуникаций установки TAIGA-HiSCORE. Для подключения 4 кластера и третьего АЧТ была проложена линия силового электропитания и оптическая линия связи от центра сбора данных пилотного комплекса гамма-обсерватории TAIGA до локального центра сбора данных 4 кластера (Красная линия на Рис.1.3). Работы включали в себя следующие этапы:

1. Геодезическая разметка трассы. Данный вид работ необходим для оптимального расположения нового силового кабеля на местности относительно уже действующего оборудования, с учётом минимальных физических и финансовых затрат на проведение работ;

2. Копка траншеи механизированной техникой. Работы выполнялась мини-экскаватором (Рис.1.4). Техниккой управляло два человека, сменяя друг друга каждые 3-4 часа.
3. В заболоченной местности просыпка дна траншеи толстым слоем песка.
4. Укладка силового кабеля в траншею. Эта работа выполнялись вручную без использования техники (Рис.1.4).

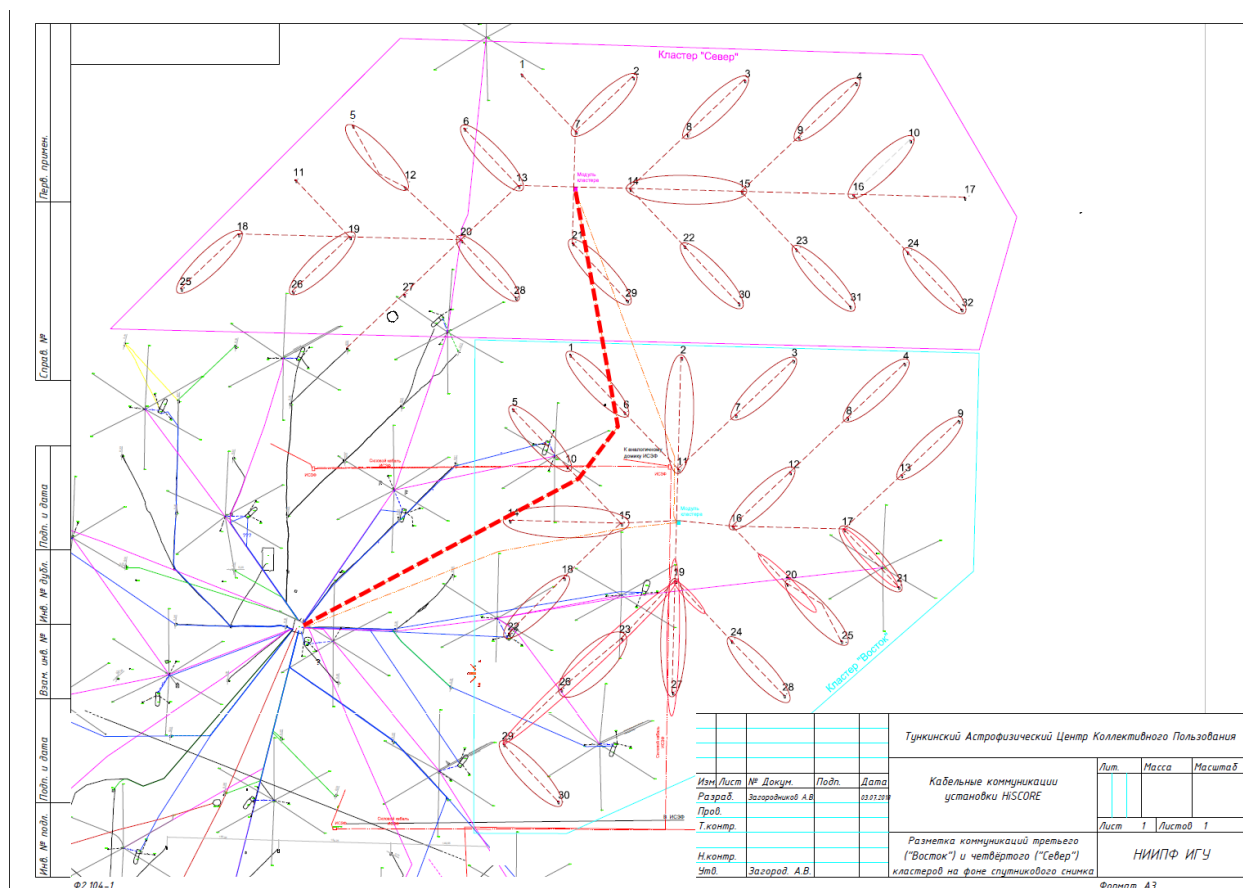


Рисунок 1.3 – Схема кабельных коммуникаций установки TAIGA-HiSCORE. Красная линия - новая линия силового электропитания и оптическая линия связи от центра сбора данных гамма-обсерватории TAIGA до локального центра сбора данных 4 кластера.

Для передачи управляющих команд и данных измерений проложена оптоволоконная линия для связи по протоколу Ethernet между центром 4-го кластера и Центром Сбора Данных (ЦСД) гамма-обсерватории TAIGA. Также проложены оптоволоконные и силовые кабели от центра сбора данных 4 кластера установки TAIGA-HiSCORE ко всем оптическим станциям этого кластера и третьему атмосферному черенковскому телескопу установки TAIGA-IACT. Выполнены все работы по сварке оптоволоконных кабелей на оптических станциях. На одном оптоволоконном кабеле работает две станции. В станцию вводится 4

оптоволоконных жилы. Общее количество точек сварки, в поле, составляет — 180 (с учётом "транзитных" станции).



Рисунок 1.4 Прокладка кабеля силового электропитания и оптической линии связи от центра сбора данных гамма-обсерватории TAIGA до локального центра сбора данных 4 кластера установки TAIGA-HiSCORE.

Для повышения чувствительности установки TAIGA-HiSCORE при регистрации источников с различными склонениями на всех оптических станциях 3 и 4 кластеров установки TAIGA-HiSCORE установлены специальные механизмы (Рис.1.5), которые позволяют изменять наклон оптических станций относительно вертикальной оси. так для наблюдения Крабовидной туманности оптические станции поворачиваются на 25 градусов на юг. Привод механизма наклона оптической станции реализован на двигателе постоянного тока. Конечные положения ограничены датчиками. Управление системой наклона осуществляется контроллером ОМ (Рис.1.6). Для этого была соответствующим образом модифицирована микропрограмма контроллера. Для реализации этой функции, унификации с другими программам и улучшения качества отображения информации, введена в эксплуатацию новая программа под ОС Linux (Рис.1.7). Программа управления ОМ под HiSCORE для ОС Windows создавалась для отладочных целей. В течение 2021 года поворотные механизмы будут установлены на всех оптических станциях 1 и 2 кластеров установки TAIGA-HiSCORE.



Рисунок 1.5 –Механизм для изменения наклон оптических станций установки TAIGA-HiSCORE относительно вертикальной оси.



Рисунок 1.6 Подключение системы изменения наклона к контроллеру оптической станции

Cluster 2	Config1	Cluster 2	Config2	Cluster 3	Config3	Cluster 4	Config4													
1	24V	HV0	HV1	HV2	HV3	A0	A1	A2	A3	Heat	Cvr	lit2								
1	OFF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	OFF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	OFF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	OFF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	OFF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	OFF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	OFF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	OFF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	OFF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	OFF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	OFF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	OFF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	OFF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	OFF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	OFF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	OFF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	OFF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
19	OFF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	OFF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	OFF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	OFF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	OFF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	OFF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	OFF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	OFF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	OFF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	OFF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	OFF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	OFF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	OFF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	OFF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	OFF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	OFF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	OFF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	OFF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37	OFF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	OFF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39	OFF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	OFF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Рисунок 1.7. Интерфейс программы управления OM HiSCORE для ОС Linux.

Таким образом, в 2020 году полностью завершено развертывание широкоугольной низкопороговой черенковской установки TAIGA-HiSCORE, число ее оптических станций

до 120, а эффективная площадь превысила квадратный километр, что должно более чем вдвое увеличить статистику регистрируемых ШАЛ, порожденных гамма-квантами с энергией выше 50 ТэВ.

1.2 Модернизация установки TAIGA-IACT.

В январе 2020 года на монтаж второго АЧТ установки TAIGA-IACT была установлена камера (Рис.1.8), проведены работы по юстировке зеркал и калибровке телескопа, после чего он был включен в набор данных. На втором и третьем телескопах установлены зеркала шестиугольной формы (Рис.1.9), произведенные Итальянской фирмой MediaLarioS.r.l. Использование шестиугольных зеркал позволяет повысить эффективную площадь зеркала почти на 20%.



Рисунок 1.8. Установка камеры на 2-й телескопустановки TAIGA-IACT.

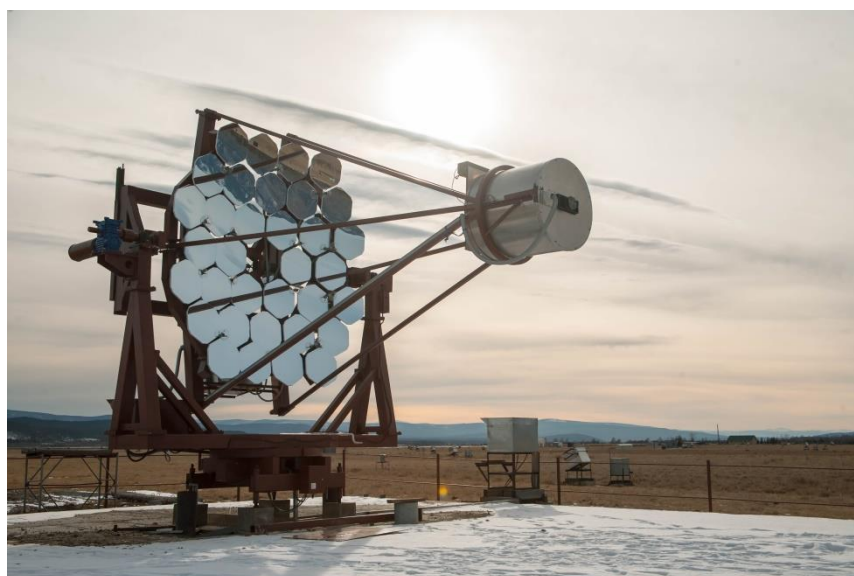


Рисунок 1.9.2-й телескоп установки TAIGA-IACT с шестиугольными зеркалами.

С вводом в строй второго АЧТ, открылась, том числе, возможность работы двух АЧТ установки TAIGA-IACT в стерео режиме. Причем расстояние между АЧТ1 и АЧТ2 около 300 м (Рис.1.10), что примерно в три раза больше, чем в установках VERITAS, H.E.E.S. и MAGIC.



Рисунок 1.10 – Два атмосферных черенковских телескопа установки TAIGA-IACT.

Для проведения калибровочных измерений и определения положения АЧТ по звездному небу на АЧТ2 как и на АЧТ1, установлена CCD-камера ProsilicaGT1380 с объективом Computar 16mm 1:1.4 2/3" 04K, который позволяет обеспечить необходимое поле зрения 30.8x23.4 градусов. Камера имеет матрицу 1380x1024 пикселей, 14-бит АЦП, встроенные датчики температуры, рабочий диапазон от -20 до 50 градусов Цельсия. Для обеспечения условий эксплуатации камера установлена в герметичный термокожух с автоматическим обогревом Smartec STN-3230D-PSU1, обеспечивающий степень защиты IP67 и расширяющий диапазон рабочих температур камеры до -55°C до +50°C. CCD-камера установлена на тарелке между зеркалами на специально подготовленном в мастерской ИГУ кронштейне. Питание и Ethernet камеры заведен в коммутационный ящик, установленный на задней части тарелки телескопа.

При измерении положения АЧТ с помощью снимков звездного неба используется программное обеспечение Astrometry.net. Для контроля точности наведения АЧТ независимым методом используется методика измерения положения телескопа по анодным токам на ФЭУ. Для проведения данных измерений АЧТ наводится на яркую звезду с включенным высоким напряжением на ФЭУ и сканируются профили тока по

разным осям при смещениях АЧТ на небольшие углы от источника, по данным таких измерений точность наведения АЧТ установки TAIGA-IACT лучше 3 угловых минут. Для оценки числа фоновых событий и изучения систематики при наблюдении источников гамма-излучения используется специальный «wobbling» метод, предложенный в работе V.P. Fomin et al. // *Astroparticle Physics*. 1994. Vol. 2, no. 2. P. 137–150 и реализованный в рамках данного проекта в эксперименте TAIGA (Zhurov D. et al. // *J. of Phys.: Conf. Ser.* 2019. Vol. 1181. P. 012045). В этом режиме АЧТ наводится не прямо на источник, а немного в сторону от источника, меняя его направления через небольшие промежутки времени, определяется фон и оцениваются возможные систематические ошибки. На Рис.1.11 приведен пример события, в котором черенковское изображение одного ШАЛ зарегистрировано двумя АЧТ, это позволяет использовать нам кроме гибридного и стереоскопический подход для выделения гамма-квантов высоких энергий. Это первый опыт использования стереоскопического подхода для телескопов, расположенных на больших (в данном случае 300 м) расстояниях.

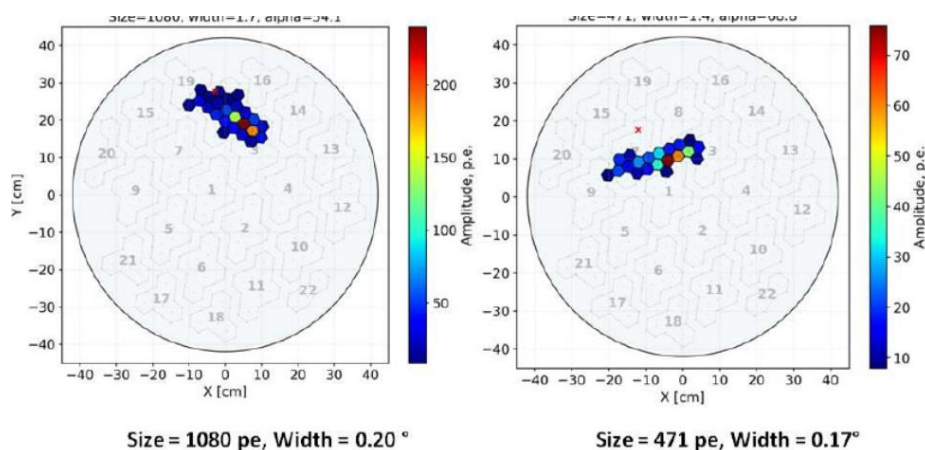


Рисунок 1.11. Пример регистрации одного и того же ШАЛ двумя телескопами установки TAIGA-IACT.

В мае 2020 г осуществлена сборка изготовленной в ЛЯП ОИЯИ монтировки третьего АЧТ установки TAIGA-IACT (Рис.1.12).



Рисунок 1.12 Сборка третьего АЧТ установки TAIGA-IACS

Также были выполнены следующие работы по подготовке третьего АЧТ установки TAIGA-IACS: (1) проложены линия электропитания 2 х 220в и оптическая линия для управления и передачи данных от центра сбора данных 4 кластера установки TAIGA-NiSCORE до АЧТ2; (2) смонтированы распределительный щит для подсоединения оптических и силовых магистральных линий и металлические кабель-каналы по конструкциям телескопа и до распределительного щита; (3) смонтированы концевые датчики и энкодеры поворота осей телескопа, отрегулирована соосность осей энкодеров и телескопа; (4) изготовлена крышка контейнера детектора; (5) смонтированы кабельные линии по конструкциям телескопа; (6) смонтирован и кроссирован блок питания и обогрева детектора телескопа в контейнере для электроники, установлен контроллер питания, сетевой коммутатор, система термостабилизации, кроссированы и коммутированы контейнер электроники на тарелке телескопа; (7) изготовлены крепления и установлен контейнер для электроники на вилке телескопа, в нем смонтированы контроллер движения, сетевое оборудование и контроллер обогрева; (8) смонтированы и отъюстированы зеркала телескопа, при этом пришлось решать ряд проблем, связанных с изменением конструкции тарелки телескопа и тем, что для увеличения общей площади зеркал второго и третьего АЧТ установки TAIGA-IACS фирмой MediaLarioS.r.l. (Италия) изготовлены зеркала гексагональной формы, а не круглые как на АЧТ1, изготовлена, смонтирована и настроена система защиты зеркал от обмерзания; (9) на тарелке телескопа

смонтирован термостабилизированный электронный блок, обеспечивающий распределение электропитания по всем узлам АЧТ2 (кроме двигателей привода осей телескопа). Температура среды в контейнере +20 - +30°C. Система обеспечивает: (с) питание электроники сбора данных (напряжение 5В, ток 5А и напряжение 12В ток 17А); (b) питание высоковольтных преобразователей матрицы ФЭУ (напряжение 24В, ток 20А); (3) питание системы термостабилизации камеры телескопа (напряжение 12В, ток 5А и напряжение 24В, ток 60А); питание модуля Пельтье (напряжение 48 В, ток 20А). Также электроника этого блока осуществляет: (а) коммутацию питания обдува зеркал (напряжение 220В, мощность 500Вт); (b) коммутацию подогрева обдува зеркал (напряжение 220В, мощность 2кВт); (с) управление открытием/закрытием шторки регистрирующей камеры (напряжение 220В, мощность 200Вт); (d) управление светодиодами подсветки положения камеры (напряжение 12В, ток 0-100мА); (е) управление светодиодной системой калибровки ФЭУ, блок включает в себя: аппаратуру управления – контроллер, реле 220В, 16А, сетевые устройства доступа по шине Ethernet; (10) изготовлены траверс и стропы для монтажа камеры на телескоп; (11) изготовлены и установлены контейнеры для балансировки телескопа; изготовлен юстировочный экран с механизмом перемещения. Электропитание АЧТ3 установки TAIGA-IACT осуществляется от сети переменного тока. Для этого от центра сбора данных проложен кабель ВБШв 4x10кв.мм 520м. Кабель заведен в контейнер Рис.1.13. Туда же заведены оптические линии передачи данных от центра сбора данных 4 кластера установки TAIGA-HiSCORE. Далее коммуникации проложены до щитка подключения магистралей гибкого кабель-канала (Рис.1.14). Гибкий кабель-канал предназначен для прокладки коммуникаций между стационарной и вращающейся частью телескопа.



Рисунок 1.13 Контейнер ввода электропитания и оптических линий связи.



Рисунок 1.14 - Щиток подключения магистралей гибкого кабель-канала

В гибком кабель-канале уложены:

1. Силовой кабель 4x2.5кв.мм
2. Кабель подключения шагового электродвигателя вертикальной оси телескопа.
3. 4х-жильный одномодовый оптоволоконный кабель специальной конструкции, допускающий изгиб при низких температурах.
4. 4 4х-парных Ethernetпатчкорда.

Линии витых пар Ethernet - патчкордов используются для:

1. Передачи сигналов энкодера вертикальной оси.
2. Подключения концевых датчиков.
3. Мониторинга температуры в подогреваемом контейнере шагового двигателя.
4. Передачи сигналов синхронизации от матрицы телескопа к сцинтилляционной установке.

На крышке щитка смонтирован регулятор подогрева контейнера гибкого кабель-канала.

На вращающейся части телескопа коммуникации кабель-канала заводятся в контейнер контроллера слежения (Рис.1.15). Контроллер слежения PhyLogic фирмы Phytron имеет коммерческий диапазон рабочей температуры от 0 - 50°C. Для поддержания температуры и обеспечения безопасного старта контроллера используется контроллер

обогрева. В этом контейнере размещен оптический конвертор – маршрутизатор Ethernet промышленного исполнения. Это позволяет вести непрерывный мониторинг состояния с помощью контроллера обогрева и контроллера датчиков температуры фирмы Овен. В контейнере контроллера наведения подключается оптоволокно синхронизации системы сбора данных телескопа, соединяются кабели питания и Ethernet, идущие в контейнер питания АЧТЗ (Рис.1.16). Коммуникации от контейнера контроллера слежения к тарелке телескопа проведены в вметаллофре. Для обеспечения запаса кабеля при перемещении телескопа создана петля между точками крепления на тарелке и вилке.

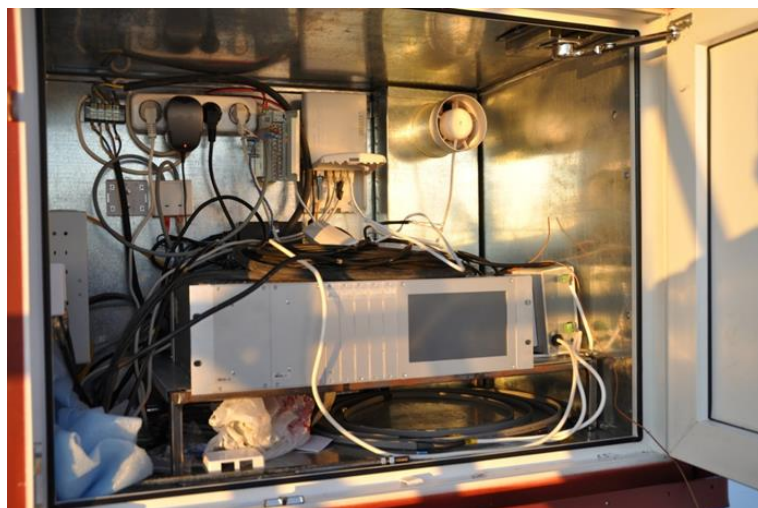


Рисунок 1.15 - Контейнер контроллера слежения.

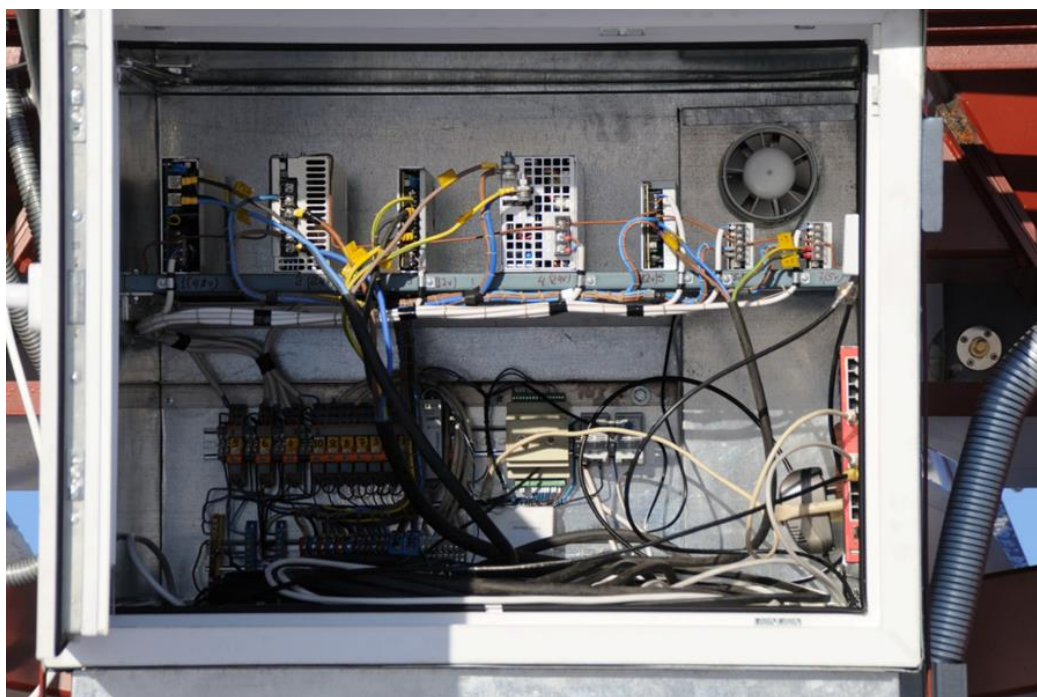


Рисунок 1.16 - Контейнер питания АЧТЗустановки TAIGA-IACS.

Контейнер питания АЧТЗ содержит элементы для формирования напряжений питания, коммутации и управления (Рис.1.17). Управление и мониторинг состояния осуществляет специализированный контроллер питания. По его команде коммутируются контакты реле, подающие питание на блоки питания для обогрева и функционирования системы сбора данных размещенных в контейнере камеры телескопа. Контроллер управляет 4 каналами изменения напряжения питания светодиодов калибровки и позиционирования. Формирует стробирующие импульсы системы калибровки.

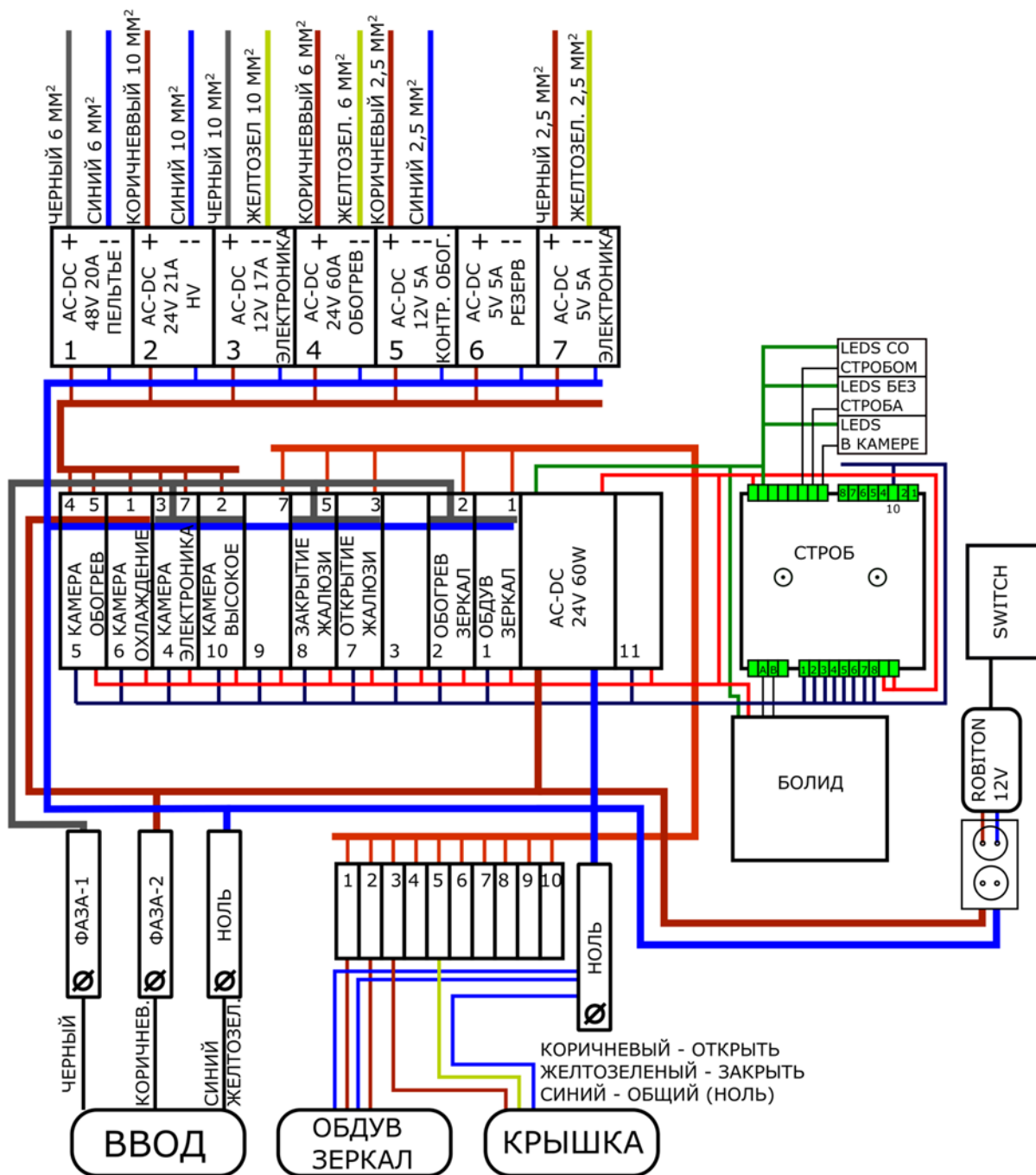


Рисунок 1.17 - Схема коммутации контейнера управления АЧТЗустановки ТАИГА-IACT.

Управление контроллером и отображение выдаваемой им информации осуществляет программа дежурного оператора (1.18).

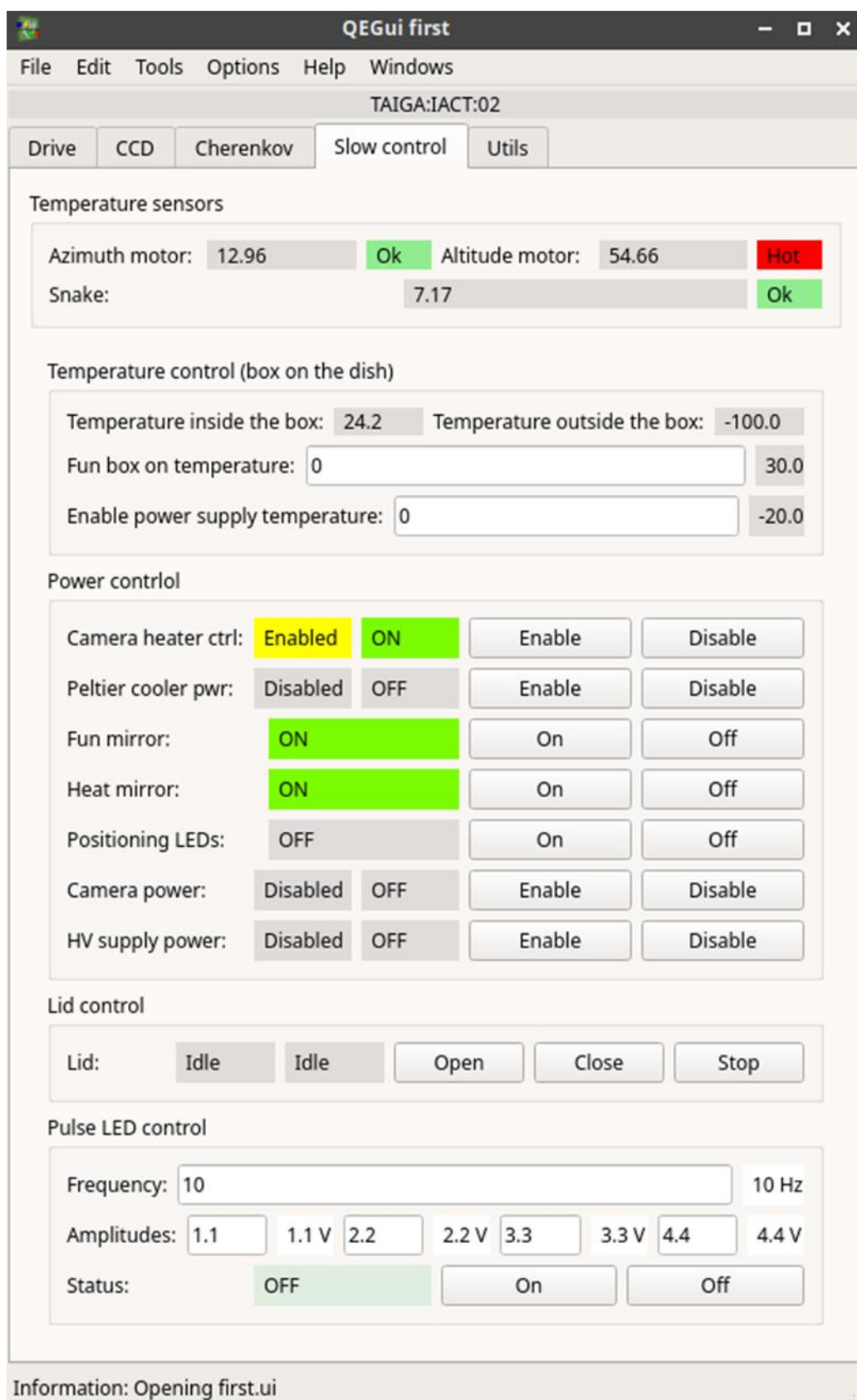


Рисунок 1.18. - Скриншот программы управления АЧТЗустановки TAIGA-IACST.

На этой монтажке третьего телескопа установки TAIGA-IACT планировалось установить камеру на базе полупроводниковых фотоприемников (SiMP), изготовленную в Женевском университете, однако, из-за пандемии covid-19 это оказалось невозможным. В настоящее время завершается изготовление модернизированной камеры на базе ФЭУ XP 1911 для АЧТЗ. При ее изготовлении выполнены следующие работы: (1) изготовлен герметичный корпус камеры с системами климат-контроля и светозащиты от дневного света; (2) изготовлен крейт для электроники камеры; (3) на базе 560 ФЭУ XP1911, оснащенных конусами Винстона, собрана матрица для регистрации черенковского изображения ШАЛ; (3) собрана read-out электроника камеры на базе микросхем ASIC MAROC 3; (4) собрана DAG электроника камеры, основанная на базе микросхем DRS4; (5) собрана электроника систем управления и электропитания камеры; (6) проведены работы по отладке, настройке, тестированию и калибровке камеры.

Матрица камеры состоит из 560 фотоумножителей, которые группируются в кластеры. Кластер (рис.1.19) состоит из платы управления кластером и 4-х групп по 7 фотоумножителей, имеющих единую плату делителей и высоковольтный источник питания. На группу из 7 фотоумножителей подается одно высокое напряжение.



Рисунок 1.19 Кластер ФЭУ камеры АЧТЗ установки TAIGA-IACT

Плата управления кластером обеспечивает регистрацию сигналов 28 фотоумножителей, выработку триггера кластера, контроль высокого напряжения питания, мониторинг темпов счета и анодных токов фотоумножителей.

Плата управления кластером основана на 64-канальной микросхеме ASIC MAROC3. Каждый канал MAROC3 включает в себя предусилитель с управляемым коэффициентом усиления, зарядочувствительный усилитель с переменным временем интегрирования, 12-

разрядный АЦП Вилкинсона и компаратор с регулируемым порогом. Входной сигнал усиливается предусилителем, поступает на зарядочувствительный усилитель с временем интегрирования ~ 35 нс и измеряется АЦП Вилкинсона. Микросхема ASIC MAROC3 также имеет мультиплексированный выход для триггерных сигналов компараторов на ПЛИС, который формирует триггер кластера по числу сработавших каналов в интервале 15 нс.

В камере используются предоставленный DEZY-Zeuthen (Германия) в качестве вклада в эксперимент фотоумножители XP1911 с диаметром фотокатода 1,5 см. Фотоумножители оснащаются конусом Винстона для увеличения эффективной площади примерно в 4 раза и ограничения поля зрения фотоумножителя до 30 градусов. Полный угол обзора камеры составит ~ 10 градусов, угловой размер пикселя — $\sim 0,36$ градуса. Коэффициент усиления фотоумножителей ограничивается допустимой величиной фонового анодного тока от света ночного неба. Для работы фотоумножителей в линейном режиме и меньшим коэффициентом усиления используются делители, укороченные до 8 динодов. При усилении $\sim 1 \cdot 10^5$ анодный ток фотоумножителей составляет примерно 2 мкА. При анодном токе выше $\sim 35-40$ мкА (например, появление яркой звезды в поле зрения пикселя) происходит отключение высокого напряжения с делителя фотоумножителя. Для увеличения динамического диапазона регистрации черенковского излучения ШАЛ сигнал фотоумножителя поступает на 2 канала MAROC3 с высоким и низким коэффициентами усиления предусилителей.

Фотоумножители прошли предварительную калибровку, измерены их основные параметры: усиление, фототок, темновой ток и др. Ввиду того, что в кластере на все каналы MAROC3 выставляется единый порог компаратора, возникает необходимость подбирать фотоумножители в группы. Фотоумножители группируются по произведению их усиления и фототока. Для фотоумножителей подобраны напряжения, при которых произведение коэффициента усиления на фототок близко к среднему фототоку по всем фотоумножителям камеры, умноженного на 10^5 .

Измерение линейности канала MAROC3 проводится методом парных засветок с помощью 2-х импульсных источников света. Канал с высоким коэффициентом усиления предназначен для регистрации слабых световых импульсов с амплитудой не более 150-200 фотоэлектронов. Для увеличения диапазона до 3000-3500 фотоэлектронов используется канал с малым коэффициентом усиления.

После завершения всех работ камера будет установлена на монтажке АЧТЗ установки TAIGA-IACT и телескоп будет включен в режим набора данных.

1.3. Обобщение и выводы о результатах проделанной работы

В результате выполнения проекта

1. Завершены работы по развертыванию и введению в режим штатного набора данных установки TAIGA-HiSCORE пилотного комплекса гамма-обсерватории TAIGA в полном объеме (120 оптических станций, распределенных на площади 1,2 кв.км).

2. Введены в режим штатного набора два АЧТ установки TAIGA-IACT пилотного комплекса гамма-обсерватории TAIGA. Третий АЧТ полностью подготовлен к работе, завершаются работы по изготовлению для него камера на базе вакуумных ФЭУ. Она будет установлена на телескоп летом 2021 года. Эта камера изготовлена вместо камеры на полупроводниковых ФЭУ(SiMP), поставка которой из Женевского университета оказалась невозможной из-за пандемии covid-2019.

3. Введены в режим штатного набора данных 6 кластеров сцинтилляционной установки TAIGA– Muon пилотного комплекса гамма-обсерватории TAIGA.

4. Интегральная чувствительность пилотного комплекса гамма-обсерватории TAIGA для регистрации фотонов сверхвысоких энергий доведена до 10^{-13} эрг см⁻² с⁻¹ для регистрации гамма-квантов в диапазоне энергий 30 – 200 ТэВ при 500 часах наблюдения за источником (2 сезона работы обсерватории).

5. В рамках выполнения данного пункта плана-графика разработаны технические задания на выполнение работ, на поставку электронного оборудования и комплектующих для модернизации пилотного комплекса гамма-обсерватории TAIGA в составе УНУ «Астрофизический комплекс МГУ- ИГУ» и осуществлены закупки.

Техническое задание

к предмету закупки для нужд НИИПФ ИГУ

«Выполнение работ по монтажу и наладке оптических станций северной части четвертого кластера установки TAIGA-HiSCORE.».

1. Общие положения.

1.1. Работы по своим характеристикам должны соответствовать параметрам, приводимым в требованиях, перечисленных ниже.

1.2. В цену работы должны быть включены все расходы Исполнителя включая налоги, уплаченные или подлежащие уплате. Цена Договора должна оставаться неизменной до момента исполнения обязательств по контракту.

2. Характеристики выполняемых работ.

Северная часть четвертого кластера установки TAIGA-HiSCORE должна включать в себя следующие узлы и составные части.

№ п/п	Наименование	Количество (шт.)
1	Оптические станции	30
2	Контейнеры оптических модулей	30
3	Контейнеры электроники оптических станций	30
4	Фотоэлектронные умножители R5912 в комплекте с цоколем	120
5	Светособирающие системы на базе конусов Винстона	120
6	Конструктив крепления фотоумножителя и экран диодной системы и платы делителей	120
7	Система обеспечения питания диодной системы ФЭУ и предварительного усиления сигналов	120
8	Система формирования высоковольтного напряжения питания ФЭУ и защиты от аварийной засветки.	30
9	Система формирования и мониторинга микроклимата контейнера электроники	30
10	Инфраструктура оптической системы передачи данных	30
11	Конвертер – коммутатор Ethernet	30
12	Крейт системы сбора данных в составе: <ul style="list-style-type: none"> • Непосредственно крейт с блоками питания и объединительной платой • Плата сбора данных и синхронизации • Плата сумматора • Блок задержек • Соединительные сигнальные кабеля 	30
13	Конвертер интерфейсов Ethernet-RS485 в составе системы управления оптическим модулем	30
14	Контроллер управления и мониторинга оптического модуля	30
15	Система энергообеспечения оптической станции	30
16	Каркас крепления Оптического модуля	30
17	Каркас крепления контейнера электроники	30
18	Система изменения зенитного угла оптического модуля	30
19	Брусовой фундамент-основание оптической станции	30

20	Гравийно-песчаная подушка для нивелирования основания станции	30
21	Полевые кабельные коммуникации передачи данных и питания АС220В	30
22	Помещение для организации центра сбора данных 4-го кластера (ЦСД-4)	1
23	Щит управления энергообеспечением 4-го кластера и ЦСД4	1
24	Крейт инфраструктуры сбора и передачи данных в сборе	1
25	Система точного времени и синхронизации «Мегахост»	1
26	Система обеспечения климата и мониторинга для ЦСД-4	1
27	Магистральные коммуникации ЦСД-ЦСД4	1

Монтаж и наладка оптических станций северной части четвертого кластера установки TAIGA-HiSCORE включают в себя следующие работы:

1. Разметка мест постановки оптических станций (ОС).
2. Отсыпка пескогравийной смесью площадок под ОС.
3. Сборка, выравнивание в горизонтальной плоскости и ориентация на север срубов под ОС.
4. Монтаж к срубам рам под ОС и блоки электроники оптических станций (БЭОС).
5. Монтаж светособирающих конусов Винстона в корпуса ОС.
6. Монтаж ОС и БЭОС к рамам.
7. Заземление ОС и БЭОС
8. Разметка, прокопка траншей.
9. Прокладка кабельных линий (оптоволоконных и силовых).
10. Коммутация силовых и оптоволоконных линий.
11. Комплектация БЭОС контроллером обогрева, нагревательными элементами и вентилятором, радиомодулем для дистанционной связи с контроллером обогрева, коммутатором, конвертором Ethernet – RS485, крейтом с системой сбора и оцифровки данных.
12. Измерения параметров фотоэлектронных умножителей (ФЭУ) и подбор четвёрок с близкими параметрами.
13. Изготовление экранирующих кожухов и креплений ФЭУ к конусам Винстона.

14. Комплектация ОС фотоэлектронными умножителями с делителем напряжения и предусилителем выходного сигнала, помещённых в экранирующий кожух, контроллерами управления ОС, контроллерами высокого напряжения.
15. Установка ФЭУ в оптимальное положение относительно конуса Винстона, обеспечивающее максимальную эффективность светосбора.
16. Коммутация сигнальных и силовых линий между ОС и БЭОС.
17. Монтаж основания телескопа и его нивелирование
18. Монтаж вилки и тарелки телескопа
19. Установка редукторов и двигателей привода осей
20. Установка защиты и утепления двигателей осей
21. Установка системы термостабилизации и контроля двигателей осей
22. Прокладка линии электропитания 2 х 220в от ЦСДЗ
23. Прокладка оптической линии передачи данных
24. Монтаж распределительного щита для подсоединения оптических и силовых магистральных линий.
25. Монтаж металлических кабель-каналов по конструкциям телескопа и до распределительного щита.
26. Установка монтажных коробок (ящиков) для подсоединения съёмного узла гибкого пластикового кабель-канала.
27. Упаковка кабельных коммуникаций в съёмный гибкий пластиковый кабель-канал
28. Монтаж металлического контейнера гибкого пластикового кабель-канала с утеплителем и системой обогрева.
29. Наладка соосности элементов контейнера гибкого кабель-канала
30. Монтаж концевых датчиков и энкодеров поворота осей телескопа.
31. Юстировка соосности осей энкодеров и телескопа
32. Изготовление крышки контейнера детектора, установка, герметизация и кроссирование кабелей, входящих в
33. Монтаж кабельных линий по конструкциям телескопа
34. Монтаж и кроссирование блоков питания и обогрева детектора телескопа в контейнер для электроники. Установка контроллера питания, сетевого коммутатора, системы термостабилизации, оборудования коммутации и управления.
35. Изготовление крепления и установка контейнера для электроники на обратную сторону тарелки телескопа
36. Кроссирование и коммутация соединений контейнера электроники на тарелке телескопа

37. Изготовление крепления и установка контейнера для электроники на вилку телескопа
38. Установка контроллера движения, сетевого оборудования и контроллера обогрева в контейнер на вилке телескопа, кроссирование и коммутация соединений.

Монтаж и наладка третьего атмосферного черенковского телескопа установки TAIGA-IACT должны быть выполнены в соответствии со следующими техническими требованиями к структуре и составным частям установки:

1. Нивелировка основания оптических станций по горизонту ±0.5°
2. Ориентация основания оптической станции по сторонам света ±2°
3. Ориентация оптической станции по сторонам света ±0.5°
4. Установка элементов оптической системы станции ±1мм
5. Система формирования высоковольтного напряжения питания ФЭУ и защиты от аварийной засветки.
 - a. Диапазон управления высоковольтного напряжения 0 – 2кВ
 - b. Число ступеней регулирования, не менее 1000
 - c. Время срабатывания защиты от аварийной засветки, не более 100мс
6. Система формирования и мониторинга микроклимата контейнера электроники
 - a. Температура включения питания для электроники контейнера 15°С
 - b. Мощность нагревателей, не более 500Вт
 - c. Температура включения вентилятора охлаждения 22°С
 - d. Период опроса мониторинжной информации 1мин
7. Контроллер управления и мониторинга оптического модуля
 - a. Формирование и управление питающим напряжением преобразователей высоковольтного напряжения питания ФЭУ 24В ±0.2В
 - b. Формирование и управление питающими напряжениями предусилителей на плате делителей ФЭУ ± 5В ±0.1В
 - c. Измерение мониторинжной информации АЦП 10бит, ±0.5%
8. Диапазон поворотов вокруг горизонтальной оси зеркала (зенитный угол): -
10+95°
9. Диапазон поворотов вокруг вертикальной оси (азимутальный угол): 0-
410°

10. Несоосность горизонтальной полуоси телескопа и тихоходного вала червячного редуктора 0.5 мм
11. Перекошенность горизонтальной полуоси телескопа и тихоходного вала червячного редуктора 0.5°.
12. Несоосность горизонтальной полуоси телескопа и вала энкодера 0.5 мм
13. Перекошенность горизонтальной полуоси телескопа и вала энкодера 4.0°.
14. Несоосность вертикальной оси телескопа и тихоходного вала червячного редуктора 5 мм
15. Перекошенность вертикальной оси телескопа и тихоходного вала червячного редуктора 0.5°
16. Несоосность вертикальной оси телескопа и вала энкодера 0.5 мм
17. Перекошенность вертикальной оси телескопа и вала энкодера 4.0°
18. Несоосность горизонтальных полуосей телескопа 2 мм
19. Перекошенность горизонтальных полуосей телескопа 0.5°
20. Точность установки углов противолучевой системой 0.05°
21. Система приводов -электрическая-дистанционная (от компьютера), блок управления phyMOTION-21SL-R-s фирмы Phytron (ФПГ)
22. Скорость поворота вокруг вертикальной оси вращения до 2 градуса/сек
23. Скорость поворота вокруг горизонтальной оси вращения до 2 градуса/сек
24. Форма составного зеркала (рама зеркал) – сферическая типа Девиса-Коттона
25. Рама зеркал имеет радиус кривизны 4750 ± 1 мм и крепится к «люльке»
26. Модули составного зеркала (34 штуки) - готовые изделия: многослойный диск диаметр 600 мм, толщина 30 мм, вес 7 кг
27. Камера фотодетектора (готовое изделие весом ~200 кг) крепится несущими фермами на расстоянии 4750 ± 1 мм от основания рамы зеркал.
28. Условия эксплуатации: температура - 40 до + 30°C

29. Фотодетектор - готовый блок с габаритными размерами диаметром 1100 мм, длиной 1040 мм и весом -200 кг.
 30. В контейнере электроники, расположенном на тарелке телескопа, обеспечивающем распределение электропитания должна быть обеспечена теплоизоляция и вентиляция.
 31. Температура среды в контейнере: -20 до +30°C.
 32. Питание электроники сбора данных:
 - а. 5В - 5А
 - б. 12В – 17А
 33. Питание высоковольтных преобразователей матрицы ФЭУ: 24В - 20А
 34. Питание системы термостабилизации камеры
 - а. 12В – 5А
 - б. 24В – 60А
 35. Питание модуля Пельтье 48 – 20А
 36. Коммутация питания обдува зеркал: 220В 500Вт
 37. Коммутация подогрева обдува зеркал: 220В 2кВт
 38. Управление открытием/закрытием шторки регистрирующей камеры: 220В 200Вт
 39. Управление светодиодами подсветки положения камеры: 12В 0-100мА
 40. Управление светодиодной системой калибровки ФЭУ
 41. Аппаратура управления – контроллер, реле 220В 16А, сетевые устройства доступа Ethernet
3. **Срок выполнения работ – 1 месяц со дня подписания Договора.**
 4. **Список документации, передаваемой вместе с товаром:**

После выполнения работ Поставщик обязан предоставить Заказчику счет и все необходимые сопроводительные документы по цене, указанной в договоре.
 5. **Выполнение работ по данной закупке является целой и неделимой.**
 6. **Адрес по которому производится передача документов в рамках выполняемых работ:** респ. Бурятия, Тункинский район, п. Горы, ТАЦКП ИГУ

Техническое задание

к предмету закупки для нужд НИИПФ ИГУ

«Выполнение работ по монтажу системы электроснабжения 3-го атмосферного черенковского телескопа установки TAIGA-IACR гамма-обсерватории TAIGA, в составе КЛ-0.04 кВ ЧСД, ЦСД-4».

1. Общие положения.

- 1.1. Работы по своим характеристикам должны соответствовать параметрам, приводимым в требованиях, перечисленных ниже.
- 1.2. В цену работы должны быть включены все расходы Исполнителя включая налоги, уплаченные или подлежащие уплате. Цена Договора должна оставаться неизменной до момента исполнения обязательств по контракту.

2. Характеристики выполняемых работ.

Название и характеристики работ (качественные и количественные).

	ед. измерения	количество
1. Монтаж шкафа ВРУ-ЦСД, в том числе:		
Монтаж ВРУ	шт	1
Разработка грунта вручную в траншеях глубиной до 2 м без креплений с откосами, группа грунтов: 2	100 м ³	0,0128 (4*0,4*0,8) / 100
Засыпка вручную траншей, пазух котлованов и ям, группа грунтов: 1	100 м ³	0,0128 (4*0,4*0,8) / 100
Затягивание провода в проложенные трубы и металлические рукава первого одножильного или многожильного в общей оплетке, суммарное сечение: до 35 мм ²	100 м	0,1 10 / 100
Разводка по устройствам и подключение жил кабелей или проводов сечением: до 35 мм ²	100 шт	0,08 8 / 100
Разводка по устройствам и подключение жил кабелей или проводов сечением: до 120 мм ²	100 шт	0,04 4 / 100
используемые материалы:		
Подставка под ВРУ	т	0,03 30/1000
Заземлитель вертикальный из круглой стали диаметром: 18 мм	10 шт	0,2 2 / 10
Заземлитель горизонтальный из стали: круглой диаметром 12 мм	100 м	0,04 4 / 100

Проводник заземляющий из медного изолированного провода сечением 95 мм ² открыто по строительным основаниям	100 м	0,01 1 / 100
Проводник заземляющий из медного изолированного провода сечением 95 мм ² открыто по строительным основаниям	100 м	0,01 1 / 100
Кабель до 35 кВ в проложенных трубах, блоках и коробах, масса 1 м кабеля: до 1 кг	100 м	0,1 10 / 100
Муфта концевая эпоксидная для 3-жильного кабеля напряжением: 1 кВ, сечение одной жилы до 185 мм ²	шт	1
Муфта соединительная эпоксидная для 3-4-жильного кабеля напряжением: до 10 кВ, сечение жил до 120 мм ²	шт	1
Вводно-распределительное устройство ВРУ ЦСД	шт	1
Муфта 4КВТпН-1- 70-120 с наконеч (4жилы до 1кВ) ЭРГ	шт	1
Муфта 4СТп-1- 70-120 с болтов соединит (4жилы до 1кВ) ЭРГ	шт	1
Кабель ВВГнг-LS 4x25 ГОСТ 06FO1202A Z	м	10
Провод ПВ-3 1x95 ГОСТ	м	1
Наконечник ТМЛ 25-8-7	шт	8
Наконечник ТМЛ 95-12-15	шт	2
Труба гофрир ПНД с тросом д.40 RUVINIL (24011) (15) чёрная с зондом тяжелая	бухта 15 м	1
Круг d12	кг	5,328 6*0,888
Круг d18	кг	12 6*2
2. Монтаж шкафа ВРУ - АЧТ телескоп № 3, в том числе:		
Монтаж ВРУ	шт	1
Разработка грунта вручную в траншеях глубиной до 2 м без креплений с откосами, группа грунтов: 2	100 м ³	0,0128 (4*0,4*0,8) / 100
Засыпка вручную траншей, пазух котлованов и ям, группа грунтов: 1	100 м ³	0,0128 (4*0,4*0,8) / 100
Разводка по устройствам и подключение жил кабелей или проводов сечением: до 120 мм ²	100 шт	0,04 4 / 100
используемые материалы:		

Муфта концевая эпоксидная для 3-жильного кабеля напряжением: 1 кВ, сечение одной жилы до 185 мм ²	шт	2
Заземлитель вертикальный из круглой стали диаметром: 18 мм	10 шт	0,2 2 / 10
Заземлитель горизонтальный из стали: круглой диаметром 12 мм	100 м	0,04 4 / 100
Проводник заземляющий из медного изолированного провода сечением 95 мм ² открыто по строительным основаниям	100 м	0,01 1 / 100
Подставка под ВРУ	т	0,03 30/1000
Вводно-распределительное устройство ВРУ-телескоп № 3	шт	1
Муфта 4КВТпН-1- 70-120 с наконеч (4жилы до 1кВ) ЭРГ	шт	2
Провод ПВ-3 1x95 ГОСТ	м	1
Наконечник ТМЛ 95-12-15	шт	2
Круг d12	кг	5,328 6*0,888
Круг d18	кг	12 6*2
3. Монтаж шкафа ВРУ-ЦСД № 4, в том числе:		
Монтаж ВРУ	шт	1
Разработка грунта вручную в траншеях глубиной до 2 м без креплений с откосами, группа грунтов: 2	100 м ³	0,0128 (4*0,4*0,8) / 100
Засыпка вручную траншей, пазух котлованов и ям, группа грунтов: 1	100 м ³	0,0128 (4*0,4*0,8) / 100
Разводка по устройствам и подключение жил кабелей или проводов сечением: до 35 мм ²	100 шт	0,08 8 / 100
Разводка по устройствам и подключение жил кабелей или проводов сечением: до 120 мм ²	100 шт	0,04 4 / 100
Затягивание провода в проложенные трубы и металлические рукава первого одножильного или многожильного в общей оплетке, суммарное сечение: до 35 мм ²	100 м	0,1 10 / 100
используемые материалы:		
Вводно-распределительное устройство ВРУ-ЦСД №	шт	1

4			
Муфта 4КВТпН-1- 70-120 с наконеч (4жилы до 1кВ) ЭРГ	шт		1
Кабель ВВГнг-LS 4x25 ГОСТ 06FO1202A Z	м		10
Провод ПВ-3 1x95 ГОСТ	м		1
Наконечник ТМЛ 25-8-7	шт		8
Наконечник ТМЛ 95-12-15	шт		2
Труба гофрир ПНД с тросом д.40 RUVINIL (24011) (15) чёрная с зондом тяжелая	бухта 15 м		1
Круг d12	кг		5,328 6*0,888
Круг d18	кг		12 6*2
Кабель до 35 кВ в проложенных трубах, блоках и коробах, масса 1 м кабеля: до 1 кг	100 м		0,1 10 / 100
Муфта концевая эпоксидная для 3-жильного кабеля напряжением: 1 кВ, сечение одной жилы до 185 мм ²	шт		1
Заземлитель вертикальный из круглой стали диаметром: 18 мм	10 шт		0,2 2 / 10
Заземлитель горизонтальный из стали: круглой диаметром 12 мм	100 м		0,04 4 / 100
Проводник заземляющий из медного изолированного провода сечением 95 мм ² открыто по строительным основаниям	100 м		0,01 1 / 100
Подставка под ВРУ	т		0,03 30/1000

3. Срок выполнения работ – 1 месяц со дня подписания Договора.

4. Список документации, передаваемой вместе с товаром:

После выполнения работ Поставщик обязан предоставить Заказчику счет и все необходимые сопроводительные документы по цене, указанной в договоре.

5. Выполнение работ по данной закупке является целой и неделимой.

6. Адрес по которому производится передача документов в рамках выполняемых работ: респ. Бурятия, Тункинский район, п. Горы, ТАЦКП ИГУ

Спецификация

к предмету закупки для нужд НИИПФ ИГУ

Комплект оборудования для астрометеопункта гамма-обсерватории TAIGA

1. Общеположения.

- 1.1. Поставляемые товары должны быть новые, не бывшие в использовании, не из ремонта, если в техническом задании прямо не указано иное. Расходными материалами должны быть оригинальные и невосстановленные.
- 1.2. Товары по своим характеристикам должны соответствовать параметрам, приводимым в требованиях, перечисленных ниже.
- 1.3. Каждая единица оборудования, являющаяся отдельно производимым товаром, должна быть представлена описанием с указанием товарных знаков, знаков обслуживания, фирменных наименований, патентов, полезных моделей, промышленных образцов, наименования места происхождения товара или наименования производителя товара.
- 1.4. В цену товара должны быть включены все расходы Участника закупки по доставке, упаковке, маркировке, погрузке, транспортировке, разгрузке товаров, а также прочие расходы и налоги, уплаченные или подлежащие уплате. Цена контракта должна оставаться неизменной до момента исполнения обязательств по контракту.

2. Характеристики поставляемого товара и сопутствующих услуг.

Название и характеристики поставляемого товара (качественные и функциональные), требования к совместимости поставляемого товара с уже имеющимся у Заказчика (Количество, шт.).

п/п	Наименование	Технические характеристики	Ед. изм.	Кол -во	Стоимость за ед. рублей	Цена, рублей	Срок гарантии
1	Комплекс для измерения прозрачности атмосферы и яркости ночного неба UnihedronSkyQuality MeterwithLens NarrowFieldofView	Наличие: датчик температуры окружающей среды на разных высотах, датчик	Шт.	1	47 434,50	47 434,50	12 мес. с момента подписания Покупателем акта приема-передачи товара

	/EthernetConnection SQM-LE	#температуры окружающей среды на уровне земли, датчик					
2	Камеракруговогообзора Oculus All-Sky Camera with 180° lens	скорости ветра, датчик влажности, определитель	Шт.	1	163 081,10	163 081,10	
3	Астрометеосенсор Boltwood Cloud Sensor II	точки росы, датчик дождя, настраиваемые пользователем оповещения, настраиваемый графический вывод информации, звуковое оповещение, автоматическое закрытие крышки датчиков при срабатывании предупреждения, USB интерфейс, источник питания - 24 volt, температурный предел адаптера - -0C	Шт.	1	370 493,00	370 493,00	

		- +40С					
--	--	--------	--	--	--	--	--

Страна происхождения товара – Япония.

Срок поставки товара: 30 дней с момента получения Поставщиком заявки Покупателя.

Адрес поставки товара: 671025, респ. Бурятия, Тункинский район, п. Торы, ТАЦКП ИГУ

**Система питания 3-го атмосферного черенковского телескопа установки
TAIGA-IACT гамма-обсерватории TAIGA**



Образец заполнения платежного поручения

ПАО "Сбербанк России"		БИК	044525225
Банк получателя		К/Счет №	30101810400000000225
ИНН:7735154786	КПП: 772101001	Р/Счет №	40702810538000120815
ООО «НИОКР СИСТЕМС»			
Получатель			

СЧЕТ № ОКР-7-031 от 24.07.2020

Поставщик: ООО «НИОКР СИСТЕМС», ИНН: 7735154786, КПП: 772101001, Юр.адрес: 109431, г. Москва, ул. Привольная, д. 70, помещение XXXV ком 3 тех этаж, Тел.: 8(495)268-14-82

Покупатель: _ федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Иркутский государственный университет", ИНН: 3808013278, КПП: 380801001, Юр.адрес: 6664003, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, 1, Тел.: +7 (950) 1196039

Специальное оборудование для НИОКР Система питания 3-го атмосферного черенковского телескопа установки TAIGA-IACST гамма-обсерватории TAIGA 1 шт. в составе:

№	Наименование товара	Кол-во	Ед.изм	Цена	Сумма
1	блок питания RSP-1000-48	2,00	шт.	21 791,00	43 582,00
2	блок питания SE-600-24	2,00	шт.	8 020,30	16 040,60
3	блок питания RSP-320-12	2,00	шт.	5 286,60	10 573,20
4	блок питания RSP-1500-24	2,00	шт.	32 811,00	65 622,00
5	блок питания RS-75-12	2,00	шт.	1 974,00	3 948,00
6	блок питания RS-25-5	4,00	шт.	1 115,60	4 462,40
7	блок питания UNO-PS/1AC/24DC/60W	2,00	шт.	5 091,80	10 183,60
8	релейный модуль RIF-1-RPT-LDP-24DC/1X21	20,00	шт.	1 025,80	20 516,00
Итого:					174 927,80
В том числе НДС:					29 154,63

Номер счета для работы через Интернет-сайт: **OKR5772798**

Примечание: Срок поставки-10 дней. Оплата по факту поставки. Поставка товара по адресу: Иркутск, б.Гагарина, 20, НИИПФ ИГУ.

Всего наименований: 8,00 на сумму: 174927,80 руб.

Сто семьдесят четыре тысячи девятьсот двадцать семь рублей 80 копеек

Руководитель _____ Китченко А.С

Бухгалтер _____ Китченко А.С



2. Модернизация вычислительной инфраструктуры УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ»

В 2020 г. выполнен большой объем работ по коренной модернизации вычислительной инфраструктуры УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ». программного и аппаратного обеспечения системы сбора и предварительной обработки данных с учетом ввода в строй: пилотного комплекса гамма-обсерватории TAIGA в полном объеме, робот – телескопа МАСТЕР-600 и новой геофизической станции.

Основные цели модернизации вычислительной инфраструктуры УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ» состоят в следующем:

Повышение отказоустойчивости всех систем;

Повышение удобства управления всеми системами (см. Пульт управления установками УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ»);

Увеличение вычислительной мощности компьютерной техники УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ»;

Создание централизованной системы хранения экспериментальных данных.

Для достижения этих целей выполнены следующие работы:

1. Замена старого компьютерного оборудования установки TAIGA-HiSCORE на более производительные. Для этих целей закуплено четыре новых сервера производства Dell, производительность которых значительно выше использованных ранее.

2. Установка сервера производства Dell для сцинтилляционных установок Tunka-Grande и TAIGA-Muon.

3. Установка отдельного сервера для обслуживания всех атмосферных черенковских телескопов установки TAIGA-IACT.

4. Установка сервера общего назначения для предварительной обработки данных, временного хранения больших массивов данных, до 100 Тбайт, а так же, работы виртуальных сервисов, обслуживающих системы всех установок (виртуальные машины и пр.)

5. Модернизация локальной сети установок УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ» с целью увеличения пропускной способности до 10 Гбит/с для объединения всех ответственных узлов (серверов) всех установок для быстрого доступа к хранилищу

экспериментальных данных. Всё устанавливаемое серверное оборудование получит доступ к сети со скоростью обмена данными 10 Гбит/с с общим хранилищем.

6. Модернизация оборудования и программного обеспечения центра управления и сбора данных УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ», используемого дежурными операторами при проведении сеансов набора данных.

Значительная часть оборудования размещена в 19"-стойке (см. Рис.2.1). Стойка предназначена для размещения серверного оборудования системы сбора данных различных установок, системы хранения и обработки данных.

Стойка включает в себя следующие компоненты:

- Коммутационное сетевое оборудование, предназначенное для организации сетевого обмена данными между узлами стойки, сетевого обмена данными узлов стойки с измерительными установками, доступа персонала к оборудованию стойки;

- Центральный сервер, предназначенный для временного хранения "сырых" экспериментальных данных измерительных установок и их предварительной обработки перед отправкой в лабораторию в Иркутск, на основное хранилище данных.

Так же сервер предназначен для работы разнообразных сетевых сервисов УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ»

- Источники бесперебойного питания, обеспечивающие непрерывным электропитанием все узлы стойки при кратковременных отключениях электроэнергии. При длительном отключении электроэнергии позволяет корректно отключить все узлы стойки.

Всё закупленное оборудование не является единой монолитной системой предназначенной только под текущие конкретные задачи. В любой момент, любой из компонентов вычислительной инфраструктуры, ее системы сбора и накопления данных, может быть более оптимально переконфигурирован под новые задачи будущих экспериментов в УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ». Ранее работавшее оборудование включено в состав новых систем, с передачей на него менее критичной вычислительной нагрузки.



Рис. 2.1 - Стойка с оборудованием системы сбора и хранения данных УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ»,

Проведена модернизация вычислительной инфраструктуры центра управления УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ». На рисунке 2.2 представлено распределение функций между компьютерами гамма-обсерватории TAIGA. При проведении измерений,

для того чтобы дежурные операторы могли в режиме on-line контролировать состояние и работоспособность всех детекторов и установок комплекса, разработано специальное программное обеспечение и установлены мониторы в центре управления для визуализации мониторинговых данных (Рис.2.3).

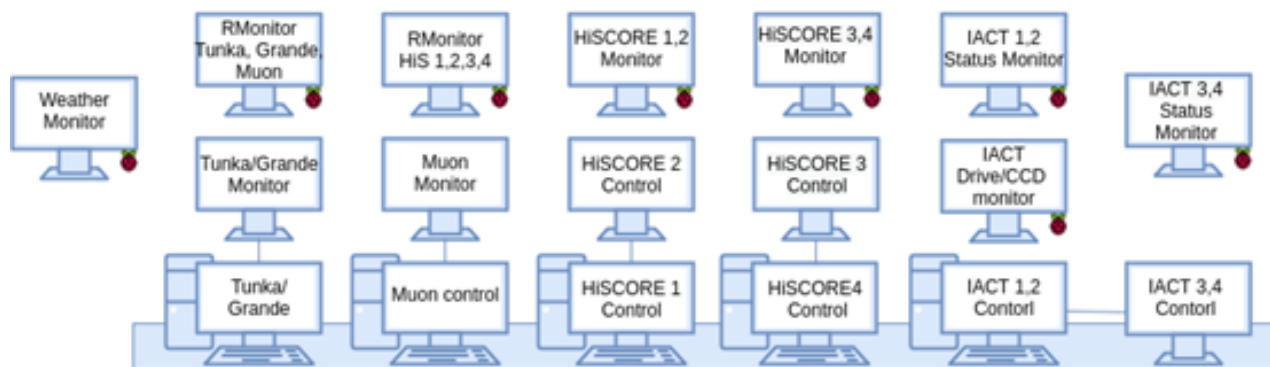


Рисунок 2.2 - План пульта управления УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ».



Рисунок 2.3 - Пульт управления установками УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ».

Осенью 2020г. проведены следующие работы по повышению надёжности работы локальной вычислительной сети установок УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ»:

1. В новом помещении - "Сборочный модуль", установлен новый узел связи (телекоммуникационный шкаф). Данная аппаратура предоставляет доступ к ЛВС для всего помещения, а так же является транзитной для линии связи между помещениями Центра Сбора Данных и "Главным зданием".

2. Проложена новая оптоволоконная линия между Центром Сбора Данных и Сборочным модулем.

Проведённые работы позволили организовать "сетевое кольцо" между помещениями Центр Сбора Данных — Лаборатория — Главное здание — Сборочный модуль - Центр Сбора Данных.

Данное решение повышает отказоустойчивость систем связи, в вышеприведённых помещениях. Особенно это относится к лаборатории, где расположен пульт управления всеми установками УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ». В случае повреждения одной из оптоволоконных линий между указанными помещениями, связь не прервётся. Сетевое оборудование автоматически перестроится на новый маршрут, незаметно для пользователей УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ»: На Рис.2.4. представлен план коммуникаций УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ». Голубыми пунктирными линиями отображены оптоволоконные кабельные линии, объединяющие сетевое оборудование УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ» в "кольцо". Красным крестом обозначено место повреждения оптоволоконной линии связи, которое было восстановлено.

Осенью 2020г., в Центре Сбора Данных (ЦСД) введена в строй система автоматического регулирования и мониторинга температуры. Ввод новой терморегуляции помещения вызвано несовершенством конструктивных особенностей прежнего оборудования, не способного оптимально автоматически регулировать температуру в помещении, где расположена измерительная и вычислительная аппаратура установок УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ». Так же, отсутствовало какое-либо решение по понижению температуры воздуха в теплое время года, и не было возможности контролировать температуру удалённо, из помещения "Лаборатория", во время штатных сеансов набора данных.

Указанные недостатки приводили к перегреву или переохлаждению измерительной и прочей аппаратуры ЦСД, не предназначенной для работы в широком температурном диапазоне, что в свою очередь, вызывало сбои в её работе.

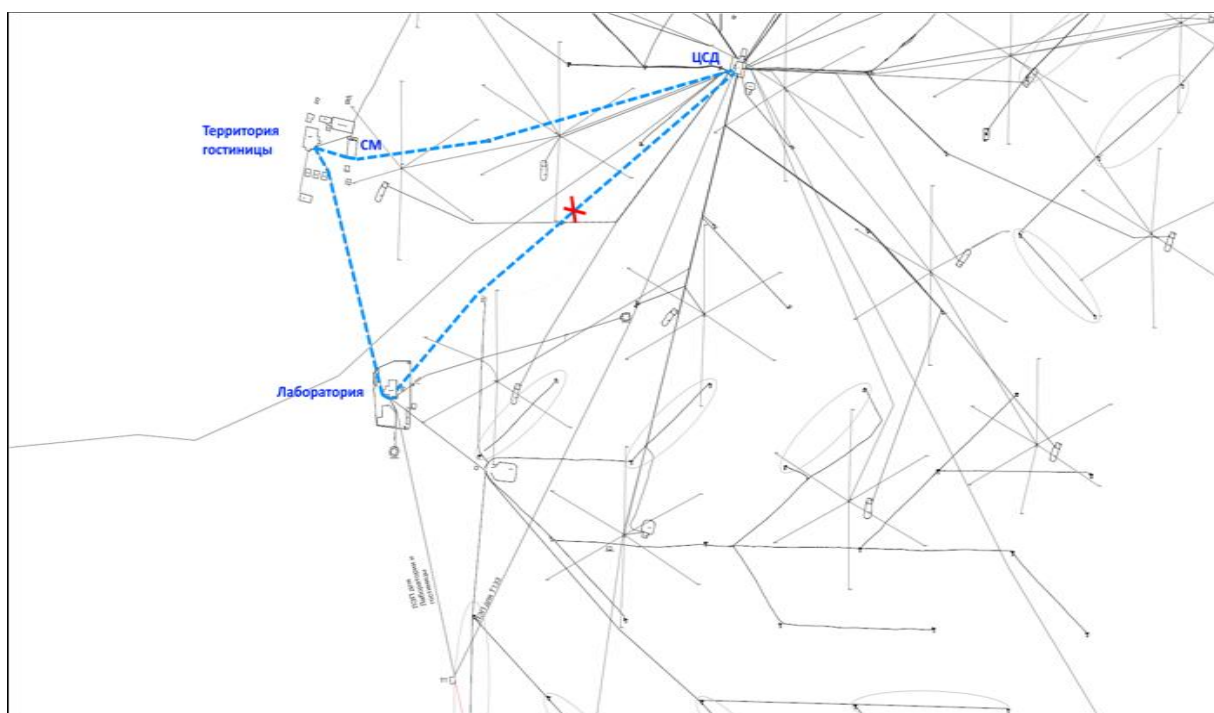


Рисунок 2.4- План коммуникаций УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ». Голубыми пунктирными линиями отображены оптоволоконные кабельные линии, объединяющие сетевое оборудование УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ» в "кольцо".

Установленная система терморегулирования позволяет:

- Автоматически регулировать обогрев помещения в холодное время года;
- Автоматически регулировать охлаждение помещения в тёплое время года;
- Контролировать температуру воздуха внутри помещения;
- Контролировать температуру воздуха возле ответственного оборудования;
- Контролировать температуру воздуха вне помещения (на улице);
- Управлять устройствами обогрева и охлаждения в ручном режиме;
- На базе программируемого контроллера более гибко и точно управлять температурными режимами помещения.

Выполнены следующие работы:

- Собран один контроллер автоматического управления терморегуляцией и удалённого доступа к показаниям датчиков;
- Собраны четыре управляемые розетки (по две на комнату), сделанные на базе контакторов;
- Собрано 6 термодатчиков;
- Все компоненты термостата установлены в помещении "ЦСД":

◦ В комнате с аппаратурой установки TAIGA-HiSCORE и пр. оборудованием - "RightRoom"

- Две управляемые розетки для нагревательных элементов

- 3 термодатчика (один для контроля окружающего воздуха комнаты, два для контроля температуры воздуха возле измерительной аппаратуры)

◦ В комнате с аппаратурой установки "Тунка" - "LeftRoom"

- Две управляемые розетки для нагревательных элементов

- 2 термодатчика (для контроля температуры воздуха возле измерительной аппаратуры, и окружающего воздуха)

◦ Вне помещения

- Один термодатчик (для контроля температуры воздуха на улице)

План расположения компонентов термостата указан на Рис. 2.5

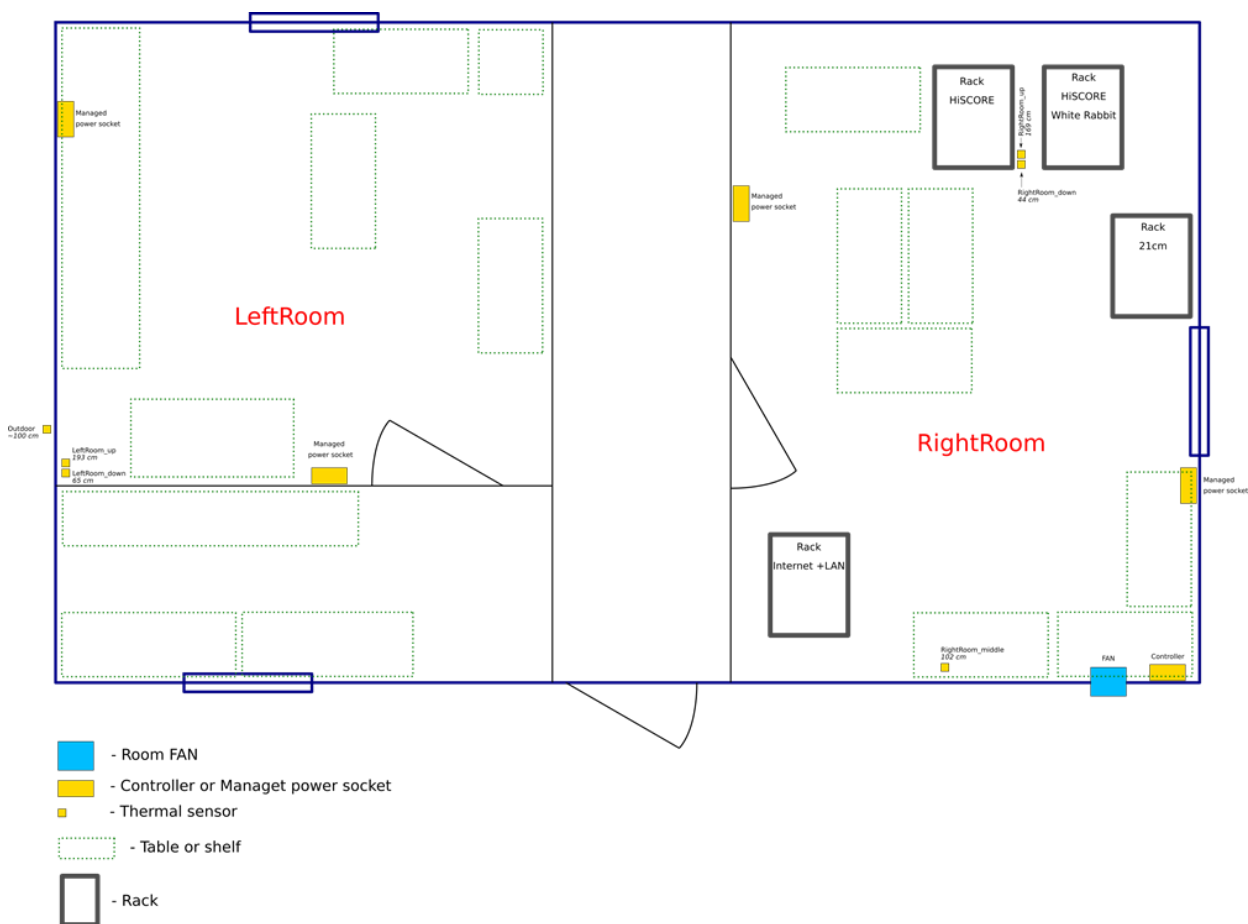


Рисунок 2.5 - План расположения компонентов термостата Центра Сбора Данных УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ». Оранжевым цветом обозначены: контроллер, управляемые розетки, термодатчики. Голубым цветом обозначена вытяжка (на базе канального вентилятора).

Для использования более современного программного обеспечения для управления аппаратурой установки TAIGA-HiSCORE, операционные системы основных компьютеров были обновлены до актуального состояния.

В весенний период 2020г. измерительное и управляющее программное обеспечение установки TAIGA-HiSCORE протестировано в виртуальной среде (виртуальной машине) на базе гипервизора KVM. Это было необходимо, чтобы обеспечить резервной копией программное обеспечение (и всей операционной системы) основных компьютеров установки TAIGA-HiSCORE. Тесты показали, что в случае выхода из строя одного из главных компьютеров установки TAIGA-HiSCORE, во время штатного сеанса набора данных и при имеющейся резервной копии, есть возможность оперативно, в течение одного часа восстановить работу установки.

В 2020г. для обслуживания установок УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ», внедрена система управления проектами на базе программного обеспечения - Redmine.

Цель внедрения ПО Redmine:

- Автоматизировать процесс обслуживания аппаратуры измерительных установок УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ» диагностика неисправностей → передача информации специалисту → выполнение работ с подробным описанием процесса (лабораторный журнал) → отчёт о проделанной работе;

- Сохранение истории всех проведённых работ на измерительных установках;
- Сохранение истории обслуживания на каждый элемент измерительных установок.

То есть, воспользовавшись фильтром поиска, можно всегда отсортировать информацию по определённым критериям для конкретного оборудования.

- Общая информационная база — Wiki: руководства, справочники, таблицы и пр.

Система Redmine максимально автоматизирует процесс технического обслуживания измерительной аппаратуры, с сохранением журналов работ персонала и хронологии событий, которые позволяют, в случае необходимости, через поиск, восстановить полезную информацию. То есть, вся информация о проводимых работах над оборудованием сохраняется в данной системе, которую, случае необходимости, всегда можно извлечь. Одна из страниц ПО Redmine представлена на Рис.2.6.

Система Redmine представляет из себя Web-сервис, физически расположенный на сервере НИИПФ ИГУ, в г.Иркутск. Пользователи получают доступ к системе через сеть Интернет, используя устройства типа: стационарный персональный компьютер, ноутбук, планшет, смартфон.

Основной принцип работы системы, это накопление информационных "карточек" (заданий / тикетов) на конкретные виды работ, раздаваемые персоналу УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ» специализирующемуся в своей области: электроника, программирование, электрика, монтаж оборудования и пр.

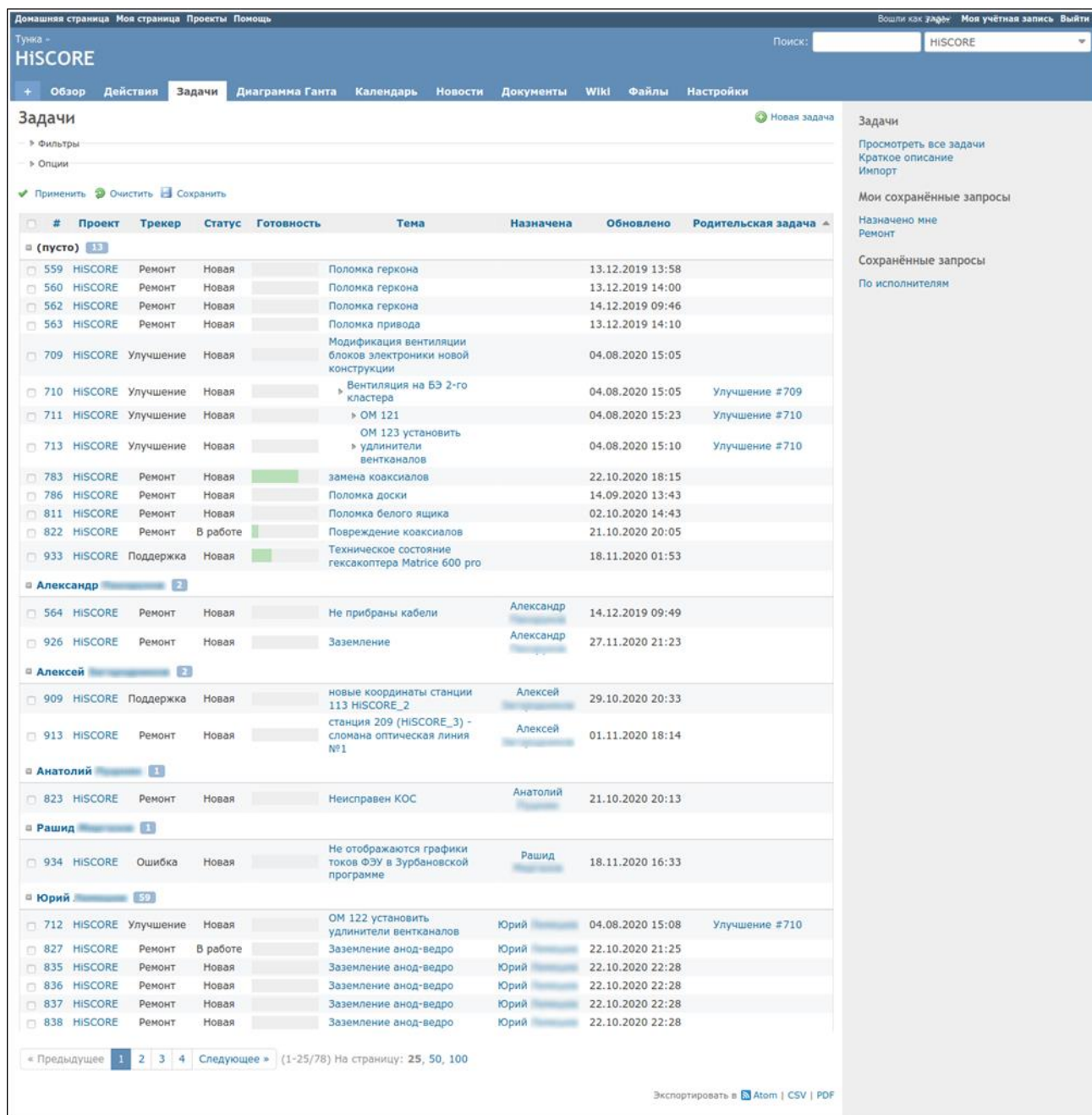


Рисунок 2.6 - Одна из страниц ПО Redmine

Пользователи системы распределены по одной или нескольким группам, соответствующие конкретным измерительным установкам УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ». Пользователь, заинтересованный в выполнении какой-либо работы, не специфичной для него, может выставить карточку с заданием другому пользователю, специализирующемуся в данной области. Например, электроник может выставить запрос

(карточку) программисту на написание программы для его измерительной аппаратуры. Или, например, руководство может выставить задание сразу нескольким монтажникам на сборку измерительной установки. Все пользователи, которым выставлено задание, в процессе своей работы, оставляют необходимые комментарии в текущей карточке, сопровождая текстовый материал необходимыми документами, схемами и пр. изображениями. Параллельно подходу создания информационных карточек в системе существуют Wiki-страницы, в классическом своём виде. На данных Wiki-страницах пользователи оставляют текстовые материалы, которые могут быть полезны для работы всего коллектива. Например, руководства по пользованию определённой аппаратурой, таблицы IP-адресов всех сетевых устройств измерительных установок и т. п.

2.1. Обобщение и выводы о результатах проделанной работы

В результате выполнения проекта проведена коренная модернизация вычислительной инфраструктуры УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ». программного и аппаратного обеспечения системы сбора и предварительной обработки данных с учетом ввода в строй: пилотного комплекса гамма-обсерватории TAIGA в полном объеме, робот – телескопа МАСТЕР-600 и новой геофизической станции.

В рамках выполнения данного пункта плана-графика разработаны технические задания на поставку электронного оборудования и комплектующих для модернизации пилотного комплекса гамма- обсерватории TAIGA в составе УНУ «Астрофизический комплекс МГУ- ИГУ» и осуществлены закупки.

Спецификация

к предмету закупки для нужд НИИПФ ИГУ

Комплект оборудования сетевой инфраструктуры сбора данных уникальной научной установки "Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ" в составе:

№	Товар	Кол-во	Ед. изм.	Цена с НДС, руб.
1	Сервер AS -1123US-TR4 / Rome 7452 DP/UP 32C/64T 2.35G 128M 155W 4094, HF, RoHS / 16GB DDR4-3200 1Rx4 LP ECC RDIMM,HF,RoHS / Samsung SM883 240G SATA 6Gb/s V4 MLC 2.5" 7mm (3.6 DWPD)	1	шт	770 308,00
2	ПолкаSupermicro CSE-847E1C-R1K28JBOD, 4U SAS3 JBOD storage chassis, 44 x 3.5" hot-swap HDD bays for JBOD	1	шт	196 460,00

	solution, 7 x 8cm hot-swap redundant PWM cooling fan(s), 1280W RPSU			
3	Модуль SFP+ WDM, дальность до 3км (5dB), 1270нм	19	шт	42 843,48
4	Модуль SFP+ WDM, дальность до 3км (5dB), 1330нм	19	шт	42 843,48
5	Блок электрических розеток на 9 гнезд Schuko, шнур питания 2 м с вилкой C14	1	шт	1 309,48
6	Датчик температуры цифровой SNR-DTS-2	4	шт	823,84
7	Извещательпожарный ИП-212-43 МК	7	шт	10 465,00
8	Источник бесперебойного питания on-line серии Element 3000 VA, 72VDC	3	шт	119 700,00
9	Кабельный органайзер SNR-FB-ORG	4	шт	1 355,84
10	Коммутатор Cloud Router Switch Mikrotik 317-1G-16S+	2	шт	58 594,48
11	Коммутатор Cloud Router Switch Mikrotik CRS326-24G-2S+RM	2	шт	29 193,12
12	Комплект, состоящий из программатора и лицензии на программное обеспечение "SFPWriter".	1	шт	7 470,00
13	Крепежный набор для 19" оборудования SNR-CN-M6-16 (50шт)	2	шт	924,16
14	Модуль SNMPDL801 для ИБП	3	шт	13 949,04

15	ПатчкордLC-LC/UPC, SM, 3 метр	30	шт	2 694,60
16	Полка стационарная для шкафов глубиной 800мм, (глубина полки 550мм) распределенная нагрузка 20кг, цвет-серый (SNR-SHELF-08055-20G)	6	шт	5 070,00
17	Полукольцо вертикальное для организации кабельных жгутов	32	шт	3 490,88
18	Розеткауправляемая SNR-SMART-DIN-A	5	шт	3 412,40
19	Салазки SNR-UPS-RK для крепления в стойку ИБП серии SNR-UPS	3	шт	7 973,16
20	Сетеваякарта Intel X520-DA2 (SFP+, 10GBase-X, 2 ports, Low-profile)	5	шт	120 175,00
21	Стойка монтажная двухрамная 42U (2000x530x800мм) SNR-STK-S-7542	2	шт	14 939,60
22	Устройство удалённого контроля и управления SNR-ERD-4s, металл корпус, крепление DIN	4	шт	30 056,40
23	Шиназаземления 19"	2	шт	2 400,00

24	Кондиционер MS-GF60VA/MU-GF60VA/ зимний комплект	1	шт	145 440,00
25	Жесткий диск SeagateExos 12Tb 7.2k 512e/4kn 256MB 3.5" SAS	25	шт	721 050,00
26	Накопитель SSD Micron 5300MAX, 480Gb, SATA, 3D TLC, 2,5"	5	шт	74 282,40
27	RAID-контроллер Adaptec ASR-8885 SGL, 1Gb	1	шт	59 188,80
28	Батарея СуперконденсаторAdaptec AFM-700 Kit для ASR-7xxx/8xxx серии	1	шт	15 131,60
29	Кабель Adaptec ACK-E-HDmSAS-HDmSAS-2M SAS внешний, 2м., разъемы SFF8644 - SFF8644	2	шт	13 497,60
30	Кабель HDmSAS-HDmSAS 1м, внутренний	2	шт	4 943,04
31	IP-телефон Yealink W52P	2	шт	15 329,20
32	IP-телефон Yealink W56H	1	шт	6 466,84
33	Блок электрических розеток на 8 гнезд Schuko, без шнура питания с вилкой C14	1	шт	1 357,36
34	Жесткий диск SeagateExos 16Tb 7.2k 512e/4Kn 256MB 3.5" SATA	2	шт	79 420,00
35	Жесткий диск SeagateExos 2Tb 7.2k 512e 256MB 3.5" SATA	6	шт	56 179,20
36	Источник бесперебойного питания Line-Interactive, 1500 VA, настольный	3	шт	37 396,56
37	Кабель питания EU-Schuko/IEC320-C13, 220В, 10А, 3.0м	1	шт	450,00
38	Кронштейн MikrotiksolidMOUNT	2	шт	4 704,40
39	Маршрутизатор Mikrotik RB4011iGS+RM	1	шт	14 596,56
40	Муфта оптическая компактная серии SNR-FOSC-X	6	шт	5 093,52

41	Патчкорд LC-LC/UPC, SM, 10 метров	10	шт	1 230,90
42	Переносная точка доступа RBMQS для быстрой настройки со смартфона	1	шт	1 679,60
43	Сетевая карта 1 порт 10GBase-X SNR-E1P10GS	6	шт	46 393,44
44	Точка доступа MikroTikcAPac	1	шт	5 041,08
45	Точка доступа MikroTik LHG XL 2	1	шт	5 041,08

Общая сумма: 2 800 365 (Два миллиона восемьсот тысяч триста шестьдесят пять) рублей 14 копеек, в том числе НДС 466 727 (Четыреста шестьдесят шесть тысяч семьсот двадцать семь) рублей 52 копейки.

Срок поставки: в течение 120 (Сто двадцать) дней с момента подписания Договора.

Адрес поставки: г. Иркутск, б. Гагарина, 20, НИИПФ ИГУ

3. Модернизация энергосистемы УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ».

Энергосистема Тункинского астрофизического центра коллективного пользования ИГУ, на базе которого настоящее время действует УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ», начала создаваться в шестидесятые годы прошлого века, затем она получила некоторое развитие в связи со строительством широкоугольной черенковской установки Tunka-133, однако, силовой понижающий трансформатор, значительная часть кабельных коммуникаций, электроустановочные изделия по большей части имели возраст более 50 лет, не соответствовали современным требованиям безопасности, работали на пределе своих параметров по потребляемой мощности. Серьезной проблемой было отсутствие резервной системы электроснабжения на случай отключения электроэнергии, а также отсутствие молниезащиты. В этой связи коренная модернизация энергосистемы УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ» было одной из важнейших задач данного гранта.

В целях модернизации энергосистемы УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ» предполагалось приобрести и установить трансформаторную подстанцию типа КТПН 160 10 0.4. мощностью 160 кВт (на первом этапе была приобретена КТП мощностью 250 кВа). Для создания системы бесперебойного электроснабжения необходимо закупить следующее оборудование: дизельную электростанцию АД-100-Т400-2Р 100 кВт с автоматом ввода резерва (на первом этапе была приобретена Электростанция дизельная ЭД100-Т400-2РН мощностью 100 кВа с автоматом ввода резерва), инверторы DOMINATOR UPS 20 кВт 12шт. в стойке, аккумуляторы (инверторы и аккумуляторы было решено не приобретать, заменив их автоматом запуска электростанции 2-й степени автоматизации с пониженным временем срабатывания – приобретено на 1-м этапе), комплектующие, сервисное оборудование и термоизолированный блок-контейнер «СЕВЕР» (приобретено на первом этапе), смонтировать это оборудование и ввести в строй (оборудование смонтировано в 2020 –м году). Также были приобретены Комплекс молниезащиты установок и дополнительный Комплект контура заземления установок.

Таким образом, в 2020-м году в рамках модернизации энергосистемы были приобретены:

- Комплекс молниезащиты атмосферных черенковских телескопов № 1, № 2, № 3, № 4 установки TAIGA-IACT гамма-обсерватории TAIGA;
- Комплект контура заземления и элементов фундаментов для систем электрозащиты атмосферных черенковских телескопов № 1, № 2, № 3, № 4 установки TAIGA-IACT гамма-обсерватории TAIGA;
- Модуль модернизированной системы бесперебойного энергоснабжения (автоматика, ВРУ) УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ» (установки TAIGA-HiSCORE, Tunka-133, Master-600)»;

и выполнены работы:

- по монтажу системы электроснабжения 3-го атмосферного черенковского телескопа установки TAIGA-IACT гамма-обсерватории TAIGA, в составе КЛ-0.04 кВ ЧСД, ЦСД-4
- по монтажу, наладке, настройке и вводу в эксплуатацию модернизированной системы бесперебойного энергоснабжения УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ».

Поставка оборудования, проектные работы и монтаж были выполнены специализированной организацией в соответствии со следующими спецификациями и техническими заданиями.

Спецификация
к предмету закупки для нужд НИИПФ ИГУ
Комплекс молниезащиты атмосферных черенковских телескопов
№ 1, № 2, № 3, № 4 установки TAIGA-IACT гамма-обсерватории TAIGA

п/п	Наименование	Технические характеристики	Ед. изм.	Кол-во	Стоимость за ед.	Цена	Срок гарантии
1	КОМПЛЕКС молниезащиты	МА-T022-13 Молниеприемник на фундамент, h-13.0 м, алюминий	КОМПЛЕКТ	1	979 412,18	979 412,18	1 год с момента подписания Заказчиком акта сдачи-приемки товара

Общая сумма: 979 412 руб. 18 коп. (Девятьсот семьдесят девять тысяч четыреста двенадцать рублей 18 копеек). НДС не облагается, поскольку Подрядчик находится на упрощенной системе налогообложения

Срок поставки: 30 дней с момента подписания Договора.

Спецификация

к предмету закупки для нужд НИИПФ ИГУ

Комплект контура заземления и элементов фундаментов для систем электрозащиты атмосферных черенковских телескопов № 1, № 2, № 3, № 4 установки TAIGA-IACT гамма-обсерватории TAIGA

п/п	Наименование	Технические характеристики	Ед. изм.	Кол-во	Стоимость за ед.	Цена	Срок гарантии
1	комплект контура заземления и элементов фундаментов	СМП-Т051-15-М16 - стержень заземления d-14 мм, L-1.5 м, омедненная сталь Т005108 Т005110, МЛ-Т051-М16 - муфта соединительная М16, латунь Т005113, НС-Т051-М16 - наконечник для стержня заземления М16, сталь Т005102, ГУ-Т051-58 - головка удароприемная 5/8", сталь	комплект	1	817 680,00	817 680,00	1 год с момента подписания Заказчиком акта сдачи-приемки товара

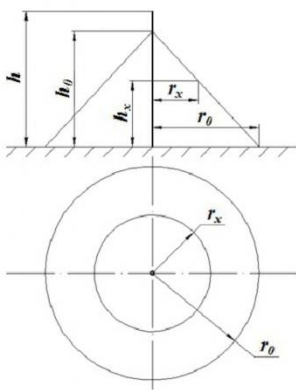
		Т000901, Насадка SDS- тах, сталь Т000333, Зажим универсальный для стержня d- 17.2мм, латунь 1024, Лента гидроизоляцион ная двухсторонняя а-50мм, L-10 м Т005161 , ПЭА- Т051-100 - паста электропроводя щая антикоррозионн ая, 0.1 кг. Полоса 5x40x6000 Сталь арматурная, горячекатаная, гладкая, класс А-I, диаметр 10 мм					
--	--	--	--	--	--	--	--

Общая сумма: 817 680руб. 00 коп. (Восемьсот семнадцать тысяч шестьсот восемьдесят рублей 00 копеек). НДС не облагается, поскольку Подрядчик находится на упрощенной системе налогообложения

Срок поставки: 30 дней с момента подписания Договора.

ПОЯСНЕНИЯ К РАСЧЕТУ

Стандартной зоной защиты одиночного стержневого молниеотвода высотой h является конус высотой $h_0 = h$, вершина которого совпадает с вертикальной осью молниеотвода. Габариты зоны определяются двумя параметрами: высотой конуса h_0 и радиусом конуса на уровне земли r_0 .



Приведенные ниже расчетные формулы пригодны для молниеотводов высотой до 150 м. Попуширина r_x зоны защиты требуемой надежности на высоте h_x от поверхности земли определяется выражением:

$$r_x = \frac{r_0 (h_0 - h_x)}{h_0}$$

Надежность защиты	Высота молниеотвода h , м	Высота конуса h_0 , м	Радиус конуса r_0 , м
0,9	От 0 до 100	$0,85h$	$1,2h$
	От 100 до 150	$0,85h$	$(1,2 \cdot 10^{-3}(h-100))h$
0,99	От 0 до 30	$0,8h$	$0,8h$
	От 30 до 100	$0,8h$	$(0,8 \cdot 1,43 \cdot 10^{-3}(h-30))h$
0,999	От 0 до 30	$0,7h$	$0,7h$
	От 30 до 100	$0,7h$	$(0,6 \cdot 1,43 \cdot 10^{-3}(h-30))h$
	От 100 до 150	$(0,65 \cdot 10^{-3}(h-100))h$	$(0,5 \cdot 2 \cdot 10^{-3}(h-100))h$

ПОЯСНЕНИЯ К РАСЧЕТУ

Молниеотвод считается двойным, когда расстояние между стержневыми молниеприемниками L не превышает предельной величины L_{\max} . В противном случае оба молниеотвода рассматриваются как одиночные.

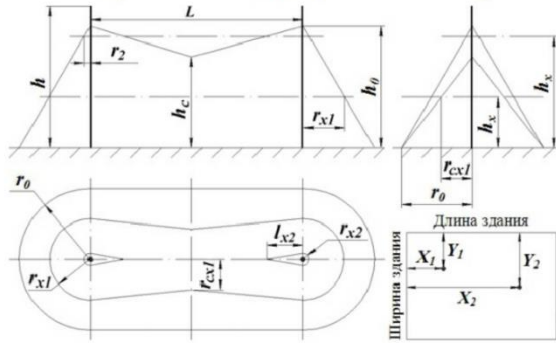
При расстоянии между молниеотводами $L < L_c$ граница зоны не имеет провеса ($h_c = h_0$). Для расстояний $L_{\text{отмд}}$ Высота провеса h_c определяется по формуле:

$$h_c = \frac{L_{\text{отмд}} - L}{L_{\text{отмд}} - L_c} h_0$$

Приведенные ниже расчетные формулы пригодны для молниеотводов высотой до 150 м. Размеры горизонтальных сечений зон вычисляются по следующим формулам:

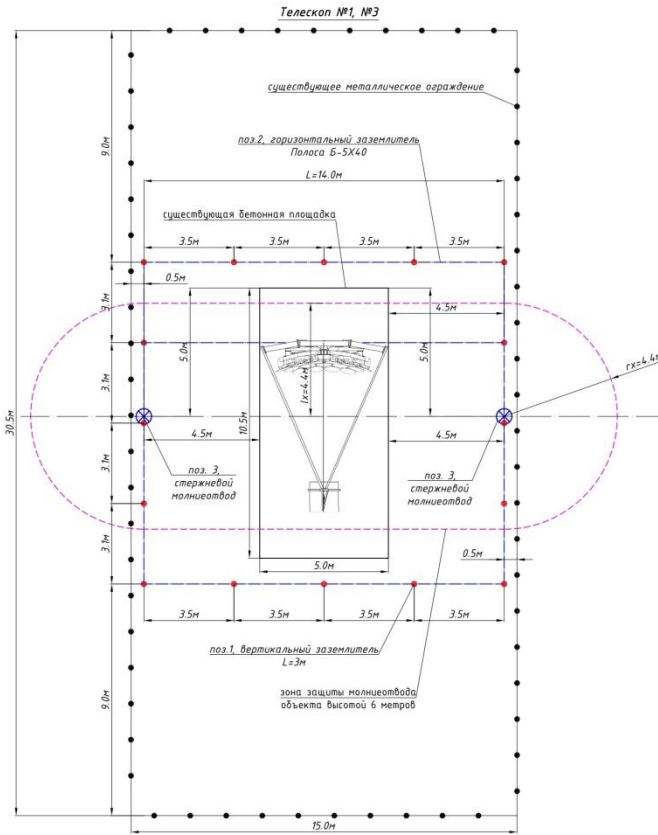
Максимальная попуширина зоны Длина горизонтального сечения Попуширина горизонтального сечения в центре между молниеотводами r_{cx} на высоте h_x :

$$r_x = \frac{r_0 (h_0 - h_x)}{h_0} \quad l_x = \frac{L (h_0 - h_x)}{2 (h_0 - h_c)} \quad r_{cx} = \frac{r_0 (h_c - h_x)}{h_c}$$



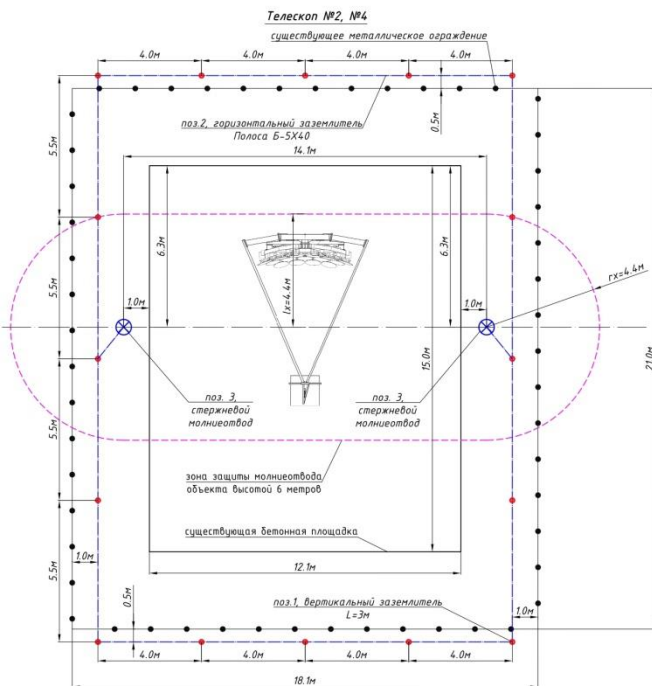
Расчет h_0 и r_0 производится также, как и для одиночных стержневых молниеотводов.

Надежность защиты	Высота молниеотвода h , м	$L_{\text{отмд}}$, м	L_c , м
0,9	От 0 до 30	$5,75h$	$2,5h$
	От 30 до 100	$(5,75 \cdot 3,57 \cdot 10^{-3}(h-30))h$	$2,5h$
	От 100 до 150	$5,5h$	$2,5h$
0,99	От 0 до 30	$4,75h$	$2,25h$
	От 30 до 100	$(4,75 \cdot 3,57 \cdot 10^{-3}(h-30))h$	$(2,25 \cdot 0,01007(h-30))h$
	От 100 до 150	$4,5h$	$1,5h$
0,999	От 0 до 30	$4,25h$	$2,25h$
	От 30 до 100	$(4,75 \cdot 3,57 \cdot 10^{-3}(h-30))h$	$(2,25 \cdot 0,01007(h-30))h$
	От 100 до 150	$4,0h$	$1,5h$



Марка, поз.	Обозначение	Наименование	Кол-во на один	Суммарное кол-во	Масса в кг	Примеч.
1	ГОСТ 103-2006	Полоса Б-5Х40	70	140	157	м
2	ГОСТ 8509-72	СПП-Т051-15-М16 - стержень заземления d=16 мм, L=15 м, оцинкованная сталь	32	64	2	шт
3		МА-Т022-13 Молниеприемник на фундаменте, h=13,0м, алюминий	2	4	39	комплект
4	ГОСТ 434-78	Счетчик ударов молнии ЛЕС-11 (ИР782050) Фундамент под молниеприемник	2	4		комплект
5		Соединительные муфты серии Т051 с резьбой серии ТЗЭИЗ	16	32		шт
7		Наконечники серии ИС-Т051 для обвешивания заземления наращиваемых заземляющих электродов в твердых грунтах при монтаже вертикальных заземлителей, ТЗЭИЗ	16	32		
8		Ударопривные головки серии ГЧ-Т051 для передачи ударных нагрузок на заземляющий электрод от испытателя при монтаже вертикальных заземлителей, ТЗЭИЗ	4	8		
9		Т009901 насадка SDS-так, сталь предназначена для передачи ударных нагрузок от оппайной молотка к погружаемому заземляющему электроду, ТЗЭИЗ	2	4		
10		ТТ00033 Зажим универсальный для стержня d=12 мм, латунь	12	24		
11		1024 Лента гидроизоляционная двухсторонняя a=50 мм, L=10 м	2	4		
12		Т005161 ПЭА-Т051-100 - паста электропроводящая антикоррозионная, 0,1 кг	4	8		

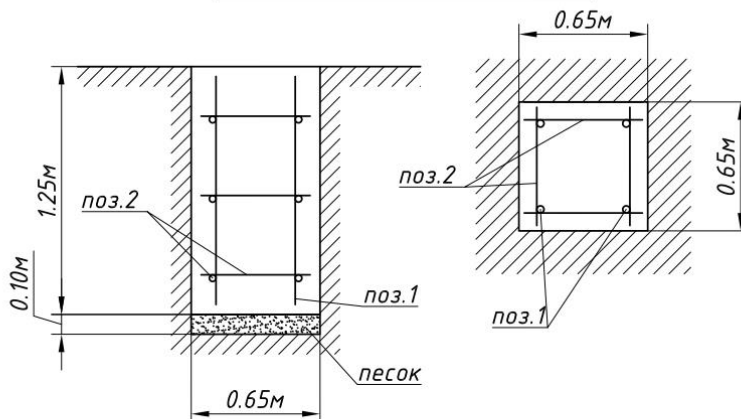
Расчет выполнен при минимально допустимом уровне надежности защиты от прямых ударов молнии 0,99.
 Расчет радиуса защиты молниеотвода:
 Высота защищаемого объекта h_0 составляет 6 метров.
 Высота молниеотвода $h=13$ м.
 Радиус конуса на уровне земли $r_0=0,8 \cdot h=0,8 \cdot 13=10,4$ м.
 $r_{cx}=r_0 \cdot (h_0 - h_x) / h_0 = 10,4 \cdot (10,4 - 6) / 10,4 = 4,4$ метра
 Расстояние между стержневыми молниеотводами $L=14$ метров.
 $L_c=2,25 \cdot h=2,25 \cdot 13=29,25$ м
 $L_{\max}=4,75 \cdot h=4,75 \cdot 13=61,75$ м
 В случае если $L < L_c$ граница зоны не имеет провеса $h_c=h_0=10,4$ м
 $r_x=10,4 \cdot (10,4 - 6) / 10,4 = 4,4$ метра



Марка поз	Обозначение	Наименование	Кол-во на один	Суммарное кол-во	Масса ед. кг	Примеч.
1	ГОСТ 103-2006	Полоса Б-5х4.0	95	190	157	м
2	ГОСТ 8509-72	СМП-Т051-15-116 – стержень заземления d=14 мм, L=15 м, оцинкованная сталь	32	64	2	шт
3		МА-Т022-13 Молниеприемник на фундаменте, h=13.0м, алюминий	2	4	39	комплект
4	ГОСТ 434-78	Счетчик ударов молнии ЛЕС-IV (ИР702050)	2	4		комплект
5		Фундамент под молниеприемник	2	4		шт
6		Соединительные муфты серии Т051 с резьбой серии, Т3ЭИЗ	16	32		
7		Наконечники серии ИС-Т051 для облегчения заглубления наращиваемых заземляющих электродов в твердые грунты при монтаже вертикальных заземлителей, Т3ЭИЗ	16	32		
8		Ударопривертывающие головки серии ГУ-Т051 для передачи ударных нагрузок на заземляющий электрод от инструмента при монтаже вертикальных заземлителей, Т3ЭИЗ	4	8		
9		Т000901 насадка SDS-тах, сталь предназначена для передачи ударных нагрузок от отбойного молотка к поперечному заземляющему электроду, Т3ЭИЗ	2	4		
10		Т100033 Зажим универсальный для стержня d=12.2 мм, латунь	12	24		
11		1024 Лента гидроизоляционная двухсторонняя а-50 мм, L=10 м	2	4		
12		Т005161 ПЗА-Т051-100 – паста электропроводящая антикоррозионная, 0.1 кг	4	8		

Расчет выполнен при минимально допустимом уровне надежности защиты от прямых ударов молнии 0.99.
 Расчет радиуса защиты молниеотвода:
 Высота защищаемого объекта (h_з) составляет 6 метров.
 Высота молниеотвода h=13м.
 Радиус конуса на уровне земли r_г=0.8*h=0.8*13=10.4м.
 Высота конуса h_к=0.8*h=0.8*13=10.4м.
 r_к=r_г*(h_к-h_з)/h_к=10.4*(10.4-6)/10.4=4.4метра
 Расстояние между стержнями молниеотводами (L) =14 метра.
 L_с=2.25*h=2.25*13=29.25м
 L_{тах}=4.75*h=4.75*13=61.75м
 В случае если L<L_с граница зоны не имеет провеса h_к=h_з=10.4м
 r_к=10.4*(10.4-6)/10.4=4.4м

Фундамент под молниеприемник



Спецификация элементов фундамента

Поз.	Обозначение	Наименование	Кол-во, на ед.	Масса ед., кг	Примечание
Детали					
1	ГОСТ 5781-82*	Ø10мм А-1 L=1150мм	4	0.708	шт
2	ГОСТ 5781-82*	Ø10мм А-1 L=550мм	12	0.339	шт
Материалы					
		Бетон В15, М300	0.6		м ³
	ГОСТ 3282-74	Увязочная проволока Ф2 L=150 мм	12		шт
		Песок	0.04		м ³

Спецификация

к предмету закупки для нужд НИИПФ ИГУ

«Модуль модернизированной системы бесперебойного энергоснабжения УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ» (установки TAIGA-HiSCORE, Tunka-133, Master-600)»

1. Общие положения.

- 1.1. Поставляемые товары должны быть новые, не бывшие в использовании, не из ремонта, если в техническом задании прямо не указано иное. Расходными материалами должны быть оригинальные и невосстановленные.
- 1.2. Товары по своим характеристикам должны соответствовать параметрам, приводимым в требованиях, перечисленных ниже.
- 1.3. Каждая единица оборудования, являющаяся отдельно производимым товаром, должна быть представлена описанием с указанием товарных знаков, знаков обслуживания, фирменных наименований, патентов, полезных моделей, промышленных образцов, наименования места происхождения товара или наименования производителя товара.
- 1.4. В цену товара должны быть включены все расходы Участника закупки по доставке, упаковке, маркировке, погрузке, транспортировке, разгрузке товаров, а также прочие расходы и налоги, уплаченные или подлежащие уплате. Цена контракта должна оставаться неизменной до момента исполнения обязательств по контракту.

2. Характеристики поставляемого товара и сопутствующих услуг.

Название и характеристики поставляемого товара (качественные и функциональные), требования к совместимости поставляемого товара с уже имеющимся у Заказчика (Количество, шт.).

- 2.1. Модуль модернизированной системы бесперебойного энергоснабжения УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ» (установки TAIGA-HiSCORE, Tunka-133, Master-600) должен быть совместим с комплексом энергоснабжения установок Тункинского астрофизического центра коллективного пользования ФГБОУ ВО ИГУ.
- 2.2. Совместно с модулем модернизированной системы бесперебойного энергоснабжения УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ» (установки TAIGA-HiSCORE, Tunka-133, Master-600) должны быть поставлены электротехнические изделия, необходимые для его монтажа, а именно:

		единица измерен ия	Кол- во
Комплектное оборудование			
1	Вводно-распределительное устройство ВРУ ЦСД	шт	1
2	Разъединитель РЛНД-1-10-400 с приводом ПРНЗ-10	шт	1

3	Автоматический выключатель ВА47-100 С63А	шт	1
Кабельно-проводниковая продукция			
4	Провод АС-50	м	9
5	АПвПУ-10 1*70/35	м	885
6	Кабель АВБбШв-1 4х185 ГОСТ	м	509
7	Кабель АВБбШв-1 4х 95 ГОСТ	м	10
8	Кабель АВБбШв-1 4х 25 ГОСТ	м	51
9	Кабель АВВГнг-ls 5х95 ГОСТ	м	13
10	Кабель ВВГнг-LS 3х 6 ГОСТ	м	15
11	Провод ПВ-3 1х95 ГОСТ	м	4
Кабельные изделия			
12	Муфта 1 ПКНТ-10 (70-120) с наконечниками (комплект на 3 фазы)	шт	1
13	Муфта 1 ПКВТ-10 (70-120) с наконечниками (компл. 3 фазы L-300)	шт	1
14	Муфта 4 ПКВ(Н)Тпб-1 (150-240) с наконечниками	шт	4
15	Муфта 4 ПКВ(Н)Тпб-1 (70-120) с наконечниками	шт	1
16	Муфта 5 ПКВ(Н)Тпб-1 (150-240) с наконечниками	шт	2
17	Муфта 4СТп-1- 70-120 с болтов соединит (4жилы до 1кВ) ЭРГ	шт	1
18	Наконечник ТМЛ 95-12-15	шт	4
19	Термотрубка ТУТнг-30/15 черная (КВТ) (5трубок=1м/упак=5м)	уп	1
Вспомогательные конструкции			
20	ПОЛОСА 4х50Х6000 СТЗПС ГОСТ 103-2006	кг	0,0628
21	УГОЛ Г/К 50Х5 СТЗСП 6000 ГОСТ 535	т	0,15834

2				
2		ПОЛОСА 4x40X6000 СТЗПС ГОСТ 103-2006	т	0,002 52
2	3	Шина медная М1Т 50x5 луженая 0,5 м	шт	1
2	4	КРУГ Г/К 10 СТЗ 12000 ГОСТ 2590-88	т	0,009 856
2	5	КРУГ Г/К 12 СТЗ 12000 ГОСТ 2590-88	т	0,022 873
2	6	КРУГ Г/К 18 СТЗ 12000 ГОСТ 2590-88	т	0,036
2	7	Хомут Х1	шт	4
2	8	Траверса ТМ1	шт	1
2	9	Кронштейн РА4	шт	1
3	0	Вал привода разъединителя	шт	2
3	1	Защита кабеля на опоре КМ240	шт	1
3	2	Конструкция крепления рамы и привода разъединителя	шт	1
3	3	Кронштейн Р2	шт	2
3	4	Кронштейн Р2Г2	шт	1
3	5	Конструкция крепления кабеля на опоре КМ7	шт	2
3	6	Оголовок ОГ-1	шт	1
Линейная арматура				
3	7	Изолятор ШС-10	шт	7
3		Зажим ПС-2-1	шт	11

8			
3 9	Колпачок К-7	шт	7
4 0	Зажим аппаратный А2А-50	шт	12
4 1	Зажим соединительный плашечный ПА-2-2А	шт	6
4 2	Ограничитель перенапряжений нелинейный ОПН-2-10/12,7	шт	3
4 3	Металлическая лента F207	м	3
4 4	Скрепка NC20	м	3

Стоимость товара (цена Договора): **1 027 990 (Один миллион двадцать семь тысяч девятьсот девяносто) рублей 02 копейки.** НДС не облагается, поскольку Поставщик находится на упрощенной системе налогообложения

Срок поставки товара: 30 дней с момента получения Поставщиком заявки Покупателя.

Адрес поставки товара: 671025, респ. Бурятия, Тункинский район, п. Торы, ТАЦКП ИГУ

Техническое задание

к предмету закупки для нужд НИИПФ ИГУ

«Выполнение работ по монтажу системы электроснабжения 3-го атмосферного черенковского телескопа установки TAIGA-IACT гамма-обсерватории TAIGA, в составе КЛ-0.04 кВ ЧСД, ЦСД-4».

1. Общие положения.

1.1. Работы по своим характеристикам должны соответствовать параметрам, приводимым в требованиях, перечисленных ниже.

1.2. В цену работы должны быть включены все расходы Исполнителя включая налоги, уплаченные или подлежащие уплате. Цена Договора должна оставаться неизменной до момента исполнения обязательств по контракту.

2. Характеристики выполняемых работ.

	ед. измерения	количество	стоимость рублей
1. Монтаж шкафа ВРУ-ЦСД, в том числе:			

Монтаж ВРУ	шт	1	1995,85
Разработка грунта вручную в траншеях глубиной до 2 м без креплений с откосами, группа грунтов: 2	100 м3	0,0128 (4*0,4*0,8) / 100	457,4
Засыпка вручную траншей, пазух котлованов и ям, группа грунтов: 1	100 м3	0,0128 (4*0,4*0,8) / 100	252,44
Затягивание провода в проложенные трубы и металлические рукава первого одножильного или многожильного в общей оплетке, суммарное сечение: до 35 мм2	100 м	0,1 10 / 100	288,58
Разводка по устройствам и подключение жил кабелей или проводов сечением: до 35 мм2	100 шт	0,08 8 / 100	912,96
Разводка по устройствам и подключение жил кабелей или проводов сечением: до 120 мм2	100 шт	0,04 4 / 100	826,48
используемые материалы:			
Подставка под ВРУ	т	0,03 30/1000	2901,4
Заземлитель вертикальный из круглой стали диаметром: 18 мм	10 шт	0,2 2 / 10	705,69
Заземлитель горизонтальный из стали: круглой диаметром 12 мм	100 м	0,04 4 / 100	245,23
Проводник заземляющий из медного изолированного провода сечением 95 мм2 открыто по строительным основаниям	100 м	0,01 1 / 100	94,17
Проводник заземляющий из медного изолированного провода сечением 95 мм2 открыто по строительным основаниям	100 м	0,01 1 / 100	94,17
Кабель до 35 кВ в проложенных трубах, блоках и коробах, масса 1 м кабеля: до 1 кг	100 м	0,1 10 / 100	337,23
Муфта концевая эпоксидная для 3-жильного кабеля напряжением: 1 кВ, сечение одной жилы до 185 мм2	шт	1	6167,24
Муфта соединительная эпоксидная для 3-4-жильного кабеля напряжением: до 10 кВ, сечение жил до 120	шт	1	2600,69

	мм2			
	Вводно-распределительное устройство ВРУ ЦСД	шт	1	29617,5
	Муфта 4КВТпН-1- 70-120 с наконеч (4жилы до 1кВ) ЭРГ	шт	1	2966,01
	Муфта 4СТп-1- 70-120 с болтов соединит (4жилы до 1кВ) ЭРГ	шт	1	5424,81
	Кабель ВВГнг-LS 4x25 ГОСТ 06FO1202A Z	м	10	8573,73
	Провод ПВ-3 1x95 ГОСТ	м	1	767,08
	Наконечник ТМЛ 25-8-7	шт	8	255,64
	Наконечник ТМЛ 95-12-15	шт	2	259,6
	Труба гофрир ПНД с тросом д.40 RUVINIL (24011) (15) чёрная с зондом тяжелая	бухта 15 м	1	1025,14
	Круг d12	кг	5,328 6*0,888	257,29
	Круг d18	кг	12 6*2	667,92
2. Монтаж шкафа ВРУ - АЧТ телескоп № 3, в том числе:				
	Монтаж ВРУ	шт	1	1995,85
	Разработка грунта вручную в траншеях глубиной до 2 м без креплений с откосами, группа грунтов: 2	100 м3	0,0128 (4*0,4*0,8) / 100	457,4
	Засыпка вручную траншей, пазух котлованов и ям, группа грунтов: 1	100 м3	0,0128 (4*0,4*0,8) / 100	252,44
	Разводка по устройствам и подключение жил кабелей или проводов сечением: до 120 мм2	100 шт	0,04 4 / 100	826,48
	используемые материалы:			-
	Муфта концевая эпоксидная для 3-жильного кабеля напряжением: 1 кВ, сечение одной жилы до 185 мм2	шт	2	12334,48
	Заземлитель вертикальный из круглой стали диаметром: 18 мм	10 шт	0,2 2 / 10	705,69
	Заземлитель горизонтальный из стали: круглой	100 м	0,04	245,23

	диаметром 12 мм		4 / 100	
	Проводник заземляющий из медного изолированного провода сечением 95 мм ² открыто по строительным основаниям	100 м	0,01 1 / 100	94,17
	Подставка под ВРУ	т	0,03 30/1000	2901,4
	Вводно-распределительное устройство ВРУ-телескоп № 3	шт	1	16500
	Муфта 4КВТпН-1- 70-120 с наконеч (4жилы до 1кВ) ЭРГ	шт	2	5932,01
	Провод ПВ-3 1х95 ГОСТ	м	1	767,08
	Наконечник ТМЛ 95-12-15	шт	2	259,6
	Круг d12	кг	5,328 6*0,888	257,29
	Круг d18	кг	12 6*2	667,92
3. Монтаж шкафа ВРУ-ЦСД № 4, в том числе:				
	Монтаж ВРУ	шт	1	1995,85
	Разработка грунта вручную в траншеях глубиной до 2 м без креплений с откосами, группа грунтов: 2	100 м ³	0,0128 (4*0,4*0,8) / 100	457,47
	Засыпка вручную траншей, пазух котлованов и ям, группа грунтов: 1	100 м ³	0,0128 (4*0,4*0,8) / 100	252,44
	Разводка по устройствам и подключение жил кабелей или проводов сечением: до 35 мм ²	100 шт	0,08 8 / 100	912,96
	Разводка по устройствам и подключение жил кабелей или проводов сечением: до 120 мм ²	100 шт	0,04 4 / 100	826,48
	Затягивание провода в проложенные трубы и металлические рукава первого одножильного или многожильного в общей оплетке, суммарное сечение: до 35 мм ²	100 м	0,1 10 / 100	288,58
используемые материалы:				
	Вводно-распределительное устройство ВРУ-ЦСД №	шт	1	16500

4				
Муфта 4КВТпН-1- 70-120 с наконеч (4жилы до 1кВ) ЭРГ	шт		1	2966,01
Кабель ВВГнг-LS 4x25 ГОСТ 06FO1202A Z	м		10	8573,73
Провод ПВ-3 1x95 ГОСТ	м		1	767,08
Наконечник ТМЛ 25-8-7	шт		8	255,64
Наконечник ТМЛ 95-12-15	шт		2	259,6
Труба гофрир ПНД с тросом д.40 RUVINIL (24011) (15) чёрная с зондом тяжелая	букта 15 м		1	1025,14
Круг d12	кг		5,328 6*0,888	257,29
Круг d18	кг		12 6*2	667,92
Кабель до 35 кВ в проложенных трубах, блоках и коробах, масса 1 м кабеля: до 1 кг	100 м		0,1 10 / 100	337,23
Муфта концевая эпоксидная для 3-жильного кабеля напряжением: 1 кВ, сечение одной жилы до 185 мм ²	шт		1	6167,24
Заземлитель вертикальный из круглой стали диаметром: 18 мм	10 шт		0,2 2 / 10	705,69
Заземлитель горизонтальный из стали: круглой диаметром 12 мм	100 м		0,04 4 / 100	245,23
Проводник заземляющий из медного изолированного провода сечением 95 мм ² открыто по строительным основаниям	100 м		0,01 1 / 100	94,17
Подставка под ВРУ	т		0,03 30/1000	2901,4
Итого прямые затраты:				158348,44
Итого прямые затраты по смете с учетом коэффициентов к итогам				162954,2
В том числе, справочно:				
Транспортные расходы МАТ=3%				3428,61
Заготовительно-складские расходы МАТ=1%				1177,15
Накладные расходы				21701,09

	Сметная прибыль			13230,73
	Командировочные расходы			12793,16
	Итого:			210679,18
	НДС на материалы при УСН			27945,6
	ВСЕГО:			238 624,78

3. Срок выполнения работ – 1 месяц со дня подписания Договора.

4. **Список документации, передаваемой вместе с товаром:**

После выполнения работ Поставщик обязан предоставить Заказчику счет и все необходимые сопроводительные документы по цене, указанной в договоре.

5. **Выполнение работ по данной закупке является целой и неделимой.**

6. **Адрес по которому производится передача документов в рамках выполняемых работ:** респ. Бурятия, Тункинский район, п.Торы, ТАЦКП ИГУ

Техническое задание

к предмету закупки для нужд НИИПФ ИГУ

«Выполнение работ по монтажу, наладке, настройке и вводу в эксплуатацию модернизированной системы бесперебойного энергоснабжения УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ»».

1. Общие положения.

1.1. Работы по своим характеристикам должны соответствовать параметрам, приводимым в требованиях, перечисленных ниже.

1.2. В цену работы должны быть включены все расходы Исполнителя включая налоги, уплаченные или подлежащие уплате. Цена Договора должна оставаться неизменной до момента исполнения обязательств по договору.

2. Характеристики выполняемых работ (качественные и количественные).

№ пп	Обоснование	Наименование	Ед. изм.	Сметная стоимость в текущих (прогнозных) ценах, руб.		
				всего	на ед.	общая
1	2	3	4	6	7	8
Раздел 1. Строительно-монтажные работы по ВЛ-10 кВ						
1	ГЭСН33-04-016-02	Развозка конструкций и материалов опор ВЛ 0,38-10 кВ по трассе: одностоечных железобетонных опор	шт	1	630,66	630,66

2	ГЭСН33-04-016-05	Развозка конструкций и материалов опор ВЛ 0,38-10 кВ по трассе: материалов оснастки одностоечных опор	шт	1	173,61	173,61
3	ГЭСН33-04-003-01	Установка железобетонных опор ВЛ 0,38; 6-10 кВ с траверсами без приставок: одностоечных	шт	1	2002,76	2002,76
4	ГЭСН33-04-030-03	Установка разъединителей: с помощью механизмов	компл.	1	3525,44	3525,44
5	ГЭСН33-04-030-01	Установка разрядников: с помощью механизмов	компл.	1	2034,82	2034,82
6	ГЭСНм08-02-152-03	Монтаж кронштейна Р2, Р2Г	т	0,00444 1,48*3/10 00	10825,56	48,07
7	ГЭСН33-04-015-01	Проводник ЗП круг 10 мм	10 м	1,6 16 / 10	628,35	1005,36
8	ВУЕР_РС-3-17	Устройство спусков от ВЛ до первой опоры с РЛНД напряжением 1-20 кВ количество проводов в спуске 3	1 спуск	1	1493,46	1493,46
9	ГЭСНм08-02-152-03	Монтаж защиты кабеля на опоре КМ240	т	0,03493 34,93/100 0	10825,56	378,14
10	ГЭСНм08-02-152-03	Монтаж крепления кабеля на опоре КМ-7	т	0,0658 32,9*2/10 00	10825,56	712,32
Раздел 2. Контур заземления ВЛ-10 кВ						
11	ГЭСН01-02-057-02	Разработка грунта вручную в траншеях глубиной до 2 м без креплений с откосами, группа грунтов: 2	100 м3	0,024 (7,5*0,4* 0,8) / 100	32486,3	779,67
12	ГЭСНм08-02-471-04	Заземлитель вертикальный из круглой стали диаметром: 18 мм	10 шт	0,2 2 / 10	3506,27	701,25
13	ГЭСНм08-02-472-01	Заземлитель горизонтальный из стали: круглой диаметром 12 мм	100 м	0,087 8,7 / 100	6235,77	542,51
14	ГЭСН01-02-061-01	Засыпка вручную траншей, пазух котлованов и ям, группа грунтов: 1	100 м3	0,024 (7,5*0,4* 0,8) / 100	17929,22	430,3
Раздел 3. Высоковольтные испытания по ВЛ-10 кВ						
15	ГЭСНп01-11-010-01	Измерение сопротивления растеканию тока: заземлителя	измерение	1	422,61	422,61

16	ГЭСНп01-11-010-03	Измерение сопротивления растеканию тока: контура с диагональю до 200 м	измерение	1	1122,34	1122,34
17	ГЭСНп01-11-011-01	Проверка наличия цепи между заземлителями и заземленными элементами	100 измерений	0,11 11 / 100	4489,34	493,83
18	ГЭСНп01-03-005-01	Разъединитель трехполюсный напряжением: до 20 кВ	шт	1	1787,48	1787,48
19	ГЭСНп01-11-027-02	Измерение токов утечки: ограничителя напряжения	измерение	3	699,73	2099,19
Раздел 4. Монтаж опоры с молниеводом						
20	ГЭСН33-04-016-02	Развозка конструкций и материалов опор ВЛ 0,38-10 кВ по трассе: одностоечных железобетонных опор	шт	1	630,66	630,66
21	ГЭСН33-04-016-05	Развозка конструкций и материалов опор ВЛ 0,38-10 кВ по трассе: материалов оснастки одностоечных опор	шт	1	173,61	173,61
22	ГЭСН33-04-003-01	Установка железобетонных опор ВЛ 0,38; 6-10 кВ с траверсами без приставок: одностоечных	шт	1	2002,76	2002,76
23	ГЭСНм08-02-152-03	Монтаж оголока ОГ1	т	0,02144 21,44/100 0	10825,56	232,1
24	ГЭСН33-04-015-01	Проводник ЗП круг 12 мм	10 м	1 10 / 10	628,35	628,35
Раздел 5. Высоковольтные испытания по молниеводу						
25	ГЭСНп01-11-010-01	Измерение сопротивления растеканию тока: заземлителя	измерение	1	422,61	422,61
26	ГЭСНп01-11-010-03	Измерение сопротивления растеканию тока: контура с диагональю до 200 м	измерение	1	1122,34	1122,34
27	ГЭСНп01-11-011-01	Проверка наличия цепи между заземлителями и заземленными элементами	100 измерений	0,04 4 / 100	4489,34	179,57
Раздел 6. Строительно-монтажные работы по ДЭС-100 кВт						
28	ГЭСН01-02-057-02	Разработка грунта вручную в траншеях глубиной до 2 м без креплений с откосами, группа грунтов: 2	100 м3	0,135415 (5,3*3,65 *0,7) / 100	32486,3	4399,13

29	ГЭСН47-01-001-02	Планировка участка: вручную	100 м2	0,19345 (5,3*3,65) / 100	2151,69	416,24
30	ГЭСН08-01-002-03	Устройство основания под фундаменты: гравийного	м3	5,8035 5,3*3,65* 0,3	1021,18	5926,42
31	ГЭСН06-01-001-22	Устройство ленточных фундаментов железобетонных при ширине по верху до 1000 мм	100 м3	0,024 2,4 / 100	175782,59	4218,78
32	ГЭСН08-01-003-07	Гидроизоляция боковая обмазочная битумная в 2 слоя по выровненной поверхности бутовой кладки, кирпичу, бетону	100 м2	0,1778 (4,3*0,7* 2+2,65*0, 7*2+3,7* 0,7*2+2,0 5*0,7*2)/ 100	16689,88	2967,46
33	ГЭСН01-02-061-01	Засыпка вручную траншей, пазух котлованов и ям, группа грунтов 1	100 м3	0,04865 (4,3*0,7* 0,5*2+2,6 5*0,7*0,5 *2)/100	17929,22	872,26
34	ГЭСНм37-01-013-09	Монтаж ДЭС-100 кВт	шт	1	60010,68	60010,68
Раздел 7. Высоковольтные испытания и наладочные работы по ДЭС						
35	ГЭСНп01-11-010-01	Измерение сопротивления растеканию тока: заземлителя	измерение	1	422,61	422,61
36	ГЭСНп01-11-010-03	Измерение сопротивления растеканию тока: контура с диагональю до 200 м	измерение	1	1122,34	1122,34
37	ГЭСНп01-11-011-01	Проверка наличия цепи между заземлителями и заземленными элементами	100 измерений	0,04 4 / 100	4489,34	179,57
38	ГЭСНп01-05-015-01	Устройство АВР: со схемой восстановления напряжения	шт	1	7158,5	7158,5
39	ГЭСНп01-03-002-05	Выключатель трехполюсный напряжением до 1 кВ с: электромагнитным, тепловым или комбинированным расцепителем, номинальный ток до 200 А	шт	4	685,46	2741,84

40	ГЭСНп01-03-002-04	Выключатель трехполюсный напряжением до 1 кВ с: электромагнитным, тепловым или комбинированным расцепителем, номинальный ток до 50 А	шт	1	456,98	456,98
41	ГЭСНп01-01-001-02	Генератор синхронный напряжением: до 1 кВ, мощностью свыше 100 кВт	шт	1	26055,55	26055,55
Раздел 8. Строительно-монтажные работы по КТПН-250 кВт						
42	ГЭСН01-02-057-02	Разработка грунта вручную в траншеях глубиной до 2 м без креплений с откосами, группа грунтов: 2	100 м3	0,07462 (4,1*2,6*0,7)/100	32486,3	2424,13
43	ГЭСН47-01-001-02	Планировка участка: вручную	100 м2	0,1066 (4,1*2,6)/100	2151,69	229,37
44	ГЭСН08-01-002-03	Устройство основания под фундаменты: гравийного	м3	3,198 4,1*2,6*0,3	1021,18	3265,73
45	ГЭСН06-01-001-22	Устройство ленточных фундаментов железобетонных при ширине по верху до 1000 мм	100 м3	0,015 1,5/100	175782,59	2636,74
46	ГЭСН08-01-003-07	Гидроизоляция боковая обмазочная битумная в 2 слоя по выровненной поверхности бутовой кладки, кирпичу, бетону	100 м2	0,1148 (3,1*0,7*2+1,6*0,7*2+1*0,7*2+2,5*0,7*2)/100	16689,88	1916
47	ГЭСН01-02-061-01	Засыпка вручную траншей, пазух котлованов и ям, группа грунтов 1	100 м3	0,0469 (4,1*0,7*0,5*2+2,6*0,7*0,5*2)/100	17929,22	840,88
48	ГЭСНм08-01-025-01	Подстанция комплектная трансформаторная напряжением до 10 кВ с трансформатором мощностью: до 400 кВ·А	шт	1	19799,89	19799,89
49	ГЭСН23-01-003-01	Укладка трубопроводов из хризотилцементных безнапорных труб диаметром до 150 мм	км	0,004 (6*0,5+2*0,5)/100 0	506729,58	2026,92

Раздел 9. Контур заземления КТПН-250, ДЭС-100 и молниеотвода						
50	ГЭСН01-02-057-02	Разработка грунта вручную в траншеях глубиной до 2 м без креплений с откосами, группа грунтов: 2	100 м ³	0,128 (40*0,4*0,8) / 100	32486,3	4158,25
51	ГЭСНм08-02-471-01	Заземлитель вертикальный из угловой стали размером: 50x50x5 мм	10 шт	1,2 12 / 10	4201,99	5042,39
52	ГЭСНм08-02-472-01	Заземлитель горизонтальный из стали: круглой диаметром 12 мм	100 м	0,087 8,7 / 100	6235,77	542,51
53	ГЭСНм08-02-472-02	Заземлитель горизонтальный из стали: полосовой сечением 160 мм ²	100 м	0,4 40 / 100	6629,32	2651,73
54	ГЭСН01-02-061-01	Засыпка вручную траншей, пазух котлованов и ям, группа грунтов: 1	100 м ³	0,128 (40*0,4*0,8) / 100	17929,22	2294,94
55	ГЭСНм08-02-472-07	Проводник заземляющий открыто по строительным основаниям: из полосовой стали сечением 160 мм ²	100 м	0,02 2 / 100	7447	148,94
Раздел 10. Высоковольтные испытания и наладочные работы						
56	ГЭСНп01-02-002-01	Трансформатор силовой трехфазный масляный двухобмоточный напряжением: до 11 кВ, мощностью до 0,32 МВА	шт	1	2206,54	2206,54
57	ГЭСНп01-12-010-01	Испытание: обмотки трансформатора силового	испытание	2	848,79	1697,58
58	ГЭСНп01-11-025-01	Измерение коэффициента: абсорбции обмоток трансформаторов и электрических машин	измерение	2	561,17	1122,34
59	ГЭСНп01-12-020-01	Испытание сборных и соединительных шин напряжением: до 11 кВ	испытание	6	2258,93	13553,58
60	ГЭСНп01-11-022-01	Измерение активного, индуктивного сопротивлений и емкости электрических машин и аппаратов	измерение	6	138,56	831,36
61	ГЭСНп01-03-005-01	Разъединитель трехполюсный напряжением: до 20 кВ	шт	2	1787,48	3574,96
62	ГЭСНп01-11-010-01	Измерение сопротивления растеканию тока: заземлителя	измерение	1	422,61	422,61

63	ГЭСНп01-11-010-02	Измерение сопротивления растеканию тока: контура с диагональю до 20 м	измерение	1	561,17	561,17
64	ГЭСНп01-11-011-01	Проверка наличия цепи между заземлителями и заземленными элементами	100 измерений	0,1	4489,34	448,93
Раздел 11. Монтаж шкафа ВРУ-ЦСД						
65	ГЭСНм08-01-087-03	Подставка под ВРУ	т	0,03 30/1000	90509,74	2715,29
66	ГЭСНм08-03-573-02	Монтаж ВРУ	шт	1	2014	2014
67	ГЭСН01-02-057-02	Разработка грунта вручную в траншеях глубиной до 2 м без креплений с откосами, группа грунтов: 2	100 м3	0,0128 (4*0,4*0,8) / 100	32486,3	415,82
68	ГЭСНм08-02-471-04	Заземлитель вертикальный из круглой стали диаметром: 18 мм	10 шт	0,2 2 / 10	3506,27	701,25
69	ГЭСНм08-02-472-01	Заземлитель горизонтальный из стали: круглой диаметром 12 мм	100 м	0,04 4 / 100	6235,77	249,43
70	ГЭСНм08-02-472-10	Проводник заземляющий из медного изолированного провода сечением 95 мм ² открыто по строительным основаниям	100 м	0,01 1 / 100	8558,77	85,59
71	ГЭСН01-02-061-01	Засыпка вручную траншей, пазух котлованов и ям, группа грунтов: 1	100 м3	0,0128 (4*0,4*0,8) / 100	17929,22	229,49
Раздел 12. Высоковольтные испытания и наладочные работы по ВРУ						
72	ГЭСНп01-11-010-01	Измерение сопротивления растеканию тока: заземлителя	измерение	1	422,61	422,61
73	ГЭСНп01-11-010-03	Измерение сопротивления растеканию тока: контура с диагональю до 200 м	измерение	1	1122,34	1122,34
74	ГЭСНп01-11-011-01	Проверка наличия цепи между заземлителями и заземленными элементами	100 измерений	0,02 2 / 100	4489,34	89,79
75	ГЭСНп01-03-002-05	Выключатель трехполюсный напряжением до 1 кВ с: электромагнитным, тепловым или комбинированным расцепителем, номинальный ток до 200 А	шт	4	685,46	2741,84
Раздел 13. Строительно-монтажные работы по КЛ-10 кВ (оп. 17/1 до РУ-10 кВ КТПН-2050)						

76	ГЭСН01-02-057-02	Разработка грунта вручную в траншеях глубиной до 2 м без креплений с откосами, группа грунтов: 2	100 м ³	1,104 (276*0,4*1)/100	32486,3	35864,88
77	ГЭСНм08-02-142-01	Устройство постели при одном кабеле в траншее	100 м	2,76 276 / 100	5123,28	14140,25
78	ГЭСНм08-02-143-03	Покрытие кабеля, проложенного в траншее: плитами одного кабеля	100 м	2,76 276 / 100	5982,09	16510,57
79	ГЭСНм08-02-141-01	Кабель до 35 кВ в готовых траншеях без покрытий, масса 1 м: до 1 кг	100 м	8,4456 (276*3*1,02)/100	4172,38	35238,25
80	ГЭСНм08-02-145-01	Кабель до 35 кВ, прокладываемый по дну канала без креплений, масса 1 м кабеля: до 1 кг	100 м	0,0918 (3*3*1,02)/100	2597,72	238,47
81	ГЭСНм08-02-146-02	Кабель до 35 кВ с креплением накладными скобами, масса 1 м кабеля: до 1 кг	100 м	0,306 (10*3*1,02)/100	8761,26	2680,95
82	ГЭСНм08-02-165-06	Муфта концевая для 3-жильного кабеля напряжением: до 10 кВ, сечение одной жилы до 70 мм ²	шт	2	5555,06	11110,12
83	ГЭСНм08-03-574-04	Разводка по устройствам и подключение жил кабелей или проводов сечением: до 70 мм ²	100 шт	0,06 6 / 100	14113,27	846,8
84	ГЭСН01-02-061-01	Засыпка вручную траншей, пазух котлованов и ям, группа грунтов: 1	100 м ³	0,7728 (276*0,4*0,7)/100	17929,22	13855,7
Раздел 14. Высоковольтные испытания и наладочные работы по КЛ-10 кВ						
85	ГЭСНп01-12-027-01	Испытание кабеля силового длиной до 500 м напряжением: до 10 кВ	испытание	3	1506,5	4519,5
86	ГЭСНп01-11-024-02	Фазировка электрической линии или трансформатора с сетью напряжением: свыше 1 кВ	шт	3	561,17	1683,51
Раздел 15. Строительно-монтажные работы по КЛ-0,4 кВ (АВР в ДЭС до ВРУ-ЦСД)						
87	ГЭСН01-02-057-02	Разработка грунта вручную в траншеях глубиной до 2 м без креплений с откосами, группа грунтов: 2	100 м ³	1,92 (480*0,4*1)/100	32486,3	62373,7
88	ГЭСНм08-02-142-01	Устройство постели при одном кабеле в траншее	100 м	4,8 480 / 100	5123,28	24591,74
89	ГЭСНм08-02-143-03	Покрытие кабеля, проложенного в траншее: плитами одного кабеля	100 м	4,8 480 / 100	5982,09	28714,03

90	ГЭСНм08-02-141-01	Кабель до 35 кВ в готовых траншеях без покрытий, масса 1 м: до 1 кг	100 м	4,896 (480*1,02))/100	4172,38	20427,97
91	ГЭСНм08-02-145-01	Кабель до 35 кВ, прокладываемый по дну канала без креплений, масса 1 м кабеля: до 1 кг	100 м	0,0612 (3*2*1,02))/100	2597,72	158,98
92	ГЭСНм08-02-165-03	Муфта концевая эпоксидная для 3-жильного кабеля напряжением: 1 кВ, сечение одной жилы до 185 мм ²	шт	2	5641,19	11282,38
93	ГЭСНм08-03-574-08	Разводка по устройствам и подключение жил кабелей или проводов сечением: до 185 мм ²	100 шт	0,08 8/100	27126,84	2170,15
94	ГЭСН01-02-061-01	Засыпка вручную траншей, пазух котлованов и ям, группа грунтов: 1	100 м ³	1,344 (480*0,4* 0,7)/100	17929,22	24096,87
95	ГЭСН27-11-006-01	Устройство временных настилов для предотвращения попадания домашнего скота в траншею размером 1,6х0,6 м	шт	22	1141,63	25115,95

Раздел 16. Высоковольтные испытания и наладочные работы по КЛ-0,4 кВ

96	ГЭСНп01-12-027-07	Испытание кабеля силового длиной до 500 м напряжением до 1 кВ	испытание	4	753,25	3013
97		Стойка СВ105-5	шт	2	8970	17940
98	ГЭСНп01-11-024-01	Фазировка электрической линии или трансформатора с сетью напряжением: до 1 кВ	шт	4	284,04	1136,16

Раздел 17. Строительно-монтажные работы по КЛ-0,4 кВ (гр.4 РУ-0,4 кВ КТПН до АВР ДЭС)

99	ГЭСН01-02-057-02	Разработка грунта вручную в траншеях глубиной до 2 м без креплений с откосами, группа грунтов: 2	100 м ³	0,028 (7*0,4*1) /100	32486,3	909,62
100	ГЭСНм08-02-142-01	Устройство постели при одном кабеле в траншее	100 м	0,07 7/100	5123,28	358,63
101	ГЭСНм08-02-143-03	Покрытие кабеля, проложенного в траншее: плитами одного кабеля	100 м	0,07 7/100	5982,09	418,75
102	ГЭСНм08-02-141-01	Кабель до 35 кВ в готовых траншеях без покрытий, масса 1 м: до 1 кг	100 м	0,0714 (7*1,02)/ 100	4172,38	297,91
103	ГЭСНм08-02-145-01	Кабель до 35 кВ, прокладываемый по дну канала без креплений, масса	100 м	0,0612 (3*2*1,02)	2597,72	158,98

		1 м кабеля: до 1 кг) / 100		
104	ГЭСНм08-02-165-03	Муфта концевая эпоксидная для 3-жильного кабеля напряжением: 1 кВ, сечение одной жилы до 185 мм ²	шт	2	5641,19	11282,38
105	ГЭСНм08-03-574-08	Разводка по устройствам и подключение жил кабелей или проводов сечением: до 185 мм ²	100 шт	0,08 8 / 100	27126,84	2170,15
106	ГЭСН01-02-061-01	Засыпка вручную траншей, пазух котлованов и ям, группа грунтов: 1	100 м ³	0,0196 (7*0,4*0,7) / 100	17929,22	351,41
Раздел 18. Высоковольтные испытания и наладочные работы по КЛ-0,4 кВ						
107	ГЭСНп01-12-027-07	Испытание кабеля силового длиной до 500 м напряжением до 1 кВ	испытание	4	753,25	3013
108	ГЭСНп01-11-024-01	Фазировка электрической линии или трансформатора с сетью напряжением: до 1 кВ	шт	4	284,04	1136,16
Раздел 19. Строительно-монтажные работы по КЛ-0,4 кВ (гр.3 РУ-0,4 кВ КТПН до т. соединительная муфта)						
109	ГЭСН01-02-057-02	Разработка грунта вручную в траншеях глубиной до 2 м без креплений с откосами, группа грунтов: 2	100 м ³	0,028 (7*0,4*1) / 100	32486,3	909,62
110	ГЭСНм08-02-142-01	Устройство постели при одном кабеле в траншее	100 м	0,07 7 / 100	5123,28	358,63
111	ГЭСНм08-02-143-03	Покрытие кабеля, проложенного в траншее: плитами одного кабеля	100 м	0,07 7 / 100	5982,09	418,75
112	ГЭСНм08-02-141-01	Кабель до 35 кВ в готовых траншеях без покрытий, масса 1 м: до 1 кг	100 м	0,0714 (7*1,02) / 100	4172,38	297,91
113	ГЭСНм08-02-145-01	Кабель до 35 кВ, прокладываемый по дну канала без креплений, масса 1 м кабеля: до 1 кг	100 м	0,0306 (3*1,02) / 100	2597,72	79,49
114	ГЭСНм08-02-165-03	Муфта концевая эпоксидная для 3-жильного кабеля напряжением: 1 кВ, сечение одной жилы до 185 мм ²	шт	1	5641,19	5641,19
115	ГЭСНм08-03-574-08	Разводка по устройствам и подключение жил кабелей или проводов сечением: до 185 мм ²	100 шт	0,04 4 / 100	27126,84	1085,07

116	ГЭСН01-02-061-01	Засыпка вручную траншей, пазух котлованов и ям, группа грунтов: 1	100 м3	0,0196 (7*0,4*0,7) / 100	17929,22	351,41
117	ГЭСН01-02-057-02	Разработка грунта вручную в траншеях глубиной до 2 м без креплений с откосами, группа грунтов: 2 (расширение траншеи для монтажа соединительной муфты)	100 м3	0,075 (5*1,5*1) / 100	32486,3	2436,47
118	ГЭСНм08-02-167-03	Муфта соединительная для 3-5-жильного кабеля напряжением до 1 кВ, сечение одной жилы до 120 мм2	шт	1	2309,15	2309,15
119	ГЭСН01-02-061-01	Засыпка вручную траншей, пазух котлованов и ям, группа грунтов: 1	100 м3	0,075 (5*1,5*1) / 100	17929,22	1344,69
Раздел 20. Высоковольтные испытания и наладочные работы по КЛ-0,4 кВ						
120	ГЭСНп01-12-027-07	Испытание кабеля силового длиной до 500 м напряжением до 1 кВ	испытание	4	753,25	3013
121	ГЭСНп01-11-024-01	Фазировка электрической линии или трансформатора с сетью напряжением: до 1 кВ	шт	4	284,04	1136,16
Раздел 21. Строительно-монтажные работы по КЛ-0,4 кВ (АВР ДЭС до ВРУ лаборатория)						
122	ГЭСН01-02-057-02	Разработка грунта вручную в траншеях глубиной до 2 м без креплений с откосами, группа грунтов: 2	100 м3	0,176 (44*0,4*1) / 100	32486,3	5717,59
123	ГЭСНм08-02-142-01	Устройство постели при одном кабеле в траншее	100 м	0,44 44 / 100	5123,28	2254,24
124	ГЭСНм08-02-143-03	Покрытие кабеля, проложенного в траншее: плитами одного кабеля	100 м	0,44 44 / 100	5982,09	2632,12
125	ГЭСНм08-02-141-01	Кабель до 35 кВ в готовых траншеях без покрытий, масса 1 м: до 1 кг	100 м	0,4488 (44*1,02) / 100	4172,38	1872,56
126	ГЭСНм08-02-145-01	Кабель до 35 кВ, прокладываемый по дну канала без креплений, масса 1 м кабеля: до 1 кг	100 м	0,0612 (3*2*1,02) / 100	2597,72	158,98
127	ГЭСНм08-02-165-01	Муфта концевая эпоксидная для 3-жильного кабеля напряжением: 1 кВ, сечение одной жилы до 35 мм2	шт	2	4006,24	8012,48
128	ГЭСНм08-	Разводка по устройствам и	100 шт	0,08	11883,46	950,68

	03-574-03	подключение жил кабелей или проводов сечением: до 35 мм ²		8 / 100		
129	ГЭСН01-02-061-01	Засыпка вручную траншей, пазух котлованов и ям, группа грунтов: 1	100 м ³	0,1232 (44*0,4*0,7) / 100	17929,22	2208,88
Раздел 22. Высоковольтные испытания и наладочные работы по КЛ-0,4 кВ						
130	ГЭСНп01-12-027-07	Испытание кабеля силового длиной до 500 м напряжением до 1 кВ	испытание	4	753,25	3013
131	ГЭСНп01-11-024-01	Фазировка электрической линии или трансформатора с сетью напряжением: до 1 кВ	шт	4	284,04	1136,16
Раздел 23. Строительно-монтажные работы по КЛ-0,4 кВ (гр.1 РЦ0,4 кВ КТПН до щит СН-ДЭС)						
132	ГЭСН01-02-057-02	Разработка грунта вручную в траншеях глубиной до 2 м без креплений с откосами, группа грунтов: 2	100 м ³	0,028 (7*0,4*1) / 100	32486,3	909,62
133	ГЭСНм08-02-142-01	Устройство постели при одном кабеле в траншее	100 м	0,07 7 / 100	5123,28	358,63
134	ГЭСНм08-02-143-03	Покрытие кабеля, проложенного в траншее: плитами одного кабеля	100 м	0,07 7 / 100	5982,09	418,75
135	ГЭСН22-01-021-01	Укладка трубопроводов из полиэтиленовых труб диаметром: 50 мм	км	0,007 7/1000	72097,68	504,68
136	ГЭСНм08-02-148-01	Кабель до 35 кВ в проложенных трубах, блоках и коробах, масса 1 м кабеля: до 1 кг	100 м	0,0714 (7*1,02) / 100	3533,55	252,3
137	ГЭСНм08-02-145-01	Кабель до 35 кВ, прокладываемый по дну канала без креплений, масса 1 м кабеля: до 1 кг	100 м	0,0816 (8*1,02) / 100	2597,72	211,97
138	ГЭСНм08-02-158-11	Заделка концевая сухая для контрольного кабеля сечением одной жилы: до 6 мм ² , количество жил до 4	шт	2	197,94	395,88
139	ГЭСНм08-03-574-03	Разводка по устройствам и подключение жил кабелей или проводов сечением: до 35 мм ²	100 шт	0,06 6 / 100	11883,46	713,01
140	ГЭСН01-02-061-01	Засыпка вручную траншей, пазух котлованов и ям, группа грунтов: 1	100 м ³	0,0196 (7*0,4*0,7) / 100	17929,22	351,41
Раздел 24. Высоковольтные испытания и наладочные работы по КЛ-0,4 кВ						

141	ГЭСНп01-12-027-07	Испытание кабеля силового длиной до 500 м напряжением до 1 кВ	испытание	4	753,25	3013
142	ГЭСНп01-11-024-01	Фазировка электрической линии или трансформатора с сетью напряжением: до 1 кВ	шт	4	284,04	1136,16
Раздел 25. Строительно-монтажные работы по КЛ-0,4 кВ (ВРУ-ЦСД до ШРН ЦСД)						
143	ГЭСНм08-02-146-05	Кабель до 35 кВ с креплением накладными скобами, масса 1 м кабеля: до 6 кг	100 м	0,13 <i>13 / 100</i>	15012,62	1951,64
144	ГЭСНм08-02-163-02	Заделка концевая с термоусаживающимися полиэтиленовыми перчатками для 3-5-жильного кабеля с бумажной изоляцией напряжением до 1 кВ, сечение одной жилы до 120 мм ²	шт	2	410,51	821,02
145	ГЭСНм08-03-574-05	Разводка по устройствам и подключение жил кабелей или проводов сечением: до 95 мм ²	100 шт	0,1 <i>10 / 100</i>	18278,39	1827,84
Раздел 26. Высоковольтные испытания и наладочные работы по КЛ-0,4 кВ						
146	ГЭСНп01-12-027-07	Испытание кабеля силового длиной до 500 м напряжением до 1 кВ	испытание	4	753,25	3013
147	ГЭСНп01-11-024-01	Фазировка электрической линии или трансформатора с сетью напряжением: до 1 кВ	шт	4	284,04	1136,16
Раздел 27. Замена автоматического выключателя в ВРУ лаборатория						
148	ГЭСНм08-03-526-02	Демонтаж Автомат одно-, двух-, трехполюсный, устанавливаемый на конструкции: на стене или колонне, на ток до 100 А (<i>Приказ от 29.12.2016 № 1028/пр Табл.3, п.2 Демонтаж оборудования, пригодного для дальнейшего использования, со снятием с места установки, необходимой (частичной) разборкой без надобности хранения (перемещается на другое место установки и т.п.) ОЗП=0,6; ЭМ=0,6 к расх.; ЗПМ=0,6; МАТ=0 к расх.; ТЗ=0,6; ТЗМ=0,6</i>)	шт	1	376,18	376,18

149	ГЭСНм08-03-526-02	Монтаж Автомат одно-, двух-, трехполюсный, устанавливаемый на конструкции: на стене или колонне, на ток до 100 А	шт	1	815,67	815,67
Итого прямые затраты по смете в текущих ценах						669269,19
Итого прямые затраты по смете с учетом коэффициентов к итогам						687988,56
Накладные расходы						136206,81
Сметная прибыль						78394,05
Командировочные расходы						90650,96
Компенсация при УСН						106759,62
ВСЕГО по смете						1100000

3. Срок выполнения работ – 1 месяц со дня подписания Договора.

4. Список документации, передаваемой после выполнения работ:

После выполнения работ Исполнитель обязан предоставить Заказчику счет и все необходимые сопроводительные документы по цене, указанной в договоре.

5. Выполнение работ по данной закупке является целой и неделимой.

6. Адрес по которому производится передача документов в рамках выполняемых работ: респ. Бурятия, Тункинский район, п.Торы, ТАЦКП ИГУ

В соответствии с разработанным ООО «Энергия М» проектом в 2020 году выполнены следующие работы.

1. Подготовка фундамента под новую трансформаторную подстанцию и генераторный блок (дизельный электрогенератор мощностью 100 КВт) (Рис.3.1).
2. Установка новой трансформаторной подстанции и генераторного блока на штатное место (Рис.3.2)



Рисунок 3.1 - Подготовка фундамента под новую трансформаторную подстанцию и генераторный блок (дизельный электрогенератор)



Рис.3.2 - Установка новой трансформаторной подстанции и генераторного блока на штатное место

3. Геодезическая разметка трасс под силовые кабели:
 - Между старой подстанцией и новой подстанцией;
 - Между новой подстанцией и зданием "Лаборатория";
 - Между новой подстанцией и зданием Центра Сбора Данных УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ».
4. Копка траншеи механизированной техникой. Работы выполнялась мини-экскаватором подрядчика (Рис.3.3.)



Рисунок 3.3 - Копка траншеи механизированной техникой между новой подстанцией и зданием Центра Сбора Данных УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ»

5. Укладка силового кабеля в траншею механизированной техникой подрядчика.
6. Закопка траншеи мини-экскаватором подрядчика.

На рисунке 3.4.представлен план силовых линий электроснабжения УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ».

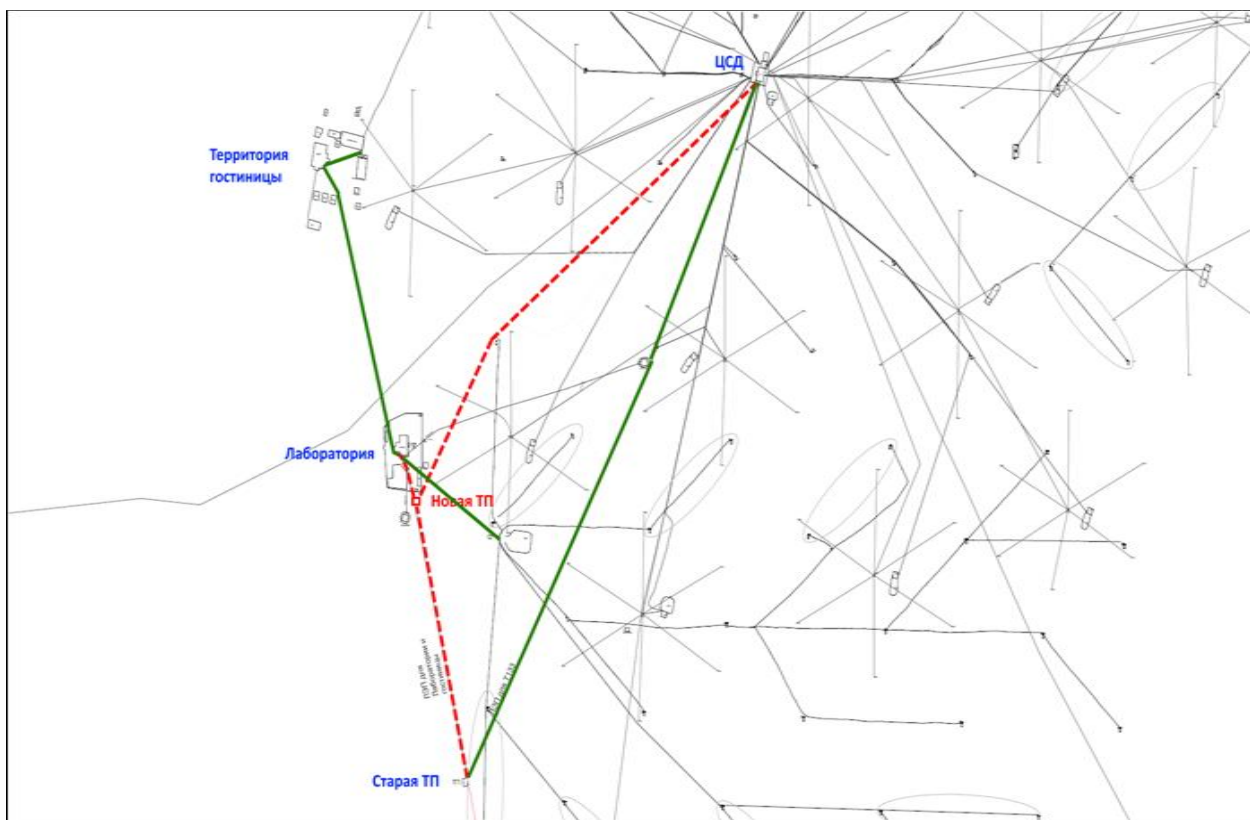


Рисунок 3.4 – План силовых линий электроснабжения УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ». Красные пунктирные линии - новые линии электропитания. Зелёные линии построенные ранее основные линии электропередач.

3.1. Обобщение и выводы о результатах проделанной работы.

В целях модернизации энергосистемы приобретена и установлена КТП мощностью 250 кВа). Для создания системы бесперебойного электроснабжения закуплена и установлена дизельную электростанцию ЭД100-Т400-2РН мощностью 100 кВа с автоматов ввода резерва, для большей надежности весто инверторов DOMINATOR UPS и аккумуляторов приобретен автомат запуска электростанции 2-й степени автоматизации с пониженным временем срабатывания, приобретены комплектующие, сервисное оборудование и термоизолированный блок-контейнер «СЕВЕР». Все оборудование смонтировано введено в строй (оборудование смонтировано в 2020 –м году). Также были приобретены Комплекс молниезащиты установок и дополнительный Комплект контура заземления установок.

4. Закупка комплектующих для широкоугольных камер для регистрации черенковского и флуоресцентного свечения ШАЛ.

Открытие внеземного нейтринного сигнала в диапазоне энергий ТэВ-ПэВ коллаборацией IceCube открыло эру многоканальной астрономии. Нейтрино высокой энергии образуются КЛ, взаимодействующими в местах их ускорения или при распространении в межзвездном и межгалактическом пространстве. Кроме того, нейтрино могут образовываться при распадах метастабильных частиц тяжелой темной материи (DM). Источник(и) этого нейтринного сигнала до сих пор не идентифицирован(ы) из-за ограниченной статистики данных IceCube. Кроме того, высокоэнергетичные начальные события, которые обеспечивают наиболее значительный вклад в нейтринный сигнал, имеют плохое угловое разрешение. В то же время, рождение высокоэнергетичных нейтрино сопровождается гамма-излучением. Это означает, что источники нейтрино могут быть идентифицированы с помощью многоканального (multimessenger) подхода путем объединения данных от нейтрино и гамма-квантов. Низкоэнергетическая часть (доли ПэВ) сигнала IceCube не может быть объяснена внегалактическими источниками, так как это будет противоречить диффузному фоновому гамма-излучению, зарегистрированному детектором Fermi в ТэВ-ном диапазоне. Обнаруженная в данных Fermi диффузная компонента гамма-излучения позволяет объяснить данный сигнал или локальными источниками космических лучей, или сигналом темной материи из нашей Галактики. В обоих случаях ожидается значимый сигнал гамма-излучения в энергетическом диапазоне 100 ТэВ-3 ПэВ

Для обнаружения потока гамма-квантов, соответствующих потоку нейтрино, открытого телескопом IceCube необходимо подавление фона от заряженных космических лучей в 10^4 раз для энергетического интервала 100 -200 ТэВ. Черенковская установка TAIGA-HiSCORE не обладает возможностями гамма/адронных разделений. Энергетический порог системы сцинтилляционных мюонных детекторов пока существенно выше. Для «гибридных» событий, т.е. событий зарегистрированных установкой TAIGA-HiSCORE и АЧТ установки TAIGA-IACT возможно подавление адронного фона в 10^3 раз для поиска диффузного гамма-излучения в области энергий 50-500 ТэВ (для поиска локальных источников в стерео моде уровень подавления достигает 10^5).

В этой связи принято решение для регистрации гамма-квантов с энергией выше 30 ТэВ дополнить гибридный комплекс детекторов гамма-обсерватории TAIGA телескопами с широкоугольными камерами (угол обзора 20 градусов) с эффективной регистрирующей площадью 0.5 м^2 . Регистрирующие камеры телескопов будут сделаны на основе 100-250

кремниевых фотоумножителей (SiPM). Камера на основе SiPM, имеет ряд преимуществ. SiPM не деградируют от сильного светового фона и могут работать даже при полной Луне. В отличие от вакуумных ФЭУ SiPM имеют более однородные параметры, для работы требуют напряжения только в несколько десятков вольт, они отличаются компактностью, небольшим весом и малым энергопотреблением. Не предполагается проводить анализ образа ШАЛ в данной камере и ограничиться только разделением гамма/адронных событий по числу сработавших пикселей. Наличие таких телескопов в составе гамма - обсерватории TAIGA, с одной стороны, позволит понизить энергетический порог гибридных событий до 30 ТэВ, с другой стороны, позволит повысить фактор подавления адронного фона еще в десять раз и достичь уровня обнаружения избыточного диффузного гамма-излучения соответствующего потоку нейтрино.

Одна из причин относительно высокого энергетического порога установки TAIGA-HiSCORE связана с тем, что в оптических станциях установки TAIGA-HiSCORE фоновый свет ночного неба (NSB) интегрируется по всему полю зрения, что повышает порог срабатывания детектора. Однако, черенковский свет от ШАЛ, порожденных гамма-квантами имеет очень ограниченный угловой разброс (меньше 2 градусов), и поэтому интегрирование фона в широком угловом диапазоне не требуется. Если разбить все поле зрения на 100 угловых ячеек, то световой фон в каждой ячейке уменьшается 100 раз и, соответственной порог срабатывания одного пикселя может быть уменьшен в 10 раз.

Прототип малого широкоугольного телескопа SIT (small imaging telescope) был установлен в Тункинской долине на площади комплексной установки TAIGA (Рис.4.1) в сентябре 2019 года.

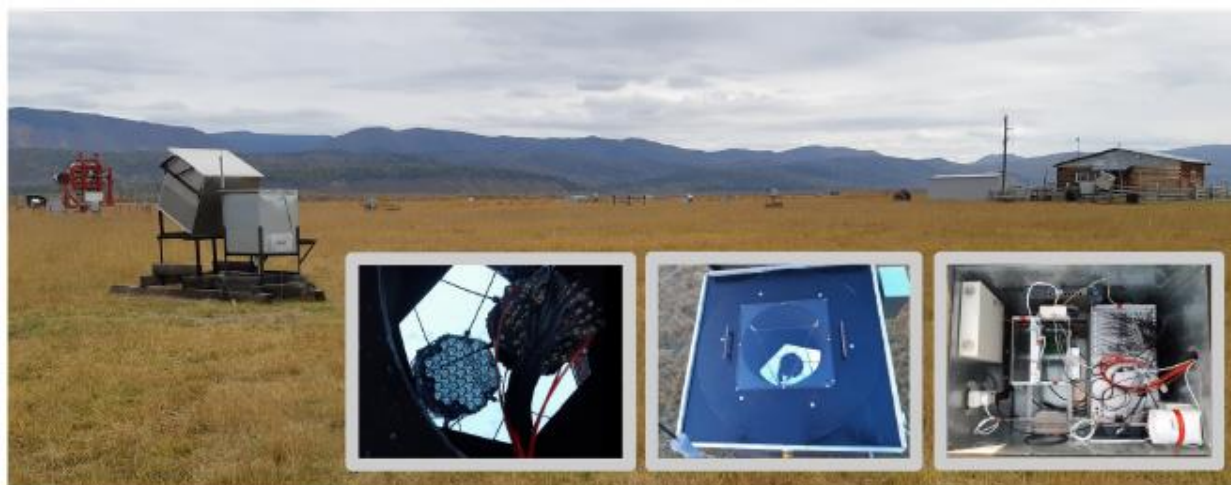


Рисунок 4.1. Слева направо: прототип малого телескопа изображения (на расстоянии 100 м от TAIGA-IACT), мозаика 49-SiPM с зеркалом, входное окно телескопа с открытой крышкой и измерительная электроника в термостабилизированном ящике.

Светочувствительная камера телескопа, на которой формируется изображение вспышки черенковского света от ШАЛ, представляет собой шестиугольную матрицу, состоящую из сорока девяти кремниевых фотоумножителей SiPM со светосборниками. Камера установлена в фокусе полусферического зеркала. Площадь входной диафрагмы телескопа 0.1 м^2 , а угловой обзор ± 10 градусов.

В телескопе используются SiPM TheMicroFC-SMTPA-60035, имеющий быстрый выход и чувствительную область $6 \times 6 \text{ мм}^2$. Быстрый выход каждого SiPM соединен с двухступенчатым предусилителем. Первый каскад работает как усилитель-преобразователь тока в напряжение. Вторая ступень используется для передачи сигнала через микро-коаксиальный кабель к системе DAQ. FWHM одиночного фотоэлектронного импульса составляет около 20 нс, а амплитуда при максимальном коэффициенте усиления SiPM ($5 \cdot 10^6$) составляет около 30 МВ. Датчики температуры установлены на каждой плате SiPM. Каждая линия питания SiPM имеет пару АЦП-ЦАП для постоянного контроля и управления коэффициентом усиления каждого SiPM.

Проведено предварительное М-К моделирование установки, состоящей из 110 детекторов TAIGA-HiSCORE, 1 АЧТ установки TAIGA-IACT и ряда малых телескопов, расположенных по такой же сетке как и станции TAIGA-HiSCORE.

Моделирование гибридного метода регистрации ШАЛ от адронов и гамма-квантов в установке TAIGA проводилось по программе CORSIKA 7.3500. Для каждой широкоугольной станции TAIGA-HiSCORE, и для каждого телескопа установки TAIGA используется программа (ОПТИКА-TAIGA), созданная в ОИЯИ, Дубна, которая позволяет проводить каждый фотон через оптическую систему установки, с учетом поглощения черенковского излучения в атмосфере в зависимости от длины волны. Для АЧТ учитывались: затенение, отражение от зеркал, рассеяние и поглощение, прохождение через защитный экран камеры из плексигласа, включая преломление и зависящие от угла падения коэффициенты отражения на входе и выходе и зависящий от длины волны коэффициент поглощения в толще материала; прохождение через конуса Винстона в соответствии с их чертежами и учетом только отражения от идеальной поверхности с коэффициентом отражения 0.90. Затем имитирован отклик ФЭУ, учитывающий зависимость квантовой эффективности и эффективности собирания электронов от длины волны фотона, в результате чего определено время образования и число фотоэлектронов в каждом ФЭУ камеры. На этом этапе также смоделированы фотоэлектроны, образованные фоновой засветкой ночного неба (разыграно их число и время их образования в каждом ФЭУ). Далее симулируется блок оцифровки импульсов и триггерные условия сбора данных для каждой станции и телескопов. Эти параметры настраиваются по

экспериментальных данным. Настройка программы проходила по данным об первой станции SIT, выбиралась эффективность регистрации. На Рис.4.2 приведена зависимость S - суммы амплитуд, зарегистрированных событий, при энергии, измеренной установкой TAIGA- HISCORE, 200-300 ТэВ.

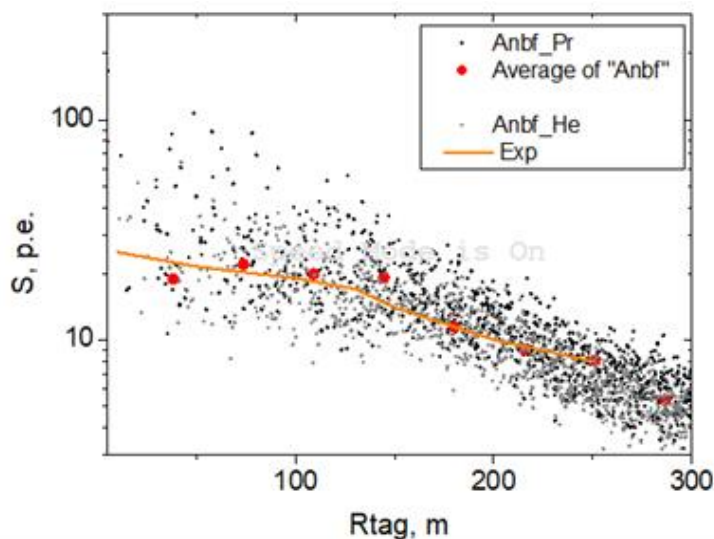


Рисунок 4.2. Зависимость S - суммы амплитуд, зарегистрированных событий малым телескопом, от расстояния до оси ливня в эксперименте и по данным М-К симуляций при энергии, измеренной HISCORE, 200-300 ТэВ. Красные точки – средние значения.

После настройки параметров были посчитаны коэффициенты подавления фона, $\langle \text{Rejection} \rangle = \Pi (50./S_i(j))$ $j=1, N_{\text{det}}$, где S_i – суммарная амплитуда в каждом телескопе, а N_{det} - число сработавших телескопов. На рис. 4.3 приведена зависимость коэффициента подавления адронного фона от числа сработавших детекторов. Видно, что при энергии выше 100-200 ТэВ этот параметр позволит различать ливни от адронов и гамма-квантов.

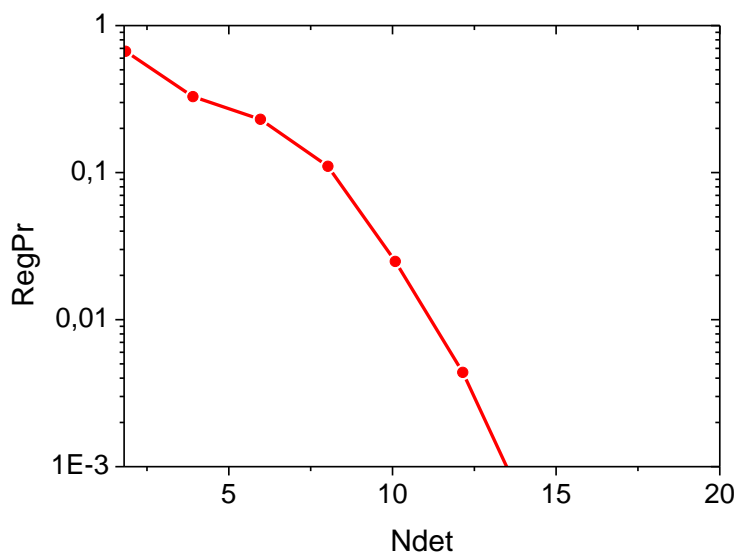


Рисунок. 4.3 Зависимость коэффициента подавления адронного фона от числа сработавших детекторов

Экспериментальный образец малого телескопа имел недостаточную площадь входного окна (0.1 м^2), не оптимальную систему светосборников, при которой на SiPM попадает всего 20% света, и недостаточны угол обзора ± 10 градусов. В этой связи разработан проект новой версии малых телескопов.

В каждом телескопе будет установлена матрица кремниевых фотоумножителей (SiPM). Количество каналов регистрации до 259. На один канал можно будут подключать от одного до трёх SiPM включённых параллельно. Сигналы с выходов SiPM оцифровываются непрерывно с помощью быстрых АЦП с частотой 100 МГц. Вся дальнейшая обработка — интегрирование сигналов, дискриминация, задержка сигнала и буферное хранение триггерных событий осуществляется электроникой телескопа в цифровом виде. Бортовой компьютер отдельного телескопа управляет работой всех систем телескопа и сохраняет информацию о триггерных событиях в локальном хранилище данных и передаёт её на сервер сбора данных.

Предполагается создание упрощенной широкоугольной оптической системы Шмидта состоящей из сферического зеркала, линзовых светосборников и фотодетектора на основе SiPM). Оптическая система на Рис.4.4 имеет зеркало диаметром 1000 мм с радиусом кривизны 625 мм. При диаметре входного окна диафрагмы 560 мм изображение формируется на сферической фокальной поверхности диаметром 320 мм и радиусом кривизны 340 мм. Для упрощенной системы Шмидта угловое разрешение составит около 4 градусов. Установка кольцевой линзы Френеля на диафрагме поможет увеличить светосилу и/или оптическое разрешение телескопа до 3 градусов.

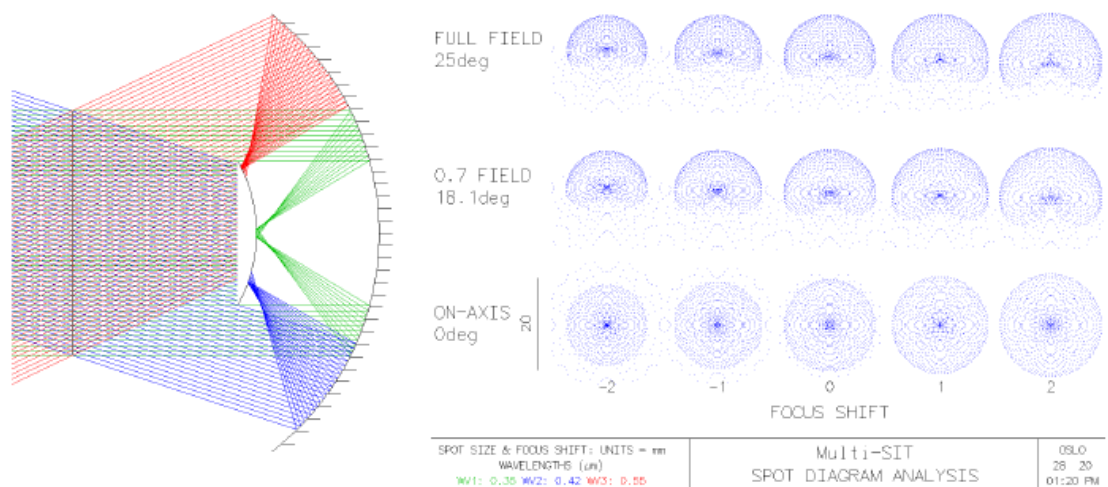


Рисунок 4.4 Слева представлена оптическая схема телескопа с примерами хода световых лучей от удаленных точечных источников света, где зеленые лучи от параксиального потока, синие под углом 18,1 и красные - 25 градусов. Справа изображения световых пятен от лучей из левого рисунка.

Зеркало изготавливается из углепластика на основе технологии разработанной для зеркал КЛПВЭ (см. Рис.4.5). Данные зеркала имеют малую массу и необходимую жесткость конструкции. Несмотря на то, что данная технология не обеспечивает идеальной гладкости поверхности в сравнении со стеклянными подложками, но для широкоугольной системы данного проекта этот недостаток не является значимым так как качество изображения определяется значительной величиной сферической аберрации. Технология изготовления зеркал для КЛПВЭ потребует доработки из-за необходимости обеспечить малый радиус кривизны поверхности зеркала. Для решения этой задачи потребуется заказывать сотовые панели радиусной формы по индивидуальному заказу или вытачивать заготовки необходимой формы из плоских панелей.



Рисунок 4.5 Прототип зеркала для КЛПВЭ.

Так как свет на фотопрёмник с зеркала приходит под углами до 52 градусов, то применение обычных конусных светосборников малоэффективно. Наиболее простой способ собрать падающий свет — покрыть всю фокальную поверхность SiPM, однако, в этом случае придется объединять до 10 SiPM на один пиксел. В качестве компромиссного варианта можно использовать по 3 SiPM с линзовыми светосборниками на световое пятно оптического разрешения. Такое решение позволит до 3 раз уменьшить количество SiPM в мозаике и повысить эффективность светосбора. На Рис.4.6 показан принцип работы линзового светосборника. Для исключения потерь света необходимо устанавливать SiPM на оптическом контакте с линзой.

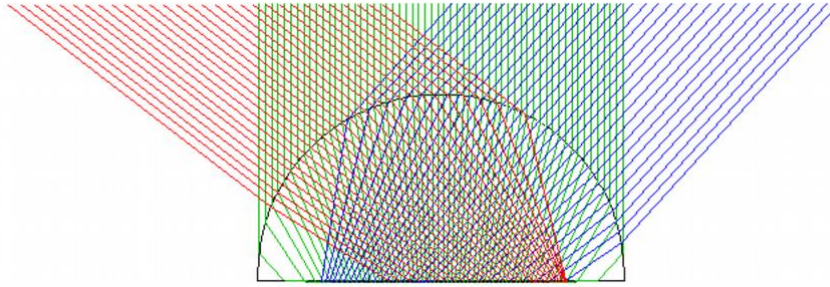


Рисунок 4.6 - Линзовый светосборник из ПММА диаметром 11,6 мм с радиусом кривизны 5,8 мм. Цвет лучей: зеленый — 0, красный — 41,9, синий — 52 градуса от оптической оси

Контроллер системы сбора данных (Рис.4.7) реализована на базе FPGA Xilinx семейства Zynq и многоканальных 12-битовых 100 МГц АЦП общим количеством каналов 32. Аналоговые сигналы, поступающие от МДФ, оцифровываются и затем обрабатываются FPGA в реальном времени. Каждый контроллер имеет отдельный канал данных и управления (Ethernet, скорость передачи данных до 600 Mbit/s) и отдельный оптический канал синхронизации, по которому получает тактовую частоту и временные метки синхронизации. Соответственно, каждый контроллер встраивается в общую систему синхронизации TAIGA-HiSCORE и TAIGA-IACT.

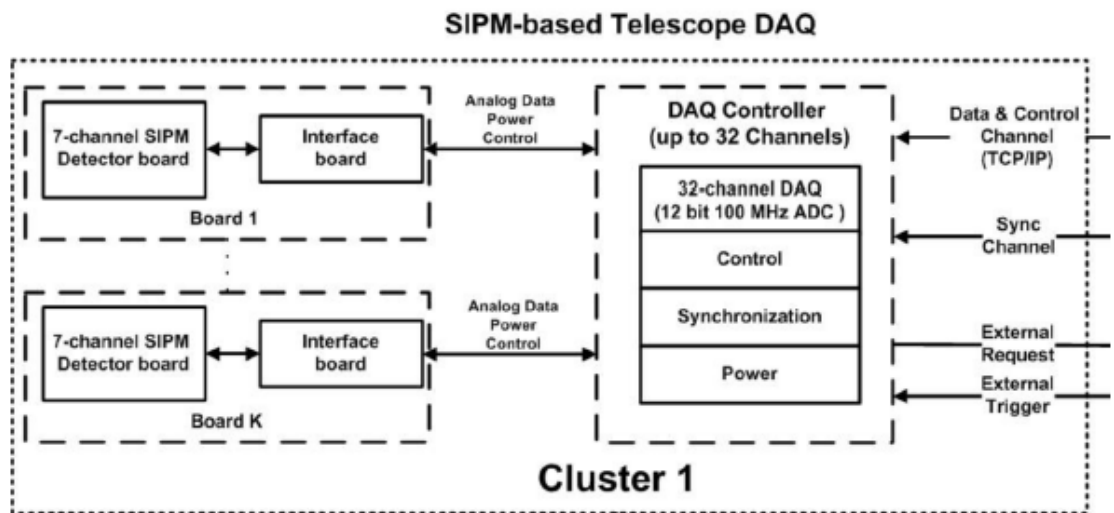


Рисунок 4.7 Функциональная схема контроллера сбора данных малого телескопа.

Таким образом, система сбора данных логически представляет собой модульную конструкцию, где каждый модуль состоит из контроллера сбора данных и до четырёх детекторных модулей (всего 28 каналов). При такой конструкции можно набрать поле с любым необходимым количеством детекторов. Для возможности реализации общего

триггера для всего телескопа в контроллере предусмотрены: выход “External Request” (сигнал, формирующийся по локальному триггерному условию) и вход “External Trigger” (сигнал общего триггера для всего телескопа, реализуемый на отдельной триггерной плате). Общий триггер вырабатывается только в том случае, если сработавшие пиксели являются соседними (“топологическое условие”). При использовании топологического условия фоновая скорость счета общего триггера из-за случайного совпадения уменьшается в 10 раз.

4.1 Обобщение и выводы о результатах проделанной работы.

Осуществлена закупка комплектующих для широкоугольных камер для регистрации черенковского и флуоресцентного свечения ШАЛ, а также для прикладных задач. Разработан проект и изготовлен и испытан экспериментальный образец широкоугольного малого телескопа на кремниевых фотоумножителях для для регистрации черенковского и флуоресцентного свечения ШАЛ.

В рамках выполнения данного пункта плана-графика разработаны технические задания на выполнение работ, на поставку электронного оборудования и комплектующих для модернизации пилотного комплекса гамма-обсерватории TAIGA в составе УНУ «Астрофизический комплекс МГУ- ИГУ» и осуществлены соответствующие закупки.

Спецификация

к предмету закупки для нужд НИИПФ ИГУ

Кремниевые фотоумножители для малых широкоугольных черенковских телескопов

п/п	Наименование	Технические характеристики	Кол-во, шт	Стоимость за ед. рублей	Цена, рублей	Срок гарантии
1	MicroFC-60035-SMT кремниевый фотоумножитель, микроячейка 35 мкм, 6x6 мм, C-серия, SMT корпус	Типовое напряжение пробоя (V_{br}): 24.65 ± 0.25 В Диапазон напряжения смещения (выше V_{br}): 1-5 В Спектральный диапазон: 300-800 нм	650	3 384.60	2 199 990	12 мес.с момента подписания Покупателем акта приема-передачи

		Пиковая длина волны: 420 нм Квантовая эффективность при $V_{br} + 2.5 \text{ В}$: 31% Коэффициент усиления: $3 \cdot 10^6$ Темновой ток типовой: 618 нА Скорость темнового счета типовая: 1200 кГц Время нарастания импульса: 1 нс Ширина импульса: 3.2 нс				товара
--	--	--	--	--	--	--------

Общая сумма 2 199 990 (Два миллиона сто девяносто девять тысяч девятьсот девяносто) рублей 00 копеек, НДС не облагается. Поставщик применяет упрощенную систему налогообложения согласно 26.2 НК РФ.

Срок поставки: в течении 60 (шестидесяти) дней с момента подписания Договора.

Спецификация

к предмету закупки для нужд НИИПФ ИГУ

Оптические системы для малых черенковских телескопов TAIGA

п/п	Наименование	Технические характеристики	Кол-во, шт	Стоимость за ед. рублей	Цена, рублей	Срок гарантии
1	Видеокамера Prosilica GT1380	Sony ICX285; 2/3" CCD; C-Mount; mono; 1360x1024; 30.5fps; 14-bit ADC	3	243360,0 0	730080,00	12 мес.с момента подписания Покупателе м акта

2	Объектив M1614-MP2	2/3", 16мм, F 1.4, 1,5 МП, ручная диафрагма, крепление С	3	15200,00	45600,00	приема-передачи товара
3	Разъём 12 pin HR10A-10P-12S		3	1800,00	5400,00	
4	Кожух Smarte с STH-3230D-PSUI		3	14000,00	42000,00	

Страна происхождения товара – Европейский союз.

Общая сумма 823080 (Восемьсот двадцать три тысячи восемьдесят) рублей 00 копеек, в т.ч. НДС – 137180,00.

Срок поставки: в течение 6 (шести) недель с момента заключения Договора.

Спецификация

к предмету закупки для нужд НИИПФ ИГУ

Линзы Френеля

Параметр	Значение
Диаметр линзы	800 (+10 мм)
Толщина линзы	до 30 мм
Материал	ПММА, СО-120А (без УФ-абсорбера) или аналогичный
Эффективная (полезная) полоса пропускания света	350-550 нм
Диаметр светового пятна в фокальной поверхности на уровне 80% всех фотонов в области полосы пропускания	не более 20 мм
Доля рассеянного света	не более 3%
Сезонные вариации температуры	-45 - +40 град
Суточные вариации температуры	до 30 град

Оплата по факту поставки

Поставка по адресу: 664003, Иркутск, б.Гагарина, 29, НИИПФ ИГУ

Спецификация

к предмету закупки для нужд НИИПФ ИГУ

7-и канальный приемник оптических сигналов широкоугольной камеры для регистрации черенковского и флуоресцентного свечения ШАЛ

1. Общие положения.

- 1.1.Поставляемые товары должны быть новые, не бывшие в использовании, не из ремонта, если в техническом задании прямо не указано иное. Расходные материалы должны быть оригинальные и не восстановленные.
- 1.2.Товары по своим характеристикам должны соответствовать параметрам, приводимым в требованиях, перечисленных ниже.
- 1.3.Каждая единица оборудования, являющаяся отдельно производимым товаром, должна быть представлена описанием с указанием товарных знаков, знаков обслуживания, фирменных наименований, патентов, полезных моделей, промышленных образцов, наименования места происхождения товара или наименования производителя товара.
- 1.4.В цену товара должны быть включены все расходы Участника закупки по доставке, упаковке, маркировке, погрузке, транспортировке, разгрузке товаров, а также прочие расходы и налоги, уплаченные или подлежащие уплате. Цена контракта должна оставаться неизменной до момента исполнения обязательств по контракту.

2. Характеристики поставляемого товара и сопутствующих услуг.

7-и канальный приемник оптических сигналов предназначен для совместной работы с 32-х канальным контроллером для приема и предварительной обработке информации с оптических датчиков широкоугольной камеры для регистрации черенковского и флуоресцентного свечения ШАЛ.

Каждый 7-ми канальный приемник оптических сигналов включает в себя следующие узлы:

- 7 кремниевых фотоэлектронных умножителей MicroFC-60035-SMT
- 7 3-х каскадных усилителей сигналов кремневых ФЭУ;

- 7 регулируемых источников напряжения для питания катодов кремниевых фотоэлектронных умножителей.

- датчик температуры кремниевых фотоэлектронных умножителей.

Диапазон регулировки источников напряжения питания катодов кремниевых фотоэлектронных умножителей : 0 ... +4.5 VDC

Шаг регулировки напряжения питания катодов кремниевых фотоэлектронных умножителей : 3 мВ

Выходной ток источника напряжения питания катодов кремниевых фотоэлектронных умножителей: не менее 1 мА

Диапазон выходных напряжений усилительного каскада приемника оптических сигналов: 0 В +500 мВ

Выходное сопротивление усилительного каскада приемника оптических сигналов:
100 Ом

Напряжение питания приемника оптических сигналов: +5 VDC

Напряжение питания анодов кремниевых фотоэлектронных умножителей: - 25 VDC

Потребляемая мощность : не более 1 Ватт

Рабочий диапазон температур эксплуатации: -40 оС ÷ +45 оС

Диапазон температур хранения: -45 оС ÷ +50 оС

- 3. Количество поставляемого товара: 50 (Пятьдесят) штук.**
- 4. Стоимость товара (цена Договора): 2 200 000 (Два миллиона двести тысяч) рублей 00 копеек. НДС не облагается, поскольку Поставщик находится на упрощенной системе налогообложения**
- 5. Срок поставки товара: до 31 декабря 2020 года.**
- 6. Гарантийный срок: 12 месяцев со дня поставки товара.**
- 7. Адрес поставки товара: 664003 г. Иркутск, б. Гагарина, 20, НИИПФ ИГУ.**
- 8. Страна происхождения товара: Российская Федерация.**

Спецификация

к предмету закупки для нужд НИИПФ ИГУ

32-х канальный контроллер для приема и предварительной обработки информации с оптических датчиков широкоугольной камеры для регистрации черенковского и флуоресцентного свечения ШАЛ

1. Общие положения.

- 1.1.Поставляемые товары должны быть новые, не бывшие в использовании, не из ремонта, если в техническом задании прямо не указано иное. Расходные материалы должны быть оригинальные и невосстановленные.
- 1.2.Товары по своим характеристикам должны соответствовать параметрам, приводимым в требованиях, перечисленных ниже.
- 1.3.Каждая единица оборудования, являющаяся отдельно производимым товаром, должна быть представлена описанием с указанием товарных знаков, знаков обслуживания, фирменных наименований, патентов, полезных моделей, промышленных образцов, наименования места происхождения товара или наименования производителя товара.
- 1.4.В цену товара должны быть включены все расходы Участника закупки по доставке, упаковке, маркировке, погрузке, транспортировке, разгрузке товаров, а также прочие расходы и налоги, уплаченные или подлежащие уплате. Цена контракта должна оставаться неизменной до момента исполнения обязательств по контракту.

2. Характеристики поставляемого товара и сопутствующих услуг.

- 2.1.32-х канальный контроллер для приема и предварительной обработки информации с оптических датчиков широкоугольной камеры для регистрации черенковского и флуоресцентного свечения ШАЛ предназначен для совместной работы с 7-ми канальным приемником оптических сигналов.
- 2.2.число измерительных каналов контроллера : 32
- 2.3.входное сопротивление измерительного канала контроллера : 100 Ом
- 2.4.имеется возможность блокировки измерительного канала
- 2.5.имеется цифровой программируемый фильтр входного сигнала
- 2.6.алгоритм фильтрации входного сигнала: скользящий фильтр
- 2.7.уровень сглаживания скользящего фильтра: 1, 2, 4, 8 отсчетов АЦП
- 2.8.диапазон входных напряжений измерительного канала контроллера: 0 В ... +500 мВ
(может быть изменён с помощью настройки входного усилителя)
- 2.9.частота дискретизации входного сигнала: 100 МГц
- 2.10. разрядность дискретизации входного сигнала: 12 бит
- 2.11. число амплитудных анализаторов: 32
- 2.12. глубина канала амплитудного анализатора: 64К

- 2.13. число каналов амплитудного анализатора: 1024 (используется специализированный алгоритм работы амплитудного анализатора)
- 2.14. число цифровых компараторов: 64 (2 компаратора / канал)
- 2.15. имеется возможность программного изменения порога каждого компаратора
- 2.16. разрядность цифровых компараторов: 12 бит
- 2.17. наличие блока формирования сигналов ЗАПРОС от компараторов
- 2.18. наличие схемы совпадений сигналов ЗАПРОС (матрица совпадений) для формирования сигнала ВНУТРЕННИЙ ТРИГГЕР
- 2.19. программное изменение длительности временного окна совпадений для формирования сигнала ВНУТРЕННИЙ ТРИГГЕР
- 2.20. длительность временного окна совпадений для формирования сигнала ВНУТРЕННИЙ ТРИГГЕР: 20-2500 нс
- 2.21. длительность записываемых данных кольцевого буфера: 1024 отсчета / канал
- 2.22. объём буфера чтения данных: 1024 отсчета / канал
- 2.23. количество буферов данных: 2 буфера / канал (кольцевой буфер и буфер чтения)
- 2.24. разрядность счетчика сигналов ВНЕШНИЙ ТРИГГЕР: 32 бита
- 2.25. разрядность счетчика сигналов ВНЕШНИЙ ЗАПРОС: 32 бита
- 2.26. имеется возможность программного сброса счётчиков сигналов ВНЕШНИЙ ТРИГГЕР и ВНЕШНИЙ ЗАПРОС
- 2.27. точность часов локального времени: 5 нс
- 2.28. разрядность счетчика часов локального времени: 60 бит
- 2.29. установка начального времени часов локального времени: программная или синхронная с часами модуля временной синхронизации
- 2.30. наличие внешнего выхода сигнала ВНЕШНИЙ ЗАПРОС
- 2.31. наличие внешнего входа сигнала ВНЕШНИЙ ТРИГГЕР
- 2.32. имеется возможность временной синхронизации с другими контроллерами
- 2.33. точность временной синхронизации с другими контроллерами при помощи модуля временной синхронизации: не хуже 1 нс
- 2.34. интерфейс обмена данными с компьютером: Ethernet
- 2.35. максимальная скорость передачи потока данных: не менее 250 Мбит/с
- 2.36. системная частота: 100 МГц
- 2.37. возможность удаленного перепрограммирования системы (перепрошивки Firmware)
- 2.38. наличие двух программно переключаемых конфигураций системы (базовая и рабочая) для безопасного перепрограммирования системы

- 2.39. количество каналов для управления характеристиками SIPM и входных усилителей: 32
 - 2.40. диапазон напряжений аналоговых каналов для управления характеристиками SIPM и входных усилителей: 0 ... +4.5 VDC
 - 2.41. дискретность регулировки диапазона напряжений аналоговых каналов для управления характеристиками SIPM и входных усилителей: 12 бит
 - 2.42. напряжение питания SIPM: -25 В
 - 2.43. управление подачей питания +5 В и -25 В на 7-ми канальный приемник оптических сигналов.
 - 2.44. интерфейс для управления периферийными устройствами: RS-485
 - 2.45. число интерфейсов RS-485: 2
 - 2.46. интерфейс для подключения телеметрии (либо иных устройств): I2C
 - 2.47. число интерфейсов I2C: 1
 - 2.48. напряжение питания: +5В
 - 2.49. потребляемая мощность: не более 15 Вт
 - 2.50. рабочий диапазон температур эксплуатации: 0 оС ÷ +45 оС
 - 2.51. диапазон температур хранения: -45 оС ÷ +50 оС
 - 2.52. габаритные размеры устройства : не более 200 x 250 мм
3. **Количество поставляемого товара:** 10 (Десять) штук.
 4. **Стоимость товара** (цена Договора): 3 500 000 (Три миллиона пятьсот тысяч) рублей 00 копеек. НДС не облагается, поскольку Поставщик находится на упрощенной системе налогообложения
 5. **Срок поставки товара:** до 31 декабря 2020 года.
 6. **Гарантийный срок:** 12 месяцев со дня поставки товара.
 7. **Адрес поставки товара:** 664003 г. Иркутск, б. Гагарина, 20, НИИПФ ИГУ.
 8. **Страна происхождения товара:** Российская Федерация.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

на выполнение научно-исследовательских работ по теме:

**«Разработка широкоугольных малых телескопов на кремниевых фотоумножителях для решения фундаментальных и прикладных задач
УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ»**

1. Основание для проведения научно-исследовательской работы (НИР)

Основанием для проведения НИР является Соглашение между министерством науки и высшего образования Российской Федерации и Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Иркутский государственный университет» о предоставлении из федерального бюджета грантов в форме субсидий в соответствии с пунктом 4 статьи 78.1 Бюджетного кодекса Российской Федерации № 05.619.21.0013 (номер электронного бюджета 075-15-2019-1631).

Начало работ: с даты заключения Договора

Окончание работ: 28 сентября 2020 г.

2. Исполнитель НИР:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова» (Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В.Скобельцына) как владелец объекта инфраструктуры (ОИ) – УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ для исследования космических лучей сверхвысоких энергий».

3. Цель выполнения НИР

Разработка широкоугольных малых телескопов на кремниевых фотоумножителях для решения фундаментальных и прикладных задач УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ»

4. Основные требования к выполнению НИР:

4.1. Содержание работы:

4.1.1 Должен быть разработан проект светочувствительной камеры телескопа на основе кремниевых фотоумножителей.

4.1.2 Должна быть разработана оптическая система телескопа;

4.1.3 Должна быть разработана система сбора данных малого телескопа;

4.1.4 Должно быть проведено моделирование отклика телескопа на ШАЛ от гамма-квантов и космических лучей;

4.1.5 Должно быть проведено моделирование совместной работы телескопа и станций установки HiSCORE и выполнена оценка режекции адронного фона.

4.2. Основные характеристики научно-технических результатов НИР

4.2.1 Малый телескопа на основе кремниевых фотоумножителей должна обеспечивать регистрацию черенковского света ШАЛ со следующими параметрами:

- энергетический порог для регистрации ШАЛ от гамма-квантов не более 40 ТэВ
- диаметр угловой апертуры телескопа не менее 15 градусов

- количество светочувствительных пикселей, на основе кремниевых фотоумножителей не должно быть больше 150

4.2.2 Оптическая система телескопа должна обеспечивать следующие параметры:

- диаметр угла поля зрения не менее 15 градусов

- площадь входной апертуры не более 0.5 м²

- фокусировать параллельные лучи на поверхность светочувствительных пикселей. 80% процентов входного потока, должно концентрироваться с круг с диаметром не более 20 мм

4.2.3 Система сбора данных малого телескопа должна обеспечивать следующие параметры и выполнять следующие функции:

- оцифровку формы сигнала с кремниевых фотоумножителей с шагом не менее 12 нс.

- формирование триггерных условий для считывания формы сигналов со всех пикселей камеры.

- интеграцию в систему сбора данных комплекса TAIGA и временную синхронизацию ко всем установкам комплекса.

4.2.4 Моделирование отклика телескопа на ШАЛ от гамма-квантов и космических лучей должно возможность оценить эффективность регистрации ШАЛ в зависимости от энергии и от расстояния от оси ШАЛ до телескопа, определить число сработавших пикселей и оценить возможность выделения ШАЛ от гамма-квантов на фоне ШАЛ от космических лучей.

4.3. Требования к форме предоставления результатов НИР

По результатам выполнения НИР должен быть составлен научный отчёт. Отчет оформляется в соответствии с требованиями Заказчика.

4.4 Перечень этапов и содержание основных работ по этапам

Работа выполняется в один этап.

Наименование этапа, содержание выполняемых работ, перечень документов, разрабатываемых на этапах выполнения работы, сроки исполнения и контрактная цена приводятся в Календарном плане (Приложение 2 к Договору).

5. Завершение по модернизации черенковской установки Tunka-133 с целью увеличения ее эффективной площади до 5 кв.км.

Действующая в составе УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ» на высоте 670 м над уровнем моря установка Tunka-133 является крупнейшей в мире по площади установкой для исследований космических лучей черенковским методом, ее строительство было завершено в 2012 году. В составе установка Tunka-133 (175 оптических детекторов (справа вверху), сгруппированных в 25 кластеров, распределенных на площади около 3-х км² (Рис.5.1). Важнейшим достоинством установки Tunka-133 является то, что в установке измеряется не только время и амплитуда черенковских импульсов, но и их форма, за счет оцифровки сигналы от ФЭУ с частотой 200 МГц.

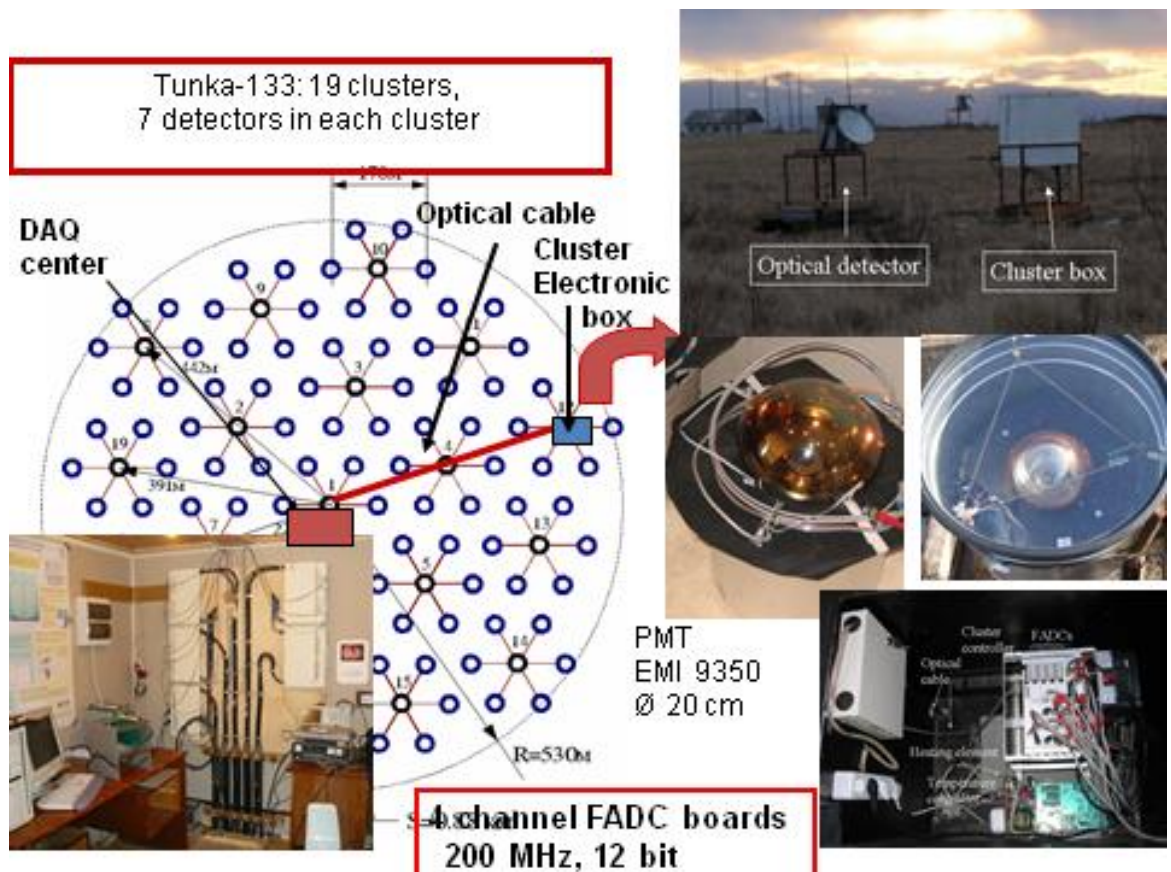


Рисунок 5.1 – Плотная часть широкоугольной черенковской установки Tunka-133.

Каждый оптический детектор (Рис. 5.1) установки Tunka-133 состоит из металлического цилиндра диаметром 50 см, содержащего один ФЭУ с полусферическим фотокатодом длиной 20 см. Окно контейнера состоит из плексигласа и направлено вертикально вверх. Он нагревается от инея и росы. Детектор оснащен дистанционно управляемой крышкой, защищающей ФЭУ от дневного света и атмосферных осадков.



Рисунок 5.2 - Оптический детектор установки Tunka-133

На рисунке 5.3. показана чувствительность оптических детекторов установки Tunka-133 детектора как функция зенитного угла. Кривая отражает влияние края окна, а также поглощения атмосферы за счет рэлеевского и аэрозольного рассеяния черенковского излучения. Для проверки смоделированной апертуры детектора было проанализировано зенитное угловое распределение записанных ШАЛ с восстановленными энергиями больше 10 ПэВ. Результирующее распределение зенитных углов показано на рис.5.4. Распределение плоское до 50° .

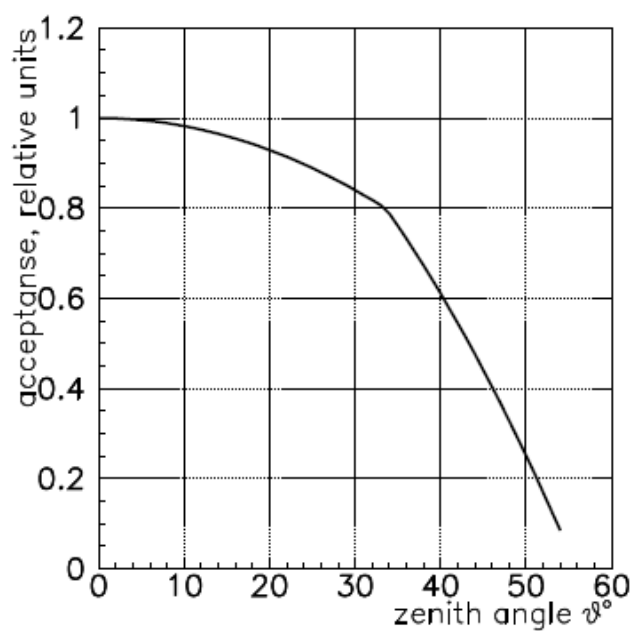


Рисунок 5.3 - Чувствительность оптических детекторов установки Tunka-133 в зависимости от зенитного угла.

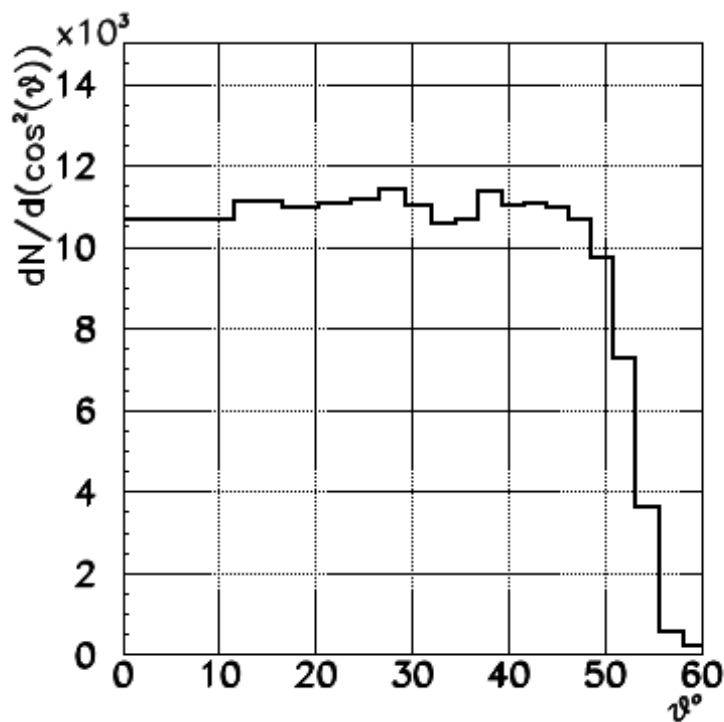


Рисунок 5.4.- Зенитное угловое распределение ливней с восстановленной энергией больше, чем 15 ПэВ.

Импульсы ФЭУ усиливаются предварительными усилителями и передаются по 95-метровым коаксиальным кабелям RG58 в электронный блок в центре каждого кластера и там оцифровываются. Цифровая информация хранится в буферной памяти цикла. Память останавливается, и данные отправляются в центр сбора данных (ЦСД) в случае срабатывания кластерного триггера. Условие срабатывания триггера - появление импульсов, превышающих цифровой порог на 3 и более детекторах в пределах 0,5 мкс.

Минимальная длительность импульса составляет около 20 нс. Динамический диапазон измерения амплитуды составляет около $3 \cdot 10^4$. Это достигается с помощью двух каналов для каждого детектора, снимающих сигналы с анода и промежуточного динода ФЭУ с различными дополнительными коэффициентами усиления. Данные всех кластеров собираются центральным ЦСД и передаются по волоконно-оптическим кабелям.

Система сбора данных установки Tunka-133 состоит из центральной системы (CentralDAQ), расположенной в едином центре сбора данных, и системы сбора данных кластеров (ClusterDAQ). Обе системы соединены между собой многомодовым оптоволоконным кабелем (Рис.5.5). Central DAQ включает в себя устройства сбора и хранения данных (FileStorage, DAQPC), синхронизации (MEGA Host и Hosts) и элементы, отвечающие за прием данных и передачу управляющей информации (Hosts и ControlPC). MEGA Host подключен к GPS станции и через Host отправляет тактовый сигнал с частотой 100 МГц каждому кластеру установки (точность синхронизации составляет 10

нс). Cluster DAQ состоит из 4 плат FADC (Flash ADC), платы управления станцией (Clustercontrolboard) и платы управления оптическими детекторами (Detectorscontrolboard). Плата управления оптическими детекторами посредством подключенных через витую пару (длина порядка 90 м) контроллеров (Detectorscontroller) позволяет дистанционно управлять работой источников высокого напряжения (HV powersupply), электроприводами крышек (Lidmotor) и нагревателями стекол (Windowheater), а также измерять анодный ток ФЭУ. Оптический трансивер, триггерный модуль, модуль синхронизации и локальный таймер включены в плату управления станцией, реализованной на основе FPGA (XLINX Spartan XC3S200). Плата FADC представляет собой 4 АЦП (12 бит, 200 МГц), логически разделенных на 2 канала. На каждый канал через коаксиальные кабели (длина порядка 90 м) поступают сигналы с анода и последнего динода ФЭУ.

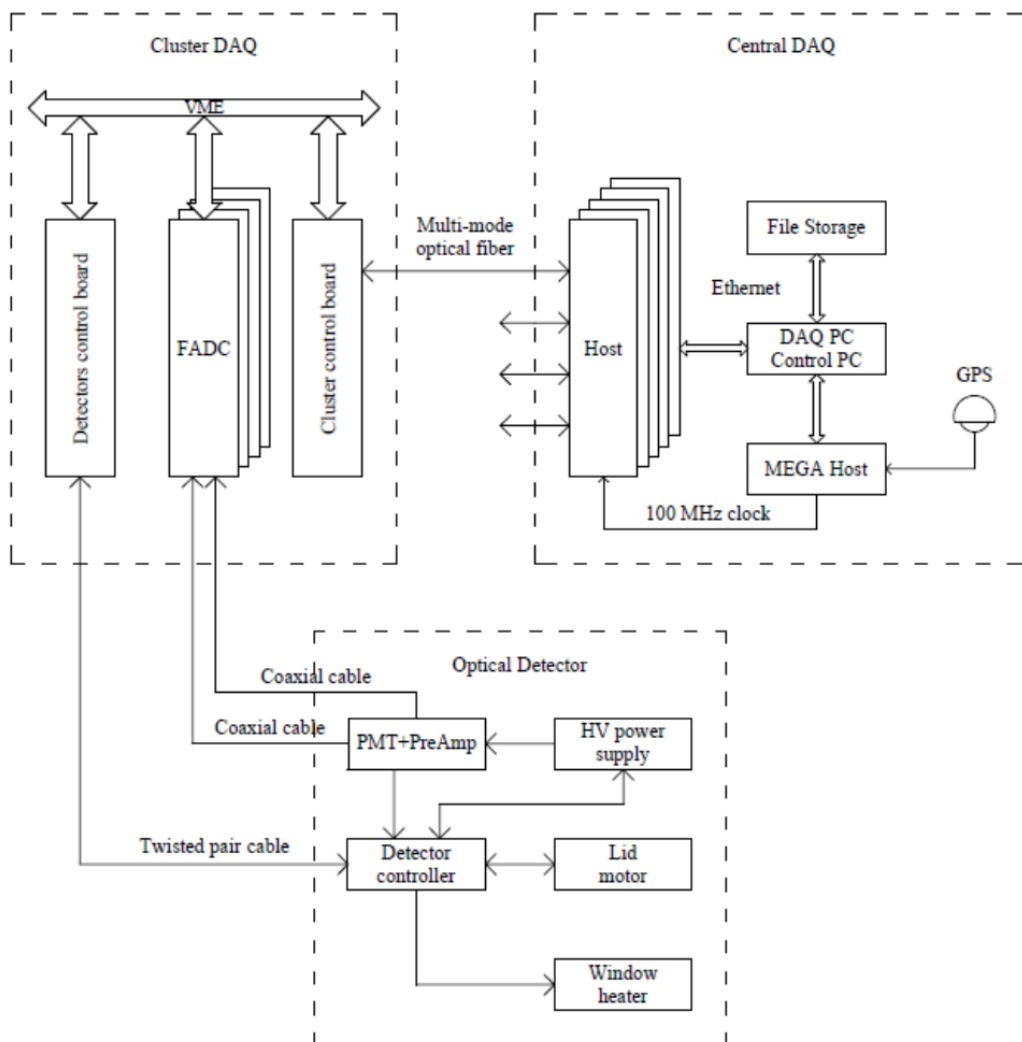


Рисунок 5.5 - Блок-схема системы сбора данных установки Tunka-133.

Главным научным результатом, полученным с помощью установки Tunka-133 является открытие излома в энергетическом спектре космических лучей при энергии

порядка 300 ПэВ (второе колено), являющегося указанием на переход в этой области энергий от Галактических к внегалактическим источникам (Рис.5.6). На рисунке 5.7 полученный спектр для наглядности показан в растянутом масштабе по оси у.

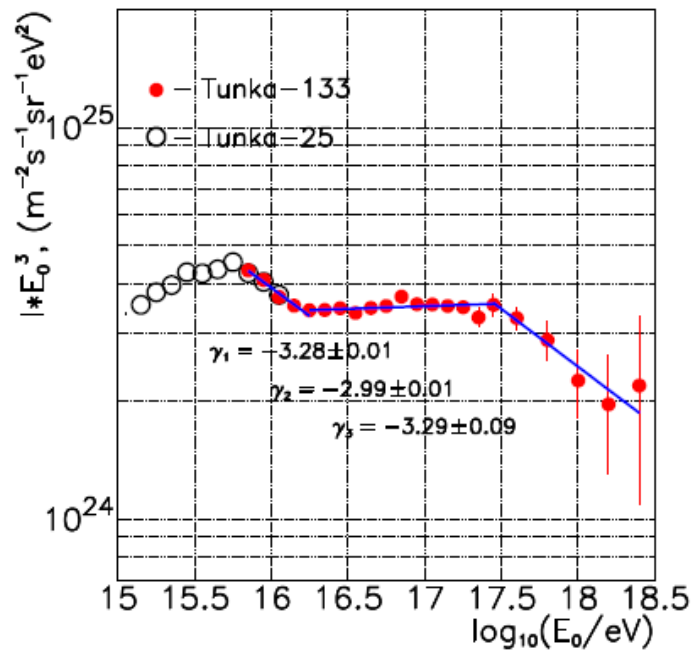


Рисунок 5.6 - Дифференциальный энергетический спектр космических лучей по данным установок Tunka-25 и Tunka-133.

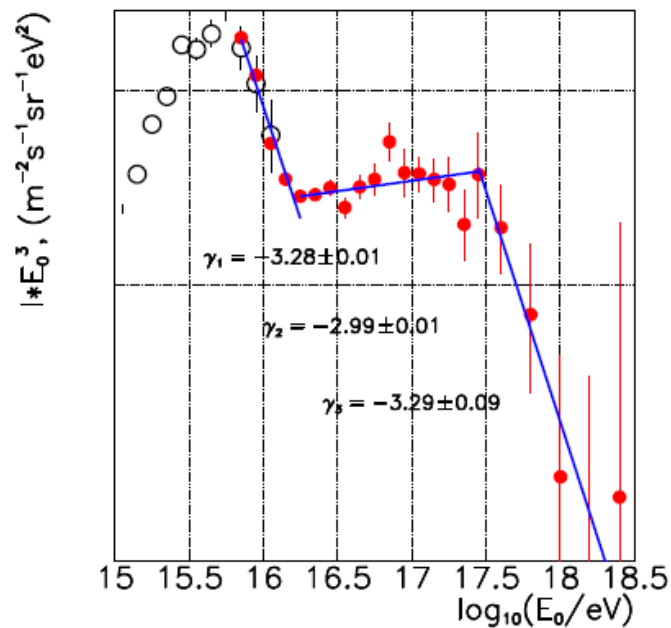


Рисунок 5.7- Дифференциальный энергетический спектр космических лучей в растянутом масштабе.

Центральная «плотная часть широкоугольной черенковской установки Tunka-133 была введена в строй в 2009 году, строительство ее внешних кластеров было завершено в 2012 году. При создании ее создания были использованы все передовые на тот момент достижения современной электроники (передача информации по оптоволоконным кабелям, сверхбыстрые АЦП с частотой 200 МГц, перепрограммируемые логические

матрицы и т.д.), что качественно улучшило информацию о регистрируемых событиях. И в настоящее время это крупнейшая установка такого типа в мире, и ее возраст существенно меньше, чем у других регистрирующих широкие атмосферные ливни установок, например, Якутской установки. Тем не менее, за время эксплуатации установки накопилось много неисправностей, с одной стороны, а с другой, появилась возможность увеличить эффективную площадь электроники до 5 км² за счет использования электроники нового поколения. В этой ситуации было принято решение провести модернизацию установки. В 2020 году были выполнены следующие работы.

Ремонт электроники и кабельных линий связи. Проведен ремонт электроники и кабельных линий связи оптических детекторов (Рис.5.8). Основные неисправности связаны с обрывами сигнальных (коаксиальных) кабелей, кабелей питания и управления, выходом из строя контроллеров управления, делителей напряжения и предусилителей. Также был произведен ремонт контроллеров обогрева (~ 30% от общего числа), радиомодулей (~ 20% от общего числа), плат FADC (~ 15% от общего числа) и их замена на 6 внешних кластерах установки.

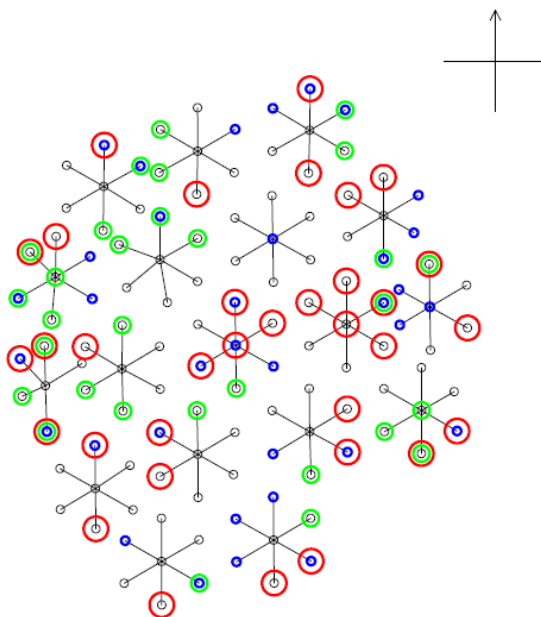


Рисунок 5.8 - Карта поломок. Красные кружки - неисправности коаксиальных кабелей, синие кружки - неисправности кабелей питания и управления, зеленые кружки - неисправности электроники оптических детекторов.

Замена срубов оптических детекторов, ремонт контейнеров для электроники центра кластеров и конструкции оптических детекторов. За летний период 2020 г. проведена замена срубов на 68% оптических детекторах, изготовлено и установлено, взамен неисправных, 8 кожухов моторных отсеков и 7 металлоконструкций, с целью защиты

оптических детекторов и кабельных линий связи от негативного воздействия со стороны крупнорогатого скота (Рис.5.9).

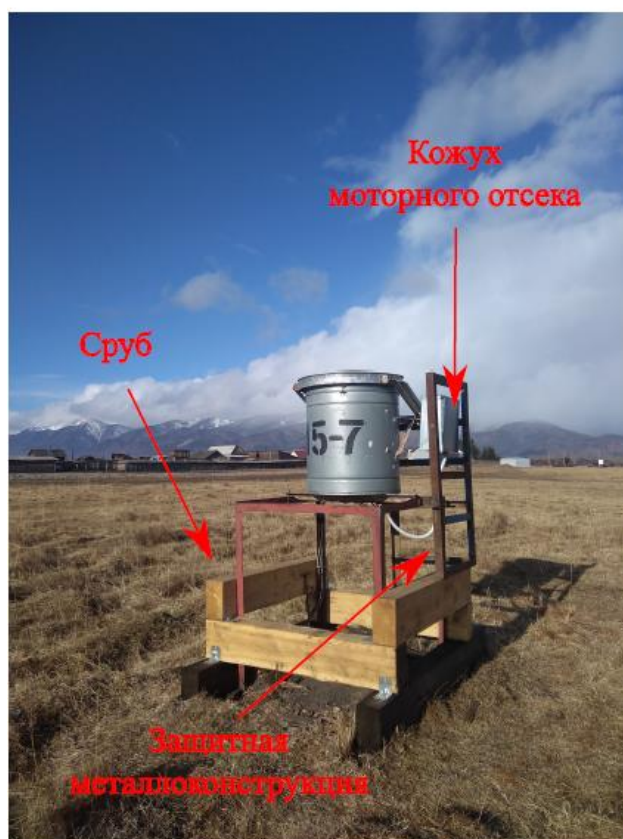


Рисунок 5.9 - Внешний вид оптического детектора.

Дополнительно проведены работы по ремонту всех ящиков электроники установки, изготовлению и установке крышек трансформаторных отсеков внутри данных ящиков. (Рис.5.10).

Таким образом, в результате модернизации черенковской установки Tunka-133 с исправно 100% электроники установки и 100% оптических детекторов, ее эффективная площадь увеличена до 5 кв.км. В настоящий момент времени (сезон 2020-2021 гг.), сеансы измерений проводятся на регулярной основе в соответствии с графиками наблюдений.



Рисунок 5.10 - Внешний вид контейнера электроники до и после ремонта.

5.1. Обобщение и выводы о результатах проделанной работы.

В результате модернизации черенковской установки Tunka-133 в работу включено 175 оптических детекторов установки, то есть исправно 100% электроники установки и 100% механических узлов, ее эффективная площадь увеличена до 5 кв.км, в том числе, за счет замены на 6 внешних кластерах установки плат FADC. В настоящий момент времени (сезон 2020-2021 гг.), сеансы измерений проводятся на регулярной основе в соответствии с графиками наблюдений.

6. Модернизация системы синхронизации детекторов и установок УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ» на базе технологии WhiteRabbit.

Измерительная система УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ» представляет собой сеть нескольких сот различных детекторов, распределенных на площади около 3 кв.км. Одной из ключевых установок УНУ является широкоугольная черенковская установка TAIGA-HiSCORE. Она включает в себя 120 оптических станций, разбитых на 4 кластера, на площади 1 кв.км. Каждая станция состоит из четырех фотоумножителей (ФЭУ) с фотокатодом диаметром от 20 до 25 см (ET9352KB, R5912 или R7081) и системы сбора данных станции (DAQ). Каждый ФЭУ оснащен светособирающим конусом Уинстона из материала с высокой отражающей способностью Alanod 4300 UD, который увеличивает эффективную площадь улавливания света в четыре раза. Основными компонентами DAQ черенковской станции являются аналоговые сумматоры и 8-канальный АЦП на базе платы DRS-4, с помощью которых оцифровываются сигналы с анодов и пятого динода (для расширения динамического диапазона) каждого ФЭУ. с шагом 0,5 нс в окне 200 нс после формирования триггера. Для безлунных ночей частота срабатывания станции TAIGA-HiSCORE составляет 10-15 Гц. Энергетический порог установки составляет 80-100 ТэВ для адронных атмосферных ливней и 40-50 ТэВ для ливней, образованных гамма-лучами. Каждая станция установки TAIGA-HiSCORE подключается к своему центру оптическим кабелем, который служит для передачи данных и синхронизации. Для достижения наилучшей точности восстановления направления осей широких атмосферных ливней, регистрируемых установкой TAIGA-HiSCORE требуется относительная временная синхронизация между оптическими станциями установки TAIGA HiSCORE с точностью лучше 1 наносекунды.

Второй важнейшей установкой УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ» является сеть атмосферных черенковских телескопов установки TAIGA-IACT. Они также должны быть синхронизированы с установкой TAIGA-HiSCORE с точностью порядка 1 нс.

Одной из наилучших в мире технологий для решения подобных задач является развитая при создании Большого адронного коллайдера технологии WhiteRabbit. Основными составляющими WhiteRabbit системы являются коммутаторы WR (WRS) и узлы WR, соединенные стандартными оптоволоконными кабелями GigabitEthernet. WRS устроены как в обычной сети Ethernet; центральный WRS (главный свитч) действует как источник времени. Он подключен к точным абсолютным часам, таким как сервер GPS. WhiteRabbit построен на базе GigabitEthernet (1000base-BX10) и использует преимущества

стандарта EthernetSyncE и протокола точного времени. Он обеспечивает точность выше 1 нс и отличную стабильность фазы тактового сигнала. Система позволяет использовать по одному оптическому волокну для каждого WR-узла как для синхронизации, так и для пользовательских данных, и динамически компенсирует «гуляние часов», например, из-за воздействия окружающей среды (изменение скорости распространения сигнала из-за изменения температуры). Синхронизирующие/триггерные сигналы между WR-узлом и детектором/телескопом могут передаваться в обоих направлениях: либо с помощью сигналов с метками времени от детектора, или путем подачи информации о часах на детектор. Используя оба способа, можно проверить качество синхронизации времени, ее точность и стабильность (как онлайн, так и оффлайн).

Имея это в виду, Ральф Вишневецкий (DESY-Zeuthen) предложил использовать технологию WhiteRabbit для синхронизации детекторов в гамма-обсерватории TAIGA. Все оборудование WhiteRabbit для гамма-обсерватории TAIGA было предоставлено немецкими участниками проекта TAIGA.

Настройка системы WhiteRabbit для станций TAIGA-HiSCORE является особым примером системы с полным прецизионным резервированием, т.е. и WR, и плата сбора данных имеют метки времени с одинаковой точностью, что обеспечивает возможность самопроверки. Для проектирования системы WhiteRabbit для обсерватории TAIGA использовались специально разработанные узлы: 4-канальный TDC (Time to Digital Converter) без мертвого времени с разрешением 1 нс реализованных на платах SPEC и ZEN, и TDC, предназначенный для улучшенного временного разрешения до 0,25 нс с WR-SPEC. В качестве устройства WR-узла в основном использовалась плата «SimplePCIe FMC Carrier» (SPEC). WR-SPEC - это надежная готовая к употреблению плата WR. Она оснащена ПЛИС Spartan-6 (с ядром WR PTP, дополнительными встроенными программами и программным обеспечением) и может работать с платами FMC. Использовалась FMC-DIO5Ch, 5-канальная карта цифрового ввода-вывода, для цифрового триггерного входа и для вывода управляющих сигналов, а также тактовых импульсов PPS / MHz (например, для тестов производительности тактовой частоты).

Основными составляющими WhiteRabbit системы являются коммутаторы WR (WRS) и узлы WR, соединенные стандартными оптоволоконными кабелями GigabitEthernet. WRS устроены как в обычной сети Ethernet; центральный WRS (главный свитч) действует как источник времени. Он подключен к точным абсолютным часам, таким как сервер GPS (supplying UTC seconds and 10 MHz clock signal locked to UTC). WhiteRabbit построен на базе GigabitEthernet (1000base-BX10) и использует преимущества стандарта EthernetSyncE и протокола точного времени PTP. Он обеспечивает точность выше 1 нс и отличную

стабильность фазы тактового сигнала. Система позволяет использовать по одному оптическому волокну для каждого WR-узла как для синхронизации, так и для пользовательских данных, и динамически компенсирует гуляние часов, например, из-за воздействия окружающей среды (изменение скорости распространения сигнала из-за изменения температуры). Синхронизирующие/триггерные сигналы между WR-узлом и детектором/телескопом могут обмениваться в обоих направлениях: либо с помощью сигналов с метками времени от детектора, или путем подачи информации о часах на детектор. Используя оба способа, можно проверить качество синхронизации времени, ее точность и стабильность (как онлайн, так и оффлайн). Настройка системы WhiteRabbit для станций TAIGA-HiSCORE является особым примером системы с полным прецизионным резервированием, т.е. и WR-узел, и плата сбора данных имеют метки времени с одинаковой точностью, что обеспечивает возможность самопроверки.

Для проектирования системы WhiteRabbit для обсерватории TAIGA использовались специально разработанные узлы: 4-канальный TDC (TimeToDigitalConverter) без мертвого времени с разрешением 1 нс, реализованных на платах SPEC и ZEN, и TDC, предназначенный для улучшенного временного разрешения до 0,25 нс WR-SPEC. В качестве устройства WR-узла в основном использовалась плата «SimplePCIe FMC Carrier» (SPEC). WR-SPEC - это надежная плата WhiteRabbit. Она оснащена ПЛИС Spartan-6 (с ядром WhiteRabbit PTP, дополнительными встроенными программами и программным обеспечением) и может работать с платами FMC. Использовалась FMC-DIO5Ch, 5-канальная карта цифрового ввода-вывода, для цифрового триггерного входа и для вывода управляющих сигналов, а также тактовых импульсов PPS (например, для тестов производительности тактовой частоты).

В качестве первой разработки для системы White-Rabbit на станциях HiSCORE обсерватории TAIGA был разработан WR-SPEC с целью определения точной временной отметки прихода триггерного сигнала, как подробно описано ранее в [1]. Схема микропрограммного обеспечения этой платы TDC без мертвого времени основанной на SPEC / 5ChDIO-FMC показана на Рис. 6.1. Плата имеет один канал TDC; и можно использовать до 4 линий ввода / вывода для управления системой сбора данных.

Универсальный 4-канальный модуль TDC, который основан на конструкции 1-канального TDC с длительностью 1 нс (SPEC или ZEN), демонстрирует отличную производительность и обеспечивает работу с множественными триггерами без мертвого времени. Благодаря 4-канальной схеме TDC можно увеличить частоту дискретизации для одного входного сигнала. Этот сигнал необходимо разделить на 4 сигнала с помощью простой платы разветвления и подать на 4 входных канала TDC платы DIO (в настоящее

время это делается с помощью внешнего разветвителя; хотя разветвитель можно легко реализовать на 5ChDIO). Конструкция ПЛИС была изменена для задержки входных сигналов с шагом 250 пикосекунд. Блоки IDELAY FPGA Spartan 6 (на узле WR SPEC) не имеют температурной компенсации, что подразумевает тщательную калибровку зависимости от температуры. Планируется реализовать этот дизайн и на плате ZEN на базе Zynq. Этот TDC высокого разрешения установлен в обсерватории TAIGA и находится в стадии исследований.

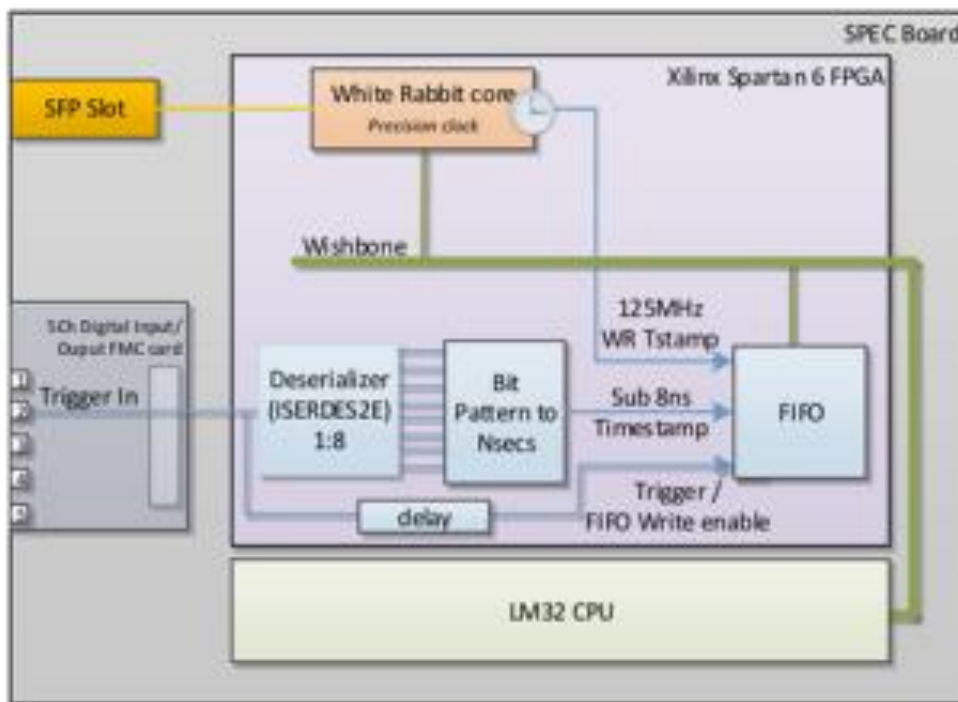


Рисунок 6.1. - Модифицированная прошивка SPEC. Метки времени записываются в FIFO. Базовая конструкция TDC использует блоки ISERDES для ПЛИС и систему синхронизации WhiteRabbit. Реализованы 1 TDC-канал с разрешением 1 нс и до 4 линий ввода / вывода для управления системой сбора данных [2].

Используемая в обсерватории TAIGA прошивка SPEC адаптирована к потребностям проекта. Для IACT и других систем разработана версия с более высокой производительностью. Планируется расширить работу SPEC за счет восходящего канала состояния RTP по оптоволоконной линии, что упростит мониторинг SPEC, установленных на станциях, поскольку они обычно не доступны через SPEC-UART. Для достижения наилучшей точности восстановления направления прихода ШАЛ установкой TAIGA-HiSCORE (~ 0,1 градуса) требуется относительная временная синхронизация между станциями HiSCORE с точностью до наносекунды. Метки времени запуска событий IACT должны иметь одинаковую точность синхронизации, чтобы возможно было включить IACT в реконструкцию по временным задержкам.

Схема системы сбора данных и синхронизации гамма-обсерватории TAIGA представлена на Рис.6.2. Основными компонентами DAQ черенковской станции являются аналоговые сумматоры и 8-канальный АЦП на базе платы DRS-4, с помощью которых оцифровываются сигналы с анодов и пятого динода (для расширения динамического диапазона) каждого ФЭУ. с шагом 0,5 нс в окне 200 нс после формирования триггера. Для безлунных ночей частота срабатывания станции TAIGA-HiSCORE составляет 10-15 Гц. Каждая станция HiSCORE подключается к своему центру оптическим кабелем, который служит для передачи данных и синхронизации. Две системы временной синхронизации работают параллельно: индивидуальная система, использующая тактовый сигнал 100 МГц по оптоволокну, и система White-Rabbit. «Система синхронизации 100 МГц» основана на тактовом сигнале (100 МГц), передаваемом по отдельным волокнам на каждую станцию (без какой-либо локальной компенсации динамической задержки).

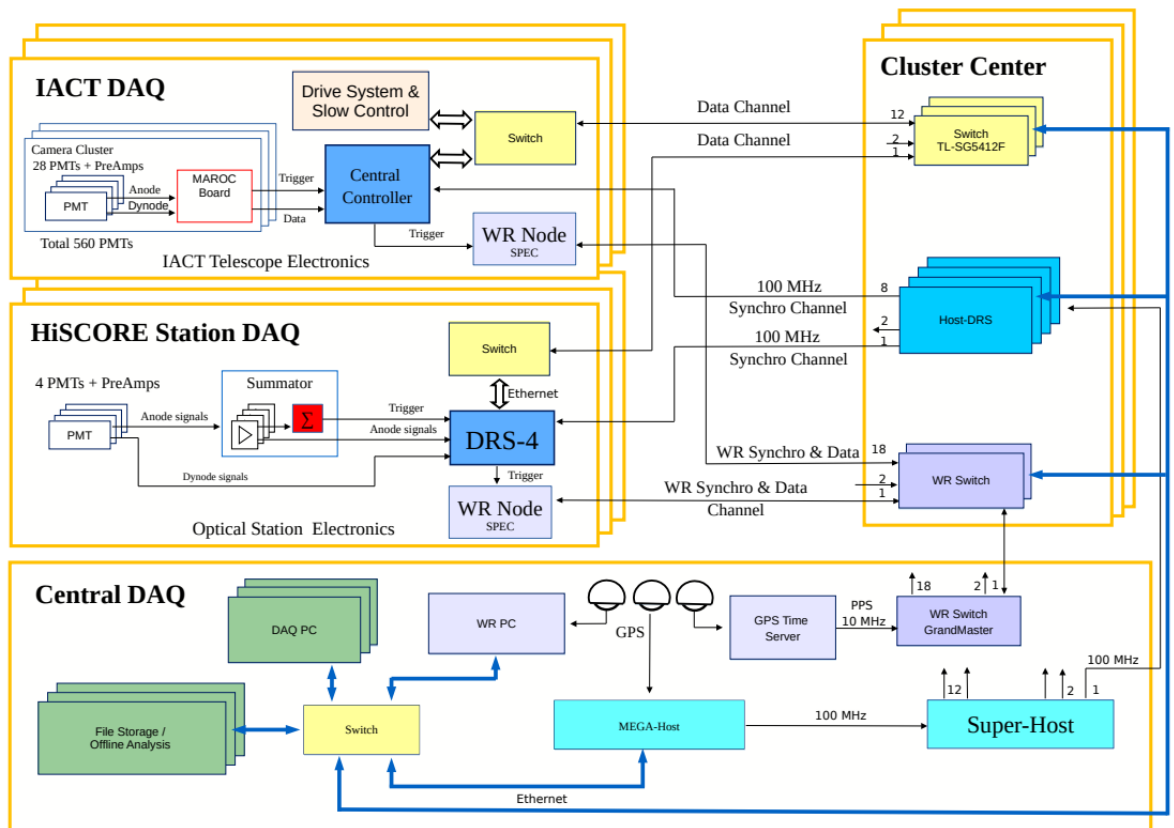


Рисунок 6.2. - Система сбора данных TAIGA, состоящая из центра сбора данных (Central DAQ), центров кластеров(ClusterCenter) и системы сбора данных в станциях HiSCORE и телескопах IACT. На рисунке указаны компоненты обеих независимых систем отсчета времени, а также центральные серверы и часы.

На рис. 6.3 показана плата сбора данных станции HiSCORE вместе с установленной на ней WR-SPEC (подключенной к FMC). Временная метка система синхронизации по 100 МГц и временная метка WR-SPEC получается по одному и тому же импульсу триггерного

сигнала, который совмещен с тактовой частотой 100 МГц (с шагом 10 нс). SPEC маркирует импульс 100 МГц с точностью до 1 нс. Оба триггерных импульса доступны для прямого сравнения в анализе.

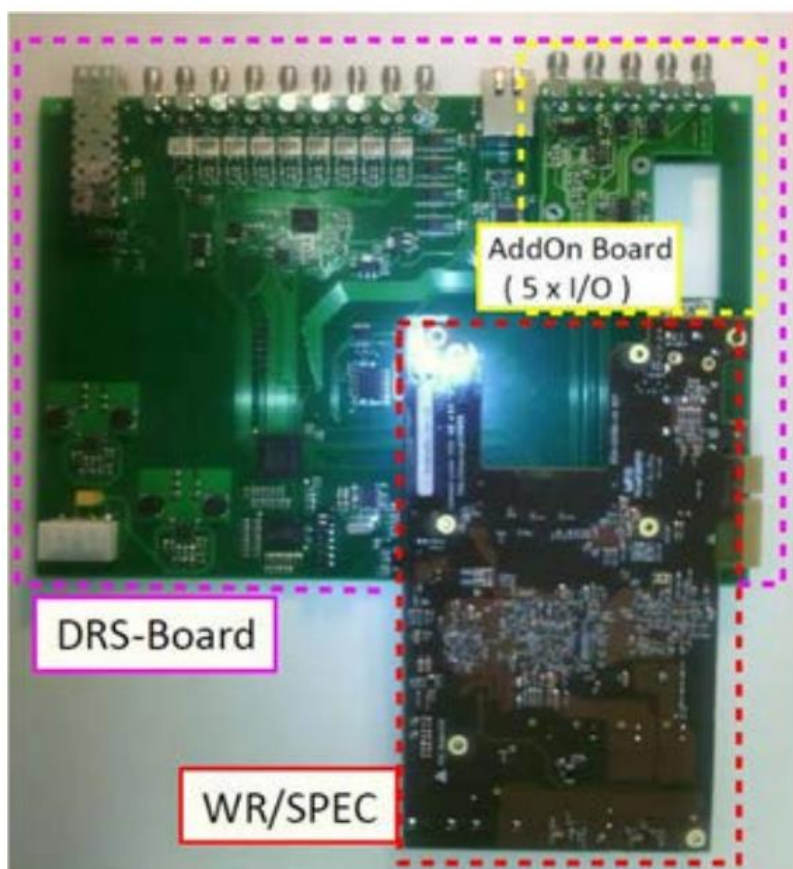


Рисунок 6.3.- Плата системы сбора данных TAIGA-HiSCORE, состоящая из платы триггера и считывания на базе DRS4 («DRS-Board») и платы WR-SPEC (FMC, установленной на DRS-Board). WR-SPEC маркирует все триггерные импульсы и передает их через WR-волокно на WR-Host, независимо от DRS-Board.

На рис. 6.4 представлена схема синхронизации WhiteRabbit установки TAIGA-HiSCORE [3]. В системе синхронизации установлены WR свитчи для синхронизации всех кластеров установки TAIGA-HiSCORE, они оборудованы платами SPEC. На рисунке 6.4 (слева) показан центр сбора данных с WhiteRabbit свитчем WRS-1, работающим в режиме GrandMaster и синхронизированным с часами GPS (MeinbergLantime M1000). WRS-1 синхронизирует свитчи нижнего уровня, которые подключается к станциям HiSCORE. Мониторинг системы WhiteRabbit осуществляется с помощью 12 каналов TDC без мертвого времени с разрешением 1 нсек, разработанных на основе WR-SPEC T1, T2, T3.

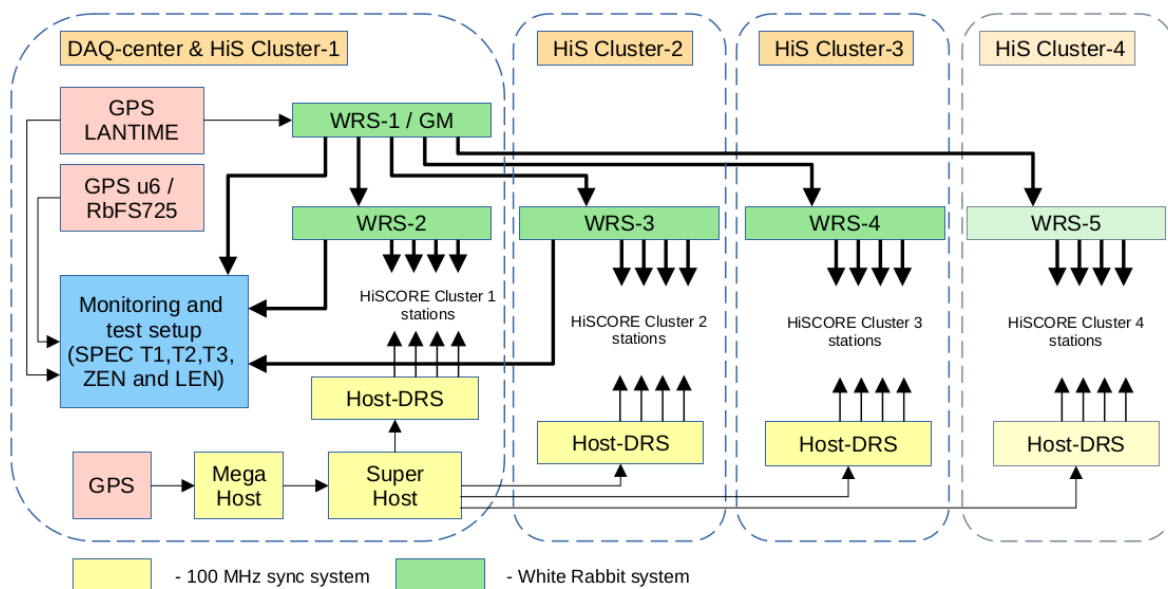


Рисунок 6.4. - Общий обзор системы синхронизации времени. Зеленым цветом показана система синхронизации WhiteRabbit. Желтые блоки отображают систему синхронизации «100 МГц». Слева центр сбора данных с WhiteRabbit свитчем WRS-1, работающим в режиме GrandMaster и синхронизированным с часами GPS MeinbergLantime M1000. WRS-1 синхронизирует свитчи нижнего уровня, расположенные в центрах сбора кластеров установки HiSCORE, а также платы WR-LEN и WRZEN в блоке установки мониторинга и тестирования системы. Контроль сигналов осуществляется по 12 каналам TDC с разрешением нсек (T1, T2, T3), расположенными в блоке мониторинга и тестирования системы. Справа: кластеры установки TAIGA-HiSCORE.

Важным требованием к системам синхронизации времени TAIGA является их долговременная стабильность. Для достижения наилучшей точности восстановления прихода ШАЛ по данным установки TAIGA-HiSCORE требуется относительная временная синхронизация между станциями HiSCORE с точностью лучше 1 наносекунды. Точное перекрестное сравнение устойчивости обеих систем приведено на рисунке 6.2. В анализе используются значения времени триггеров, полученные от обеих систем синхронизации для каждого события. Сравнивая разницу во времени триггерных систем (смотри рис. 6.5) можно сделать вывод, что две системы синхронизации имеют отличные совместные и индивидуальные показатели стабильности: среднеквадратичные различия разницы во времени составляет $<0,7$ нс, что означает ошибки менее 0,5 нс для каждой системы времени независимо.

На Рис. 6.6 показан долгосрочный тест стабильности временной синхронизации между центром сбора данных и вторым кластером HiSCORE для системы WhiteRabbit: оптическое волокно направляется от WhiteRabbit коммутатора WRS-4 и обратно к мастер-часам в центре. WRS-4 оказался стабильным на уровне наносекунды, несмотря на перепады температуры окружающей среды в 40 градусов. Этот результат подтверждает

выводы, сделанные на основе теста, показанного на Рис. 6.5, и является частью более крупной установки для систематических испытаний.

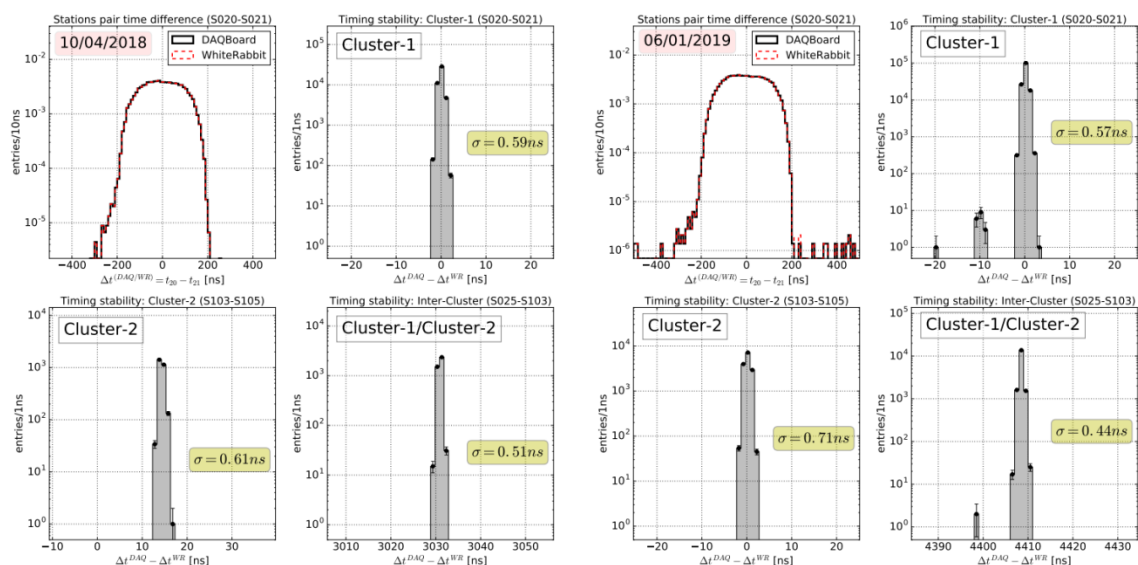


Рисунок 6.5. - Перекрестная проверка точности двух независимых систем синхронизации TAIGA. Сравниваются временные метки триггеров по каждому событию. Показаны два дня. Вверху слева: разница во времени для двух каналов, измеренная непосредственно системой WR и 100 МГц (систему МГУ). (b) Верхний правый: разница времен из (a) для каждого события. (c) Внизу слева: то же, что (b) для двух каналов из HiSCORE Cluster2. (d) Справа внизу: то же, что (b) для двух каналов HiSCORE. Кластер-1 и Кластер-2.

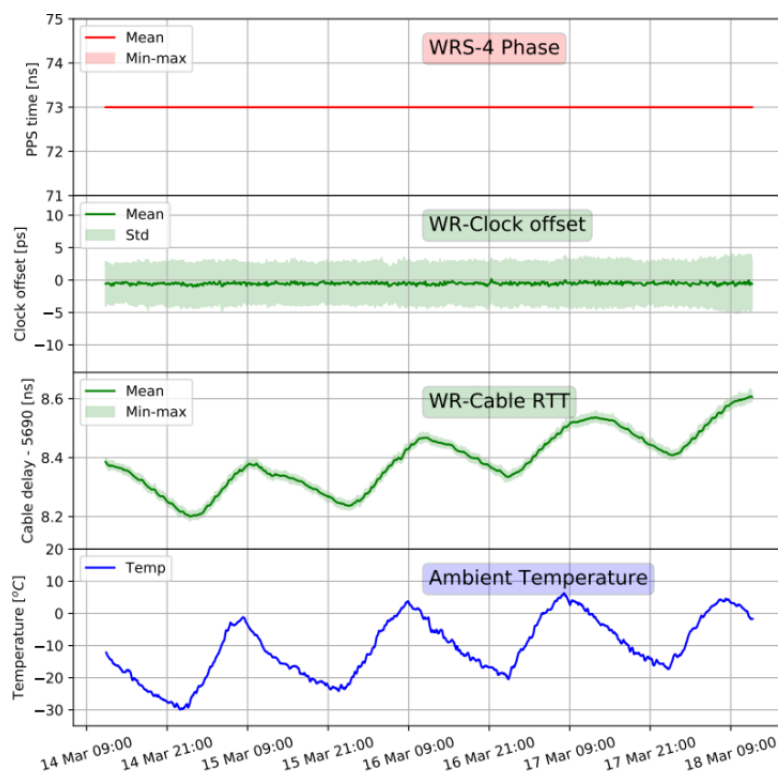


Рисунок 6.6- Длительная проверка временной синхронизации WhiteRabbit в обсерватории TAIGA.

6.1. Обобщение и выводы о результатах проделанной работы.

Создана система синхронизации гамма-обсерватории TAIGА на базе технологии WhiteRabbit. Разработаны следующие узлы: 4-канальный TDC (TimeToDigitalConverter) без мертвого времени с разрешением 1 нс, реализованные на платах SPEC и ZEN, и TDC, предназначенные для улучшенного временного разрешения до 0,25 нс WR-SPEC. В качестве устройства WR-узла в основном используется плата «SimplePCIe FMC Carrier» (SPEC). Перекрестная проверка точности двух независимых систем синхронизации TAIGA показала их стабильность на уровне не хуже 1 н.

Литература к разделу 6.

[1] R. Wischnewski, M. Brückner and A. Porelli, “Time Synchronization with White Rabbit - Experience from Tunka-HiSCORE” in Proceed. 34th International Cosmic Ray Conference, 2015, The Hague, The Netherlands, PoS (ICRC2015) 1041

[2] M. Brückner and R. Wischnewski, A time stamping TDC for SPEC and ZEN-platforms based on White Rabbit, ICALEPS-2017, doi:10.18429/JACoW-ICALEPCS2017-THPHA088

[3] R. Wischnewski, M. Brueckner, A. Porelli, D. Zhurov, Harsh Environmental White Rabbit Equipment Tests, ASTERICS Horizon-2020 65377, Final Report: <https://www.asterics2020.eu/sites/default/files/documents/asterics-d5.3.pdf>

7. Модернизация геофизического комплекса УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ».

Инфраструктура УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ» позволяет вести не только исследования в области астрофизики высоких энергий, но и междисциплинарные исследования процессов в ионосфере, атмосфере и литосфере. Одним из направлений таких исследований является длительный мониторинг геоэлектромагнитного поля. Эти исследования ведутся параллельно измерениями вертикальной компоненты электрического поля Земли на базе 1300 м с помощью оборудования, размещенного на притопленной буйковой станции в озере Байкал и измерениями магнитного поля в районе м.Ивановский на Южном Байкале. Измерения вариаций геомагнитного поля необходимы для решения двух задач:

(1). Контроля отсутствия теллурической составляющей в измерениях вертикальной компоненты электрического поля E_z в Байкале. Теллурическая составляющая представляет важнейшую помеху в мониторинге полей индуцированных течениями, вариаций поля глобальной электрической цепи на гидросферном участке, а также эффектов и предвестников землетрясений.

(2). Изучения глубинного геоэлектрического разреза литосферы по градиенту вариаций магнитного поля между удаленными пунктами измерения космофизического полигона в долине Тунка до берегового центра Байкальской нейтринной обсерватории (и в перспективе до других пунктов).

До сих пор в решении этих задач нами использовались протонные магнитометры ММП-203, измеряющие модуль магнитного поля с разрешением 1 нТл с частотой одно измерение в минуту. Крупным недостатком этих измерений, помимо недостаточной чувствительности и частоты измерений, является ограниченность применимости данных только о модуле поле для решения обеих задач.

Для корректного решения задачи (1) требуются данные о горизонтальных компонентах поля.

Для корректного решения задачи (2) требуются данные о всех трех компонентах поля. В этом случае информация о геоэлектрическом разрезе может быть получена даже без измерений горизонтальных градиентов, по данным в единственной точке. С другой стороны, при применении градиентного подхода, даже в случае модульных измерений для построения математической модели геоэлектрического разреза необходимо знать текущую поляризацию поля (в широком диапазоне периодов). До сих пор для этого мы пользовались компонентными данными магнитной обсерватории Иркутск (Патроны).

Однако эта обсерватория слишком удалена от района исследований и находится над геологической структурой с существенно другим строением, чем в Тункинской долине. Это вело к недостаточной достоверности результатов эксперимента.

Применение в эксперименте даже одного современного трехкомпонентного феррозондового магнитометра типа ДМС-1 позволяет решить перечисленные проблемы.

Цифровой магнитоизмерительный комплекс ДМС-1 (комплекс) предназначен для проведения долговременных компонентных измерений естественного магнитного поля Земли.

Комплекс построен на основе трехкомпонентного феррозондового датчика. Функционирование датчика основано на контроле величины второй гармоники, снимаемой с сигнальной обмотки датчика с полной компенсацией внешнего воздействия во всем диапазоне измерений. Дополнительно феррозондовый датчик оснащается датчиком температуры (для введения температурных поправок), системой термостабилизации (для уменьшения температурных вариаций) и инклинометром (для контроля за изменением положения платформы).

Обработка и передача результатов измерений функционально разделена на два этапа.

Первый этап включает в себя обработку сигнала феррозондового датчика, которая ведется усилительным модулем с программируемым коэффициентом усиления, модулем компенсации медленно меняющейся составляющей и 24-разрядным аналого-цифровым преобразователем. Функционально модули размещаются в блоке, не требующем поддержания температурного режима. Опционально модуль обеспечивает проведение измерений протонного магнитометра. Результатом работы первого этапа являются кадры цифровой информации, передаваемые в блок второго этапа обработки по цифровым линиям связи.

Второй этап включает в себя анализ получаемых кадров информации и их рекомпоновку для формирования сообщений, передаваемых по интернету в сервер, расположенный в ЦГЭМИ ИФЗ РАН. Дополнительно осуществляется синхронизация по времени (GPS-модуль) и обеспечивается электропитание комплекса. Блок-схема трехкомпонентного феррозондового магнитометра типа ДМС-1 приведена на Рис.7.1

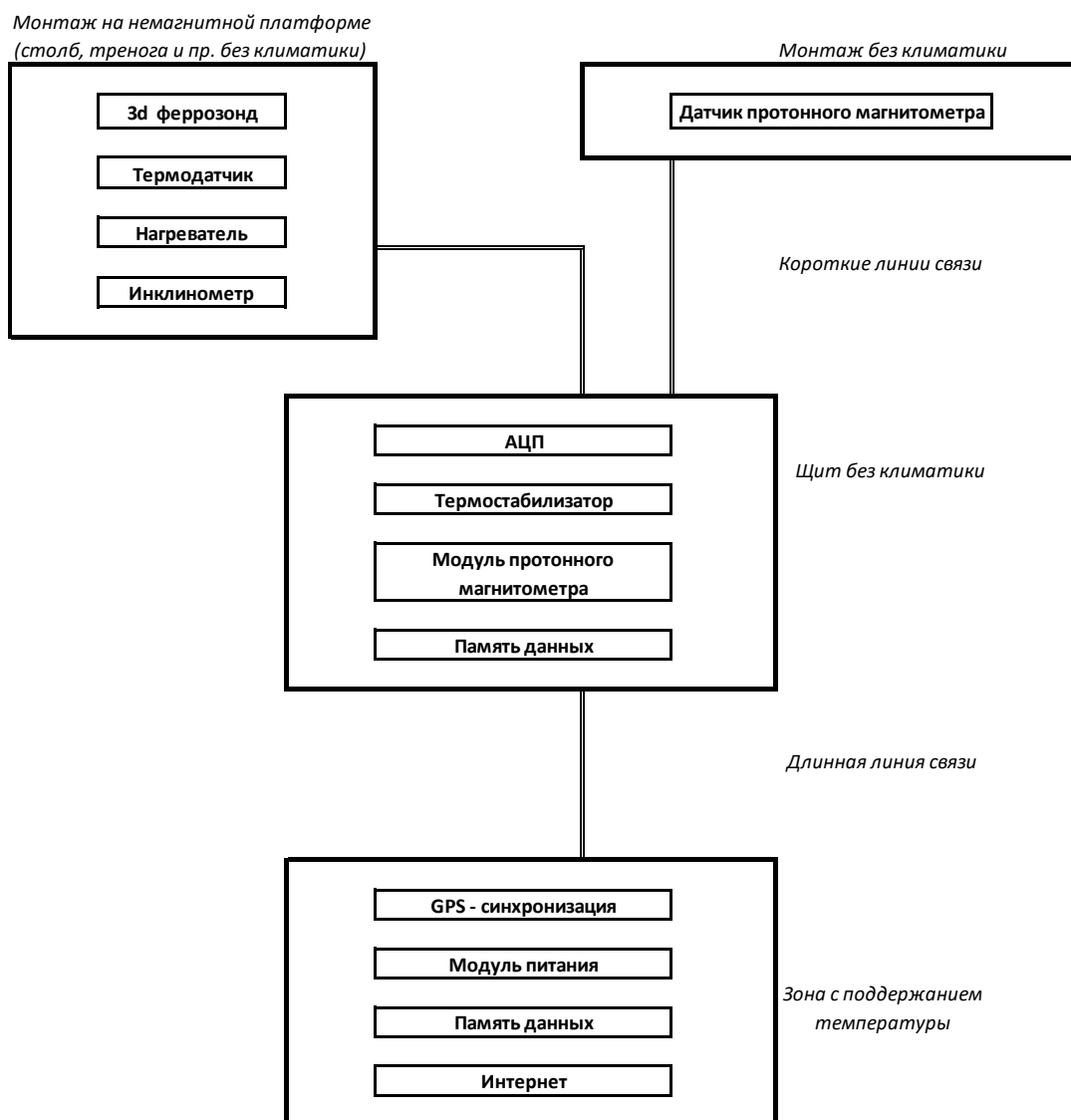


Рисунок 7.1 - Блок схема трехкомпонентного феррозондового магнитометра типа DMC-1

Основные технические параметры трехкомпонентного феррозондового магнитометра типа DMC-1 приведены на Рис. 7.2.

Феррозондовый магнитометр

Параметр	Значение
Количество компонент, шт	3
Диапазон измерения, мкТл	± 70
Погрешность ортогонализации, угл.град, не более	0.1
Погрешность измерений, %, не более	0.5
Температурный уход, нТл/ °С, не более	0.3
Частотный диапазон, диапазон 1	DC - 1Гц
Частотный диапазон, диапазон 2	DC - 10 Гц

Частотный диапазон, диапазон 3	DC - 300 Гц
Собственные шумы для диапазона 1, пТл, не более	50
Наличие покомпонентной компенсации поля	да
Разрешение, пТл	10
Наличие собственной энергонезависимой памяти данных	да
Тип памяти данных	Индустриальная микро SD-карта
Объем памяти данных, Гб, не менее	8
Интерфейсы (управления и передачи данных)	USB, RS485
Наличие энергонезависимого модуля часов реального времени	да
Наличие модуля GSM	да
Наличие модуля GPS/ГЛОНАСС	да
Рабочий температурный диапазон, °С	-40 ÷ +75
Пассивноестермостатирование блока датчиков	да
Наличие температурного датчика в блоке датчиков	да
Длина разрядной сетки данных	24
Наличие цифровой поправки ошибки ортогонализации	да
Возможность автоматической покомпонентной компенсации поля	да
Наличие цифровой поправки температурного дрейфа	да
Возможность подавления промышленных помех (50,60 Гц)	да
Автоматическая синхронизация часов реального времени по секундным меткам блока GPS/ГЛОНАСС	да
Занесение в кадр данных координат местности	да
Автоматический переход в (из) режим(а) ограниченной функциональности при падении (возобновлении) питания	да
Программное обеспечение для настройки/тестирования магнитометра	да
Программное обеспечение для передачи данных из памяти данных на внешний носитель	да

Программное обеспечение для передачи данных в режиме "on-line"	да
Программное обеспечение для хранения и работы с полученными данными (БД + web)	да
Габариты блока датчиков, мм, ДхШхВ	150x150x150
Степень защиты прибора	IP65
Напряжение питания, В	9 ÷ 18
Мощность, Вт, не более	3
Источник питания	аккумуляторные батареи, 12В
Автоматический подзаряд батарей с чередованием (одна - работает, вторая -заряжается) при наличии сети ~220В	да

Рисунок 7.2. - Основные технические параметры трехкомпонентного феррозондового магнитометра типа DMC-1

В ноябре 2020г была осуществлена установка 3-х компонентного феррозондового магнитометра типа DMC-1рядом с центром сбора данных 3-го кластера (ЦСД3) установки TAIGA-HiSCORE гамма-обсерваторииТАИГА (Рис.7.3).



Рисунок 7.3. - 3-х компонентный феррозондовый магнитометр типа DMC-1 в составе УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ».

Блок накопления и компьютер передачи данных в Тункинской долине размещены в помещении центра сбора данных 3-го кластера установки TAIGA-HiSCORE. Данные магнитометра передаются на сервер ИЗМИ РАН г. Троицк. На Рис. 7.4 и 7.5 представлены результаты измерений за 22 и 23 ноября 2020 соответственно. 22 ноября наблюдалась магнитная буря, в первой компоненте видны сильные изменения.

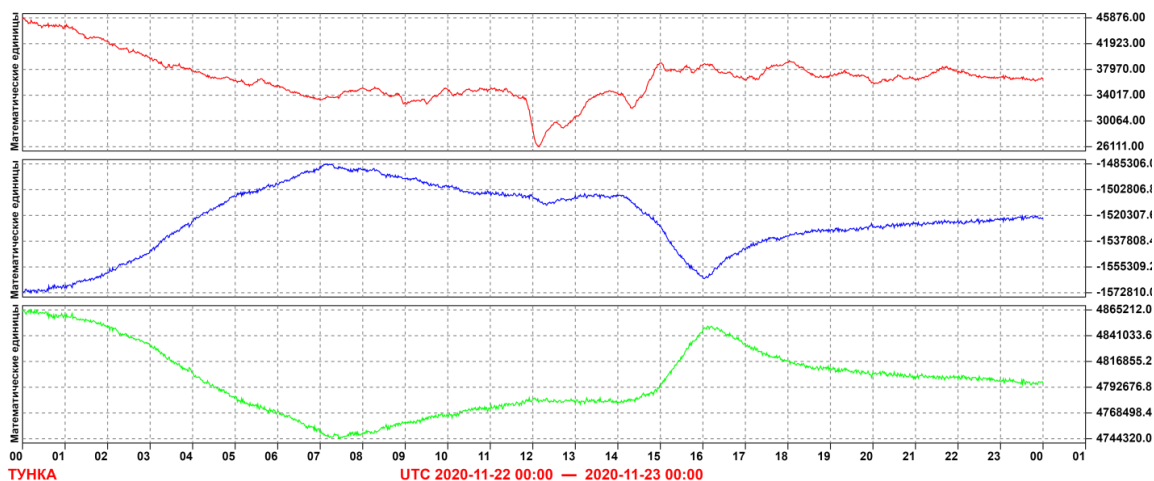


Рисунок 7.4 - Данные магнитометра DMC-1 за 22 ноября 2020

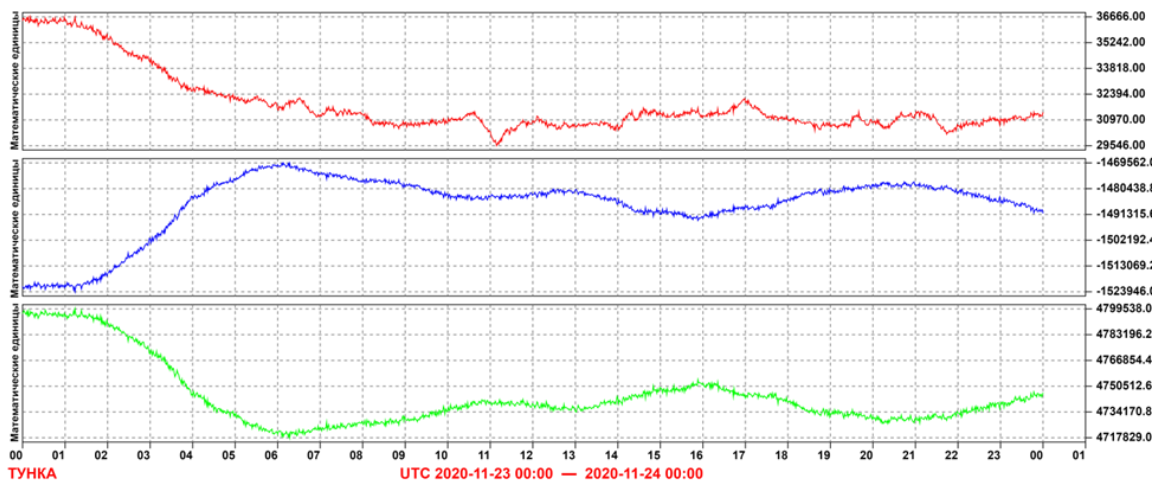


Рисунок 7.5 - Данные магнитометра DMC-1 за 23 ноября 2020

На этих графиках: красная линия – компонента D (по магнитной параллели), синяя линия – компонента H (по магнитному меридиану), зеленая линия – компонента Z (по вертикали).

7.1. Обобщение и выводы о результатах проделанной работы.

В рамках выполнения данного пункта плана-графика разработаны технические задания на выполнение работ, на поставку электронного оборудования и комплектующих для модернизации геофизического комплекса гамма-обсерватории TAIGA в составе УНУ «Астрофизический комплекс МГУ- ИГУ» на базе цифрового магнитоизмерительного

комплекса ДМС-1, предназначенного для проведения долговременных компонентных измерений естественного магнитного поля Земли.

Комплекс построен на основе трехкомпонентного феррозондового датчика. Функционирование датчика основано на контроле величины второй гармоники, снимаемой с сигнальной обмотки датчика с полной компенсацией внешнего воздействия во всем диапазоне измерений. Дополнительно феррозондовый датчик оснащен датчиком температуры (для введения температурных поправок), системой термостабилизации (для уменьшения температурных вариаций) и инклинометром (для контроля за изменением положения платформы).

Техническое задание на поставку феррозондового магнитометра

Параметр	Значение
Количество компонент, шт	3
Диапазон измерения, мкТл	±70
Погрешность ортогонализации, угл.град, не более	0.1
Погрешность измерений, %, не более	0.5
Температурный уход, нТл/ °С, не более	0.3
Частотный диапазон, диапазон 1	DC - 1Гц
Частотный диапазон, диапазон 2	DC - 10 Гц
Частотный диапазон, диапазон 3	DC - 300 Гц
Собственные шумы для диапазона 1, пТл, не более	50
Наличие покомпонентной компенсации поля	да
Разрешение, пТл	10
Наличие собственной энергонезависимой памяти данных	да
Тип памяти данных	Индустриальная микро SD-карта
Объем памяти данных, Гб, не менее	8
Интерфейсы (управления и передачи данных)	USB, RS485
Наличие энергонезависимого модуля часов реального времени	да
Наличие модуля GSM	да
Наличие модуля GPS/ГЛОНАСС	да

Рабочий температурный диапазон, °С	-40 ÷ +75
Пассивнотермостатирование блока датчиков	да
Наличие температурного датчика в блоке датчиков	да
Длина разрядной сетки данных	24
Наличие цифровой поправки ошибки ортогонализации	да
Возможность автоматической покомпонентной компенсации поля	да
Наличие цифровой поправки температурного дрейфа	да
Возможность подавления промышленных помех (50,60 Гц)	да
Автоматическая синхронизация часов реального времени по секундным меткам блока GPS/ГЛОНАСС	да
Занесение в кадр данных координат местности	да
Автоматический переход в (из) режим(а) ограниченной функциональности при падении (возобновлении) питания	да
Программное обеспечение для настройки/тестирования магнитометра	да
Программное обеспечение для передачи данных из памяти данных на внешний носитель	да
Программное обеспечение для передачи данных в режиме "on-line"	да
Программное обеспечение для хранения и работы с полученными данными (БД + web)	да
Габариты блока датчиков, мм, ДхШхВ	150x150x150
Степень защиты прибора	IP65
Напряжение питания, В	9 ÷ 18
Мощность, Вт, не более	3
Источник питания	аккумуляторные батареи, 12В
Автоматический подзаряд батарей с чередованием (одна - работает, вторая -заряжается) при наличии сети ~220В	да

Магнитометр был приобретен по договору 304 от 19.08.2020 (п/п328864 от 08.09.2020 п/п 879150 от 20.11.2020, т/н 4 от 12.11.2020):

Унифицированная форма № ТОРГ-12
Утверждена постановлением Госкомстата России от 25.12.98 № 132

ООО "Измерительные системы", ИНН 5046021002, 108840 г. Москва, г. Троицк, ул. Лесная, д.4Б, пом. 1, ком.77, тел.: (495)840-37-71, р/с 40702810500220000017 в Банк "ВПС" (АО), БИК 044525250, корр/с 30101810445250000250
организация-грузополучатель-адрес-телефон-факс-банковские реквизиты

Форма по ОКУД **0330212**
 по ОКПО 86659487

структурное подразделение Вид деятельности по ОКДП
 ФГБОУ ВО "ИГУ", ИНН 3808013278, 664003 г. Иркутск, ул. К.Маркса, 1, тел.: 8(3952)33-21-70, р/с 40501810000002000001 в УФК по Иркутской области (ФГБОУ ВО "ИГУ" п/с 20346U26080), БИК 042520001
организация, адрес, телефон, факс, банковские реквизиты

по ОКПО
 ООО "Измерительные системы", ИНН 5046021002, 108840, Москва г. Троицк г. Лесная ул. д. 4Б, кор. пом. 1, кв. ком.77, тел.: (495)840-37-71, р/с 40702810500220000017 в Банк "ВПС" (АО), БИК 044525250, корр/с 30101810445250000250
организация, адрес, телефон, факс, банковские реквизиты

по ОКПО 86659487

Поставщик ФГБОУ ВО "ИГУ", ИНН 3808013278, 664003 г. Иркутск, ул. К.Маркса, 1, тел.: 8(3952)33-21-70, р/с 40501810000002000001 в УФК по Иркутской области (ФГБОУ ВО "ИГУ" п/с 20346U26080), БИК 042520001
организация, адрес, телефон, факс, банковские реквизиты

по ОКПО
 Плательщик Иркутской области (ФГБОУ ВО "ИГУ" п/с 20346U26080), БИК 042520001
организация, адрес, телефон, факс, банковские реквизиты

по ОКПО
 Основание Договор №304 от 19.08.2020г. номер

наименование документа (договор, контракт, заказ-наряд) дата
 Номер документа Дата составления
4 12.11.20

ТОВАРНАЯ НАКЛАДНАЯ Транспортная накладная
 Вид операции

Но-мер по порядку	Товар наименование, характеристика, сорт, артикул товара	код	Единица измерения		Вид упаковки	Количество		Масса брутто	Количество (масса нетто)	Цена, руб. коп.	Сумма без учета НДС, руб. коп.	НДС		Сумма с учетом НДС, руб. коп.
			наименование	код по ОКЕИ		в одном месте	мест, штук					ставка, %	сумма, руб. коп.	
1	Магнитометр феррозондовый трехкомпонентный		шт	796				1.000	3000000.00	3000000.00	3000000.00	Без НДС	-	3000000.00
Итого									1.000	X	3000000.00	X	-	3000000.00
Всего по накладной									1.000	X	3000000.00	X	0.00	3000000.00

Товарная накладная имеет приложение на _____ листов
 и содержит _____ прописью _____ порядковых номеров записей

Один прописью
 Масса груза (нетто) _____
 Масса груза (брутто) _____

Всего мест _____ прописью _____

Приложение (паспорта, сертификаты и т.п.) на _____ прописью _____ листов

Всего отпущено на сумму Три миллиона рублей 00 копеек

Отпуск груза разрешен _____ директор _____ Кириakov В.Х.
расшифровка подписи


Главный (старший) бухгалтер _____ Кириakov В.Х.
расшифровка подписи

Отпуск груза разрешен _____ директор _____ Кириakov В.Х.
расшифровка подписи

По доверенности № _____ от " " _____ 20 года
 выданной _____
 кому (организации, месту работы, должности, фамилии, и.о.) _____
 Груз принял _____
подпись _____
расшифровка подписи

Груз получен _____
 грузополучатель _____
подпись _____
расшифровка подписи

М.П. _____ 20 года



Образец заполнения платежного поручения

УРАЛЬСКИЙ БАНК ПАО СБЕРБАНК г Екатеринбург		БИК	046577674
Банк получателя		Сч. №	30101810500000000674
ИНН 6659099112	КПП 667101001	Сч. №	40702810316120044161
ООО "НАГ"			
Получатель			
В назначении платежа просим указывать: "Оплата по счету № 59261 от 18 сентября 2020., в т.ч. НДС 20%, Итого НДС: 28 641,17"			

Счет на оплату № 59261 от 30 сентября 2020 г.

Заказчик: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Иркутский государственный университет", ИНН 3808013278, КПП 380801001

Плательщик: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Иркутский государственный университет", ИНН 3808013278, КПП 380801001

Комплект системы передачи данных геофизического комплекса УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ» в составе:

№	Артикул	Товары (работы, услуги)	Гарантия	Кол-во	Ед.	Цена	Сумма
1	WDC10 (уценка)	Кабель утечки воды 10м (уценка, после теста)	12 месяцев	1	шт	3 990,52	3 990,52
2	SNR-SFP-W3 5-3-I	Модуль SFP WDM, дальность до 3км (6dB), 1310nm, промышленный	36 месяцев	75	шт	1 137,77	85 332,75
3	SNR-PHA-DI N-1.0	Датчик напряжения на DIN рейку с аналоговым выходом "Phase Analyser-DIN"	12 месяцев	5	шт	945,35	4 726,75
4	SNR-ERD-3s	Устройство удалённого контроля и управления SNR-ERD-3s, металл корпус, блок питания, крепление DIN	12 месяцев	5	шт	4 594,41	22 972,05
5	SNR-SMART-DIN-A	Розетка управляемая SNR-SMART-DIN-A	12 месяцев	10	шт	677,54	6 775,40
6	SNR-SFP-W5 3-3	Модуль SFP WDM 3км 1550nm, SC connector	36 месяцев	75	шт	640,66	48 049,50

Итого: 171 846,97

В том числе НДС: 28 641,17

Всего к оплате: 171 846,97

Всего наименований 6, на сумму 171 846,97 руб.

Сто семьдесят одна тысяча восемьсот сорок шесть рублей 97 копеек

Настоящий счет-оферта (далее – «Счет») является письменным предложением (офертой) Поставщика заключить Договор, который направляется Получателю в соответствии со ст. ст. 432 - 444 ГК РФ. Договор заключается путем принятия (акцепта) оферты Покупателем в установленном порядке (п. 3 ст. 438 ГК РФ), что считается соблюдением письменной формы договора (п. 3 ст. 434 ГК РФ). Условия оферты:

1. Предметом Договора является обязательство Поставщика поставить товар, указанный в Счете.
2. Вознаграждением Поставщика по Договору является сумма, указанная в Счете.
3. Существенным условием заключения Договора является полная одновременная оплата настоящего Счета, которая будет считаться единственно возможным надлежащим акцептом данной оферты.
4. Оплата производится по факту поставки товара.
5. Адрес поставки товара: Иркутск, б. Гагарина, 20, НИИПФ ИГУ
6. Настоящий Счет (оферта) действителен в течение 30 (тридцати) дней с указанной в нем даты.
7. Досудебный (претензионный) порядок является обязательным. Любые неурегулированные споры, которые могут возникнуть между Исполнителем и Заказчиком в связи с настоящей офертой и/или Договором, подлежат рассмотрению по месту нахождения Исполнителя.

Выписал счет: Печкин А.А.

Руководитель предприятия _____ Самоделко Д.Г.

Главный бухгалтер _____ Лаптева О.Н.



Внимание! Оплата данного счета означает согласие с условиями поставки товара. Уведомление об оплате обязательно, в противном случае не гарантируется наличие товара на складе. Товар отпускается по факту прихода денег на р/с Поставщика, самовывозом, при наличии доверенности и паспорта.

ТОЧКА ПАО БАНКА "ФК ОТКРЫТИЕ" Г. МОСКВА		БИК	044525999
Банк получателя		Сч. №	30101810845250000999
ИНН 381017353196	КПП	Сч. №	40802810412500006075
Индивидуальный предприниматель Лоскутов Александр Игоревич			
Получатель			

Счет на оплату № 379 от 18 сентября 2020 г.

Поставщик: **Индивидуальный предприниматель Лоскутов Александр Игоревич, ИНН 381017353196, ОГРНИП 318385000076490, 664040, Иркутская обл, Иркутск г, Розы Люксембург ул, дом № 219, кв.27, тел.: +7 (3952) 64-80-00**

Покупатель: **ФГБОУ ВО «ИГУ», ИНН 3808013278, КПП 380801001, 664003, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, 1**

Основание: Счет № 379 от 18 сентября 2020

№	Товары (работы, услуги)	Кол-во	Ед.	Цена	Сумма
1	Маршрутизатор MikroTik hEX S	40	шт	5 370,00	214 800,00

Итого: 214 800,00
В том числе НДС: БЕЗ НДС
Всего к оплате: 214 800,00

Всего наименований 1, на сумму 214 800,00 руб.

Двести четырнадцать тысяч восемьсот рублей 00 копеек

Настоящий счет-оферта (далее – «Счет») является письменным предложением (офертой) Поставщика заключить Договор, который направляется Получателю в соответствии со ст. ст. 432 - 444 ГКРФ. Договор заключается путем принятия (акцепта) оферты Покупателем в установленном порядке (п. 3 ст. 438 ГКРФ), что считается соблюдением письменной формы договора (п. 3 ст. 434 ГКРФ).

Условия оферты:

1. Предметом Договора является обязательство Поставщика поставить товар, указанный в Счете.
2. Вознаграждением Поставщика по Договору является сумма, указанная в Счете.
3. Существенным условием заключения Договора является полная единовременная оплата настоящего Счета, которая будет считаться единственно возможным надлежащим акцептом данной оферты.
4. Оплата производится по факту поставки товара.
5. Адрес поставки товара: Иркутск, б. Гагарина, 20, НИИПФ ИГУ
6. Настоящий Счет (оферта) действителен в течение 30 (тридцати) дней с указанной в нем даты.
7. Досудебный (претензионный) порядок является обязательным. Любые неурегулированные споры, которые могут возникнуть между Исполнителем и Заказчиком в связи с настоящей офертой и/или Договором, подлежат рассмотрению по месту нахождения Исполнителя.

Руководитель **Индивидуальный предприниматель**

должность



подпись

Лоскутов А. И.

расшифровка подписи

Настоящий счет-оферта (далее – «Счет») является письменным предложением (офертой) Поставщика заключить Договор, который направляется Получателю в соответствии со ст. ст. 432 - 444 ГКРФ. Договор заключается путем принятия (акцепта) оферты Покупателем в установленном порядке (п. 3 ст. 438 ГКРФ), что считается соблюдением письменной формы договора (п. 3 ст. 434 ГКРФ).



Условия оферты:

1. Предметом Договора является обязательство Поставщика поставить товар, указанный в Счете.
2. Вознаграждением Поставщика по Договору является сумма, указанная в Счете.
3. Существенным условием заключения Договора является полная единовременная оплата настоящего Счета, которая будет считаться единственно возможным надлежащим акцептом данной оферты.
4. Оплата производится по факту поставки товара.
5. Адрес поставки товара: Самовывоз со склада поставщика, Баррикад 51/8.
6. Настоящий Счет (оферта) действителен в течение 30 (тридцати) дней с указанной в нем даты.
7. Досудебный (претензионный) порядок является обязательным. Любые неурегулированные споры, которые могут возникнуть между Исполнителем и Заказчиком в связи с настоящей офертой и/или Договором, подлежат рассмотрению по месту нахождения Исполнителя.

Продавец: ООО "ДНС Ритейл", ИНН:2540167061

690068, Приморский край, город Владивосток, Проспект 100-летия Владивостока, дом 155, корпус 3, офис 5, тел. 8-800-700-4-666

Образец заполнения платежного поручения

Получатель ИНН 2540167061, КПП 381243001, Филиал Восточносибирский ООО "ДНС Ритейл"	Сч. №	40702810118350028234
Банк получателя БАЙКАЛЬСКИЙ БАНК ПАО СБЕРБАНК, Иркутск	БИК	042520607
	Сч. №	30101810900000000607

Счет на оплату № А-00319626 от 21.09.2020

Покупатель: ФГБОУ ВО "ИГУ"

664003, ОБЛАСТЬ ИРКУТСКАЯ, ГОРОД ИРКУТСК, УЛИЦА КАРЛА МАРКСА, ДОМ 1,
Телефон: факс 42-59-93, 42-11-42; т.52-10-10 (24-32-78)

№	Код	Наименование товара	Цена	Кол-во	Сумма
1	1097950	Мышь проводная Logitech Gaming Mouse G102 Prodigy 8000dpi (910-004939) USB	1 899.00	6	11 394.00
2	1626218	Монитор Dell 27" E2720HS [1920x1080, 60Hz, 5ms, IPS, 2x2Вт, VGA, HDMI, HA]	11 999.00	4	47 996.00
3	1137211	Кронштейн для ТВ DEXP AM-42T [200x200; Накл.; Наклон -10°/5°; Поворот 0°; Раст. от стены 50 мм; До 35 кг; 23"-42"; Черный]	1 050.00	1	1 050.00
4	1051493	Кабель HDMI (M) - HDMI (M), 2m, FinePower [HdTms200] Черный	499.00	6	2 994.00
5	1370353	17.3" Ноутбук ASUS TUF Gaming (FX705DT-AU042)(FHD/IPS) AMD Ryzen 5 3550H/8192/SSD 512/NV GTX1650 4Gb/Dos/	59 999.00	1	59 999.00
6	8168476	Телевизор LED 55" (139 см) LG 55UN7350 [4K UltraHD, 3840x2160, Smart TV]	41 999.00	1	41 999.00
7	1642581	17.3" Ноутбук ASUS ROG Strix G (GL731GT-H7118T)(FHD/IPS/120Hz) i7 9750H/16384/SSD 512/NV GTX1650 4Gb/Win10/Black	94 999.00	1	94 999.00
8	1372467	Клавиатура+мышь беспроводная Smartbuy SBC-229352AG-K One, Black	1 099.00	1	1 099.00
9	1125428	Монитор Samsung 27" C27F390FHI [LC27F390FHXRU] [Curved, FreeSync, VA, 1920x1080, 3000:1, 4мс, 250, D-Sub, HDMI]	11 599.00	1	11 599.00
10	1642675	15.6" Ноутбук ASUS Laptop (F509JA-BQ310T)(FHD/IPS) i7 1065G7/8192/SSD 512/IrisPlus/Win10/Grey	69 999.00	1	69 999.00
11	1027734	Мышь проводная Redragon Centrophorus черный [3200 dpi, подсветка, ПО, кнопки - 6]	1 199.00	2	2 398.00
12	1673309	17.3" Ноутбук HP Laptop 17-by2011ur (FHD/IPS) Pentium 6405U/8192/SSD 256/IntelUHD/Win10/Black	43 999.00	2	87 998.00

№	Код	Наименование товара	Цена	Кол-во	Сумма
13	1107866	Внешний HDD Toshiba 3Тb CANVIO Ready [HDTP230EW3CA] 2.5" USB 3.0 White	7 999.00	2	15 998.00
Итого:					449 522,00 руб.
В том числе:					74 920,33 руб.
НДС					

Всего наименований 13, на сумму 449 522,00 руб.

Сумма: Четыреста сорок девять тысяч пятьсот двадцать два рубля 00 копеек

Управляющий
магазином высшей
категории

Ельшин



Ельшин Е.В.

8. Подготовка проекта и инфраструктуры для включения в состав УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ» широкоугольных телескопов (30 градусов поле зрения), регистрирующих черенковское и флуоресцентное излучение ШАЛ.

Расширение высокоэнергетической границы нейтринной астрономии в диапазоне энергий 10-100 ПэВ, гамма-астрономии в диапазоне 100 ТэВ и улучшение измерений состава космических лучей в области энергий 10-100 ПэВ могут быть достигнуты путем разработки небольших широкоугольных телескопов, способных работать как в качестве атмосферного черенковского телескопа с анализом изображения, так и в качестве детектора флуоресценции ШАЛ.

Включение таких телескопов в состав комплекса установок TAIGA существенно расширит его экспериментальные возможности как мощного инструмента для многоканальной астрономии (multimessenger astronomy).

С этой целью разработан прототип флуоресцентных телескопов для использования в “гибридном режиме”: режим флуоресцентного детектора - регистрация космических лучей в области 10-100 ПэВ (в сочетании с установками комплекса TAIGA), режим черенковского детектора - регистрация гамма-излучения с энергией больше 10 ТэВ (также в сочетании с установками комплекса TAIGA), а также в режиме тестирования возможностей детектирования нейтрино путем регистрации черенковского и флуоресцентного света от восходящего ШАЛ [1].

Для решения поставленных научных задач оптическая система телескопа формирует изображение на фокальной поверхности прибора в широком поле зрения. Рассмотрено два варианта оптической схемы (ОС): линзовая и схема Шмидта (рис.8.1 и 8.2) (оба апробируются в коллаборации JEM-EUSO).

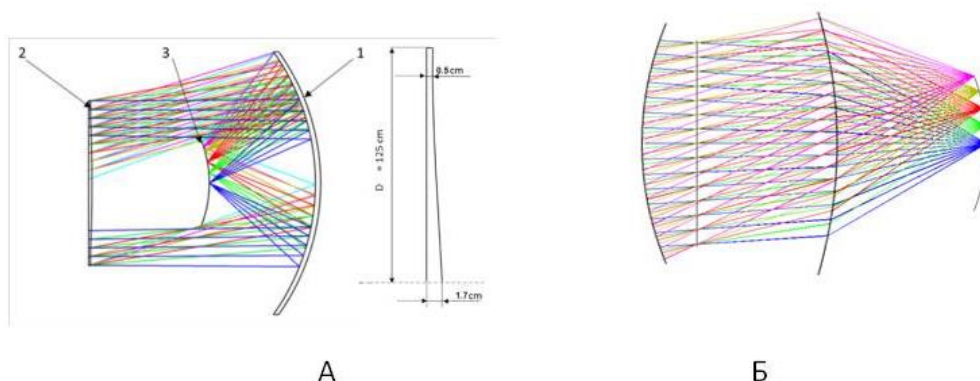
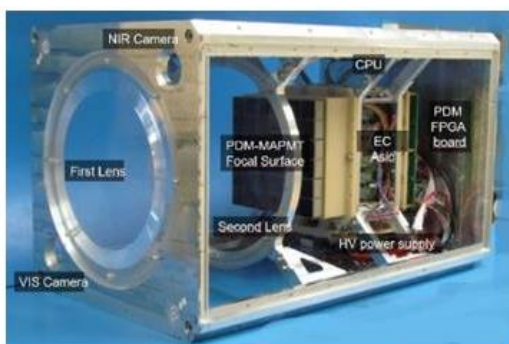
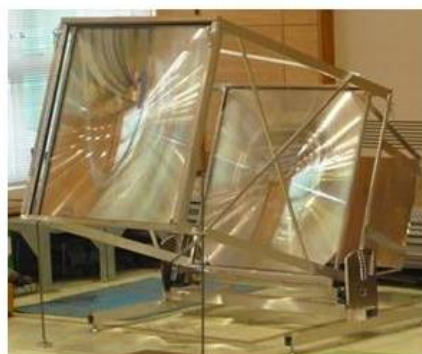


Рисунок 8.1 – Варианты оптической системы «КЛПВЭ» А – оптическая система Шмидта. Б – линзовая система.

Наиболее предпочтительным является линзовый вариант, т.к. он успешно использован в ряде проектов: EUSO-Balloon, EUSO-SBP1, EUSO-TA [2] и является основным в проекте «КЛПВЭ» на сегодняшний день.



А



Б

Рисунок 8.2 – Примеры реализации линзовой системы- А – детектор Mini-EUSO. Б - EUSO-Balloon,

Фотоприемная поверхность реализована на основе кремниевых фотоэлектронных умножителей. На сегодняшний день основным вариантом являются 6 мм SiPM фирмы SENSIL. Они апробированы в космических экспериментах по регистрации ультрафиолетового свечения на спутнике «ВДНХ-80». Фотоприемник имеет модульную структуру, обеспечивая возможность увеличивать поле зрения прибора (минимальная конфигурация – 2 модуля с полем зрения 10x10 градусов каждый) и его ремонтпригодность. В рамках проекта Mini-EUSO один модуль состоял из 2304 пикселей.

Для считывания информации на первом этапе предполагается использование уже разработанных систем на платах, использующих ASIC CITIROC. Эти платы были разработаны Департаментом ядерной физики и частиц (DPNC) Женевского университета для эксперимента BabyMIND. Для первого прототипа он будет располагаться вне объема телескопа. На втором этапе проекта планируется оптимизировать электронику, сделать ее более компактной и быстрой, используя наработки проектов mini-EUSO и K-EUSO (блоки цифровой обработки данных на основе системы на кристалле фирмы XILINX).

Разработка и установка в составе астрофизического комплекса ТАЙГА широкоугольного телескопа флуоресценции и черенковского излучения наклонных ШАЛ с апертурой 1,25 м² и широким полем зрения 10°x20° с модульной фокальной поверхностью на основе кремниевых фотоэлектронных умножителей.

Набор и анализ данных автономной работы телескопа и совместно с детекторами комплекса TAIGA в диапазоне энергий 10-100 ПэВ. Уточнение энергии перехода от галактических космических лучей к доминированию новой внегалактической компоненты

КЛ, в которой преобладают протоны и легкие ядра. Измерение состава космических лучей.

Набор данных изображений ШАЛ в широкоугольном телескопе в режиме атмосферного черенковского телескопа (АЧТ) совместно с данными мюонных детекторов комплекса TAIGA, что позволит производить поиск гамма-излучения высокой энергии при очень низком фоне событий от космических лучей за счет “мюонного вето”.

Проверка возможности детектирования нейтрино путем регистрации черенковского и флуоресцентного света от восходящего ШАЛ.

Одним из серьезных ограничений традиционной техники черенковских гамма-телескопов является малый объем годовых экспозиций (duty cycle) космических гамма-источников, являющийся результатом малого динамического диапазона традиционных вакуумных фотоумножителей (ФЭУ). Даже не очень сильная засветка ночного неба Луной или предрассветным/послезакатным Солнцем не позволяет вести наблюдения и даже может привести к безвозвратному выходу из строя ФЭУ, работающих при киловольтовом напряжении. Таким образом, суммарная годовая экспозиция традиционных черенковских гамма-телескопов обычно не превышает нескольких сотен часов даже в локациях с хорошим астроклиматом [3,4].

Решение указанной проблемы может быть связано с использованием в качестве фотодетекторов так называемых кремниевых фотоумножителей (silicon photomultipliers, SiPM), которые обеспечивают сопоставимое усиление фотосигнала в гейгеровском режиме], работают при существенно меньших напряжениях (до 20-30 В), обладают компактностью и существенно меньшим весом, что весьма существенно при мультиинструментальных наблюдениях быстрых гамма-транзиентов. Ряд производителей кремниевых фотоумножителей, в частности, Hamamatsu и ON Semiconductor создали и продолжают совершенствовать линейки SiPM, оптимизированные для регистрации черенковского излучения ШАЛ с точки зрения спектральной чувствительности. Некоторыми недостатками кремниевых фотоумножителей (наряду с относительно высокой стоимостью) являются существенная зависимость порога усиления от температуры, которая может приводить к падению коэффициента усиления, и чувствительность в красном диапазоне длин волн (выше 600 нм), которая может ухудшать соотношение сигнал/шум из-за растущего в красную сторону спектра фона ночного неба при падающей интенсивности полезного сигнала от ШАЛ. Однако эти недостатки можно компенсировать при использовании термостата и/или цепи подстройки напряжения питания с термодатчиком, а также при использовании входного оптического фильтра, подавляющего длинноволновое излучение [3,4].

В настоящее время технологии регистрации черенковского излучения от ШАЛ с помощью кремниевых фотоумножителей активно развиваются рядом научных групп, разрабатывающих черенковские гамма-телескопы нового поколения. Первый действующий прототип черенковского телескопа на SiPM был разработан в институте им. П. Шерера (Швейцария) [5], ряд схем прорабатывается в рамках крупномасштабного проекта СТА [6,7]. Небольшие размеры и относительно высокая стоимость кремниевых фотоумножителей являются причиной проработки двухзеркальных схем, позволяющих уменьшить размеры детекторной камеры [8].

В целом, современные технологии детектирования черенковского света с SiPM еще далеки от совершенства, имеется ряд конкурирующих подходов к построению схем детектирования, снятия и обработки данных, например, в части баланса между коэффициентом заполнения, коэффициентом усиления и уровнем шума, оптимальными спектральными характеристиками и быстродействием, и это говорит о необходимости дальнейшей проработки и апробации таких схем, что составляет одну из задач настоящего проекта.

В рамках развития сегмента TAIGA-IACT многоцелевой обсерватории TAIGA, который будет состоять из 16 малоразмерных черенковских гамма-телескопов, чувствительных в диапазоне выше нескольких ТэВ и работающих как в моно-, так и в стереоскопическом режиме [9], предполагается оснастить часть этих телескопов детекторными камерами на основе современных кремниевых фотоумножителей. Для этой цели в ФТИ им. А.Ф. Иоффе будут разработаны детектирующие элементы на основе SiPM, а также быстрые системы сбора и первичной обработки данных (fastread-out), позволяющие на аппаратном уровне выделять полезный сигнал от ШАЛ из фона ночного неба, записывать его и передавать в центральную систему сбора и анализа данных обсерватории TAIGA [9,10]. Применение кремниевых фотоумножителей позволит увеличить время экспозиции космических источников гамма-излучения за счет наблюдений в лунные ночи, а также в предрассветные и послезакатные часы. В перспективе, уменьшение веса детекторной камеры позволит быстро переориентировать черенковские телескопы и осуществлять наблюдения быстрых гамма-транзиентов на масштабах менее минуты [11]. Мультиспектральные исследования гамма-транзиентов весьма актуальны и вполне осуществимы, в частности, в силу функционирования группы космических гамма-детекторов, объединенных в сеть InterplanetaryNetwork (одним из сегментов которой является разработанный в ФТИ гамма-спектрометр KONUS-WIND). Оптическое послесвечение таких событий может быть эффективно зарегистрировано с помощью телескопа МАСТЕР, входящего в состав комплекса TAIGA [9].

8.1. Обобщение и выводы о результатах проделанной работы.

В соответствии с п 3.11 в рамках данного проекта была создана инфраструктура для подключения к энергоснабжению, системам сбора данных и связи широкоугольных телескопов (30 градусов поле зрения), регистрирующих черенковское и флуоресцентное излучение ШАЛ. Схема данных коммуникаций включена в общие схемы инфраструктуры на рис.2.4 и 3.4. Отчета. В разделе 7 также представлены результаты вы-полненной сверх плана работы по созданию проекта широкоугольных телескопов (30 градусов поле зрения), регистрирующих черенковское и флуоресцентное излучение ШАЛ. В рамках развития сегмента TAIGA-IACT многоцелевой обсерватории TAIGA, который будет состоять из 16 малоразмерных черенковских гамма-телескопов, чувствительных в диапазоне выше нескольких ТэВ и работающих как в моно-, так и в стереоскопическом режиме, часть этих телескопов будет оснащена детекторными камерами на основе современных кремниевых фотоумножителей. Набор данных изображений ШАЛ в широкоугольном телескопе в режиме атмосферного черенковского телескопа (АЧТ) совместно с данными мюонных детекторов комплекса TAIGA, позволит производить поиск гамма-излучения высокой энергии при очень низком фоне событий от космических лучей за счет “мюонного вето”.

Литература к разделу 8

1. A.Neronov, D.V.Semikoz, Ie.Vovk, R.Mirzoyan, Phys.Rev. D94, 123018 (2016),).
- 2.M. Casolino, The EUSO program to study UHECR from space: status and perspectives, PoS ICRC2017 (2018) 370
- 3.Холупенко,ЕЕ; Аруев,ПН; Байко,ДА; Богданов,АА; Васильев,ГИ; Забродский,ВВ; Красильщиков,АМ; Тубольцев,ЮВ; Чичагов,ЮВ, ALEGRO - черенковская гамма-обсерватория нового поколения, Ядерная физика и инжиниринг, т.7, 1 страницы: 37-40, 2016.
- 4.Быков,АМ; Агаронян,ФА; Красильщиков,АМ; Холупенко,ЕЕ; Аруев,ПН; Байко,ДА; Богданов,АА; Васильев,ГИ; Забродский,ВВ; Троицкий,СВ; Тубольцев,ЮВ; Кожберов,АА; Левенфиш,КП; Чичагов,ЮВ, Черенковские гамма-телескопы: прошлое, настоящее, будущее. Проект ALEGRO, Журналтехническойфизики, т. 87, в. 6, с. 803-821, 2017.

5. A. Biland, T. Bretz, J. Bu, et al., Calibration and performance of the photon sensor response of FACT – the first G-APD Cherenkov telescope, *J. Instrumentation*, 9 (10), P10012, 2014.
6. J. Hinton, S. Sarkar, D. Torres, J. Knapp, A New Era in Gamma-Ray Astronomy with the Cherenkov Telescope Array, *Astroparticle Physics*, 43, 1, 2013.
7. A. Asano et al. Evaluation of silicon photomultipliers for dual-mirror Small-Sized Telescopes of Cherenkov Telescope Array, *Nuclear Instruments and Methods A*, 912, 177, 2018.
8. S. Lombardi et al., First detection of the Crab Nebula at TeV energies with a Cherenkov telescope in dual-mirror Schwarzschild-Couder configuration: the ASTRI-Horn telescope, eprint arXiv:1909.12149, 2019.
9. Кузьмичев Л.А. и др (Коллаборация TAIGA), Гамма-обсерватория TAIGA – статус и перспективы, *Ядерная физика*, т. 81, с. 1-11, 2018.
10. Холупенко, Е.Е.; Быков, А.М.; Агаронян, Ф.А.; Васильев, Г.И.; Красильщиков, А.М.; Аруев, П.Н.; Забродский, В.В.; Николаев, А.В., Регистрация ультрафиолетового излучения широких атмосферных ливней: перспективы для черенковской гамма-астрономии, *Журнал технической физики*, т. 88, в. 11, с. 1655-1666, 2018.
11. Холупенко, Е.Е.; Красильщиков, А.М.; Бадмаев, Д.В.; Богданов, А.А.; Тубольцев, Ю.В.; Чичагов, Ю.В.; Антонов, А.С.; Кулешов, Д.О.; Хилькевич, Е.М., Перспектива использования кремниевых фотоумножителей в детекторной камере малоразмерного черенковского гамма-телескопа для снижения порога регистрации космического излучения, *Журнал технической физики*, т.90, 6, с. 925-935, 2020.

9. Проведение штатных сеансов наблюдений осеннего- сезона 2020 года с помощью действующих детекторов и установок УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ», обработка и анализ полученных экспериментальных данных

9.1 Проведение штатных сеансов наблюдений осеннего- сезона 2020 года

Главной исследований, которые ведутся на базе инфраструктуры УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ», - решение фундаментальных задач и проблем астрофизики элементарных частиц и физики высоких энергий, а именно: поиск и исследование Галактических и внегалактических объектов с мощным выделением энергии, изучение природных механизмов генерации гамма - квантов и ускорения заряженных частиц до предельных энергий; поиск новых видов материи (суперсимметричных частиц, магнитных монополей и т.д.); исследование процессов, сопровождающих распространение гамма-квантов высокой энергии в межгалактической среде, в том числе поиск фотон - аксионных переходов и нарушений Лоренц-инвариантности.

В 2020 году набор данных велся на следующих установках УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ»:

1. Широкоугольная черенковская установка Tunka -133 [15,16] (в составе 175 широкоугольных черенковских детекторов, сгруппированных в 25 кластеров, распределенных на площади 3 км^2 (Рис.9.1).

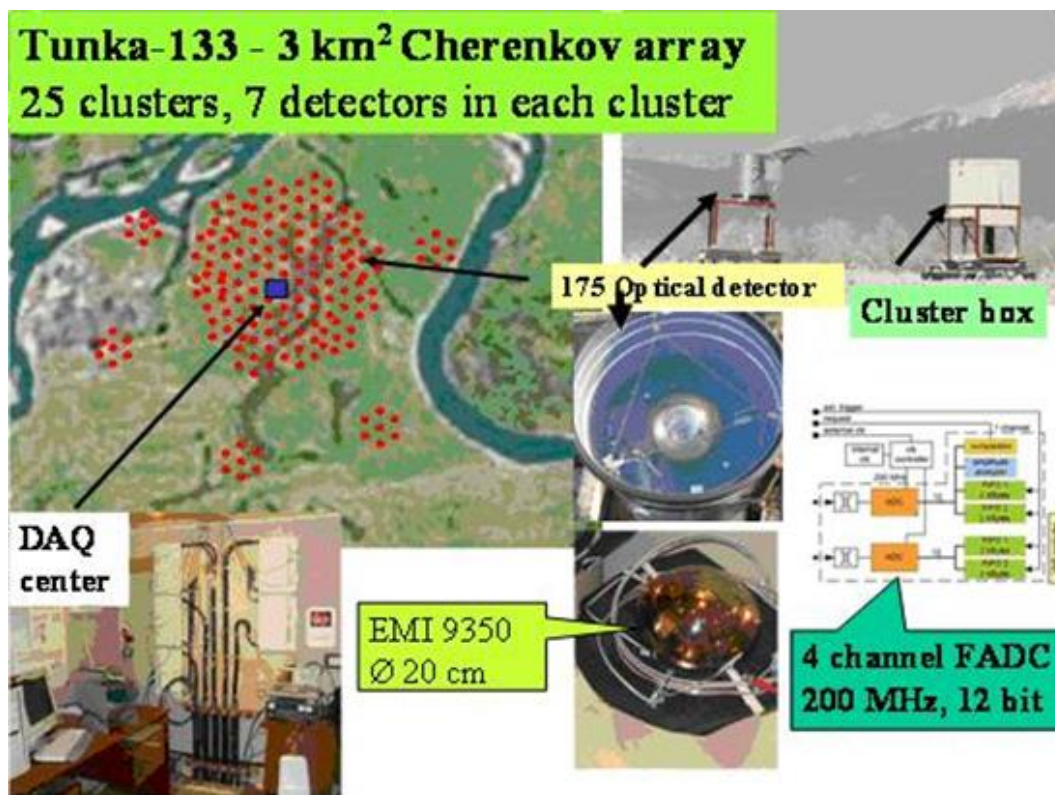


Рисунок 9.1 - Установка Тунка-133 в составе которой 175 оптических детекторов (справа вверху), сгруппированных в 25 кластеров, распределенных на площади около 3 км^2

Каждый детектор установки Tunka-133 содержит один ФЭУ с диаметром фотокатода 20 см. Энергетический порог установки $3 \cdot 10^{15}$ эВ. Энергетическое разрешение 15%, точность определения глубины максимума ШАЛ не хуже 25 г/см^2 , точность восстановления положения оси ШАЛ – 6 – 10м, направления оси ШАЛ -0,5 град. В настоящее время это крупнейшая в мире плотная широкоугольная черенковская установка ШАЛ.

2. Широугольная низкорогова ячеренковская установка TAIGA-HiSCORE (HiSCORE – HundredSquare-kmCosmicOriginExplorer) в составе трех кластеров, включающих 85 оптических станций установки, распределенных на площади $0,75 \text{ км}^2$. (Рис.9.2) Каждая станция содержит 4 фотоэлектронных умножителя (ФЭУ) с диаметром фотокатода 20-25 см. Порог регистрации порожденных гамма-квантами ШАЛ - 30 ТэВ, заряженными космическими лучами – 100 ТэВ. По данным о время-амплитудной структуре ШАЛ, измеренной с помощью широкоугольных детекторов установки TAIGA-HiSCORE, направление прихода первичной частицы восстанавливается с точностью 0.1 - 0.2 град., положение оси ШАЛ с точностью 5 - 6 м, энергия ШАЛ с точностью 10-15%, глубина максимума ШАЛ с погрешностью не хуже 25 г/см^2

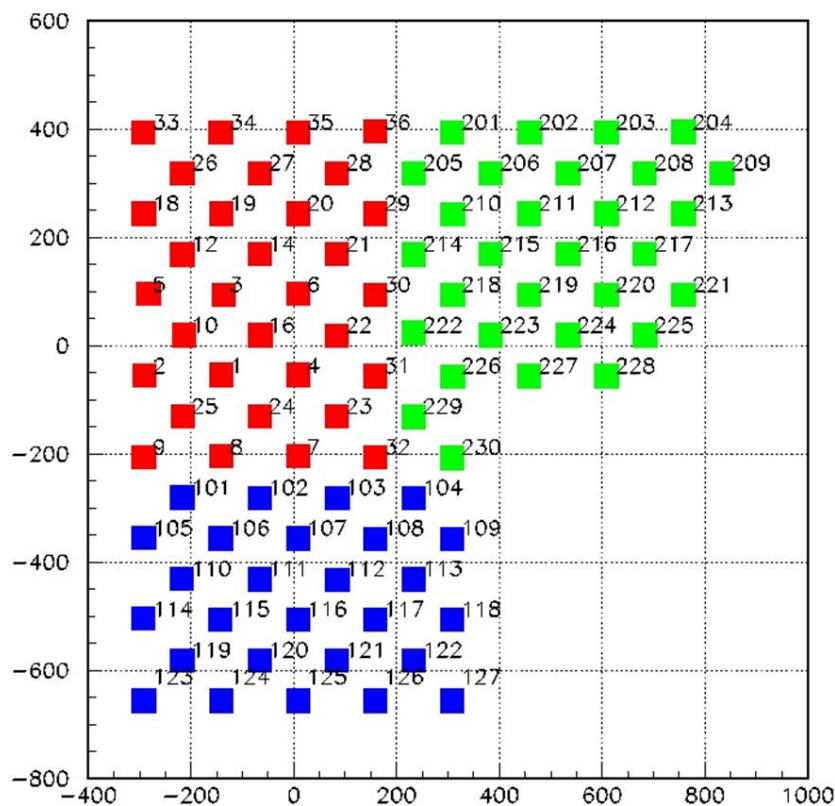


Рисунок 9.2. План расположения оптических станции установки TAIGA-HiSCORE. Первый кластер (красный цвет) - 32 станции, пронумерованы от 1 до 36 (отсутствуют станции 11,13,15 и 17); второй кластер - 27 станций (синий цвет), пронумерованы от 101 до 127, третий кластер - 30 станций (зеленый цвет), пронумерованы от 201 до 230.

3.Сцинтилляционная установка Tunka-Grande (Рис.9.3), которая состоит из 19 станций, распределенных на площади 1 км^2 . Каждая станция имеет наземный детектор из 12 сцинтилляционных счетчиков (общая площадь 8 м^2), для регистрации электронно-фотонной компоненты ШАЛ, и подземный детектор из 8 счетчиков (общая площадь 5 м^2), расположенных под слоем грунта 1.5 м для регистрации мюонов. Полная площадь мюонных детекторов составляет 95 м^2 . Энергетический порог установки примерно 10^{16} эВ (100% эффективность регистрации ШАЛ пятью наземными станциями).

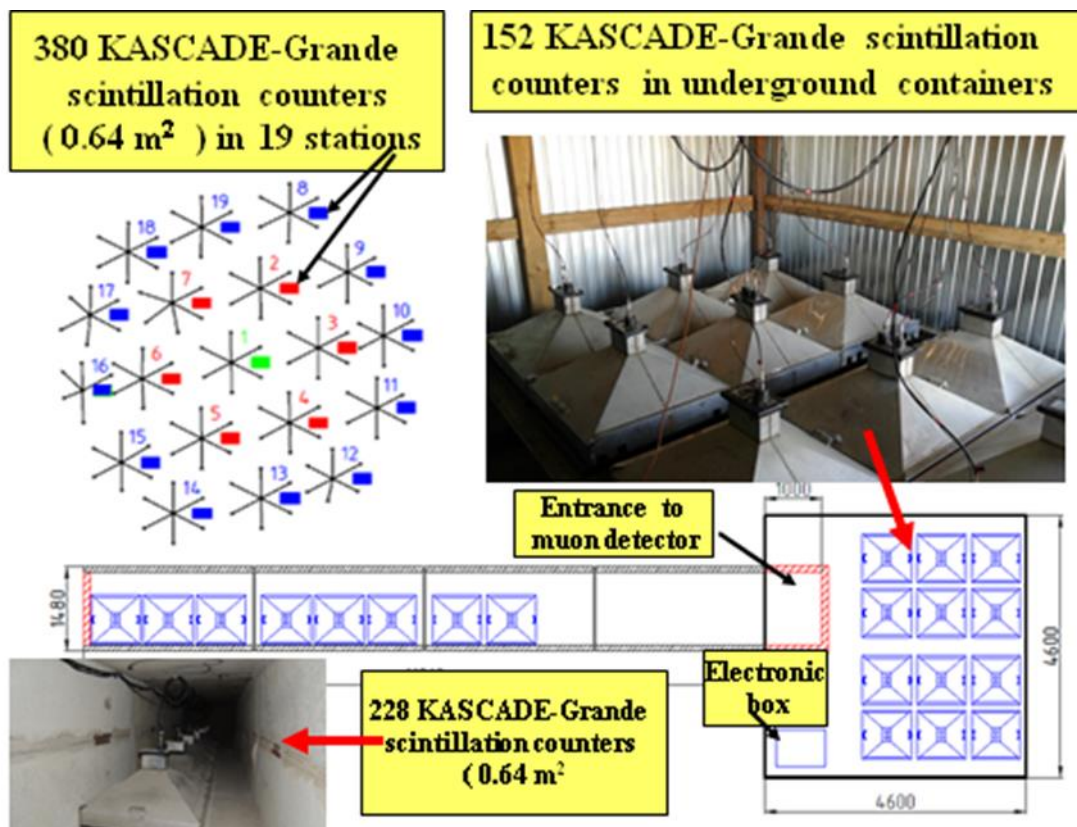


Рисунок 9.3 - Сцинтилляционная установка Tunka-Grande. Вверху слева – расположение станций установки (синие, красные и зеленый прямоугольники относительно установки Tunka-133). Справа вверху внутри наземной части станции и внизу слева – подземной части станции установка Tunka-Grande.

4. Два атмосферных черенковских телескопа установки TAIGA- IACT (Imaging Atmospheric Cherenkov Telescope) (Рис.9.4). Рефлектор телескопа имеет специальную сферическую форму диаметром 432 см ($F/1.1$). Совокупная площадь 29 зеркал диаметром 60 см составляет около 10 м^2 . В фокусе зеркала расположена камера на базе 560 ФЭУ ХР1911 диаметром фотокатода 19 мм . Энергетический порог регистрации гамма-излучения телескопом около 2 ТэВ . Чувствительность в диапазоне $2\text{-}20 \text{ ТэВ}$ составляет $10^{12} \text{ эрг/ см}^2 \text{ с}$. при 50 часах наблюдения за источником.



Рисунок 9.4 – Атмосферный черенковский телескоп установки TAIGA-IACT.

5. Сцинтилляционная установка TAIGA-Muon (Рис.9.5), в составе двух кластеров. Каждый кластер имеет наземный детектор из 6 сцинтилляционных счетчиков (общая площадь 6 кв.м, для регистрации электронно- фотонной компоненты ШАЛ, и подземный детектор из 6 счетчиков (общая площадь 6 кв.м), расположенных под слоем грунта 1.5 м для регистрации мюонов. Энергетический порог установки примерно 10 ПэВ.

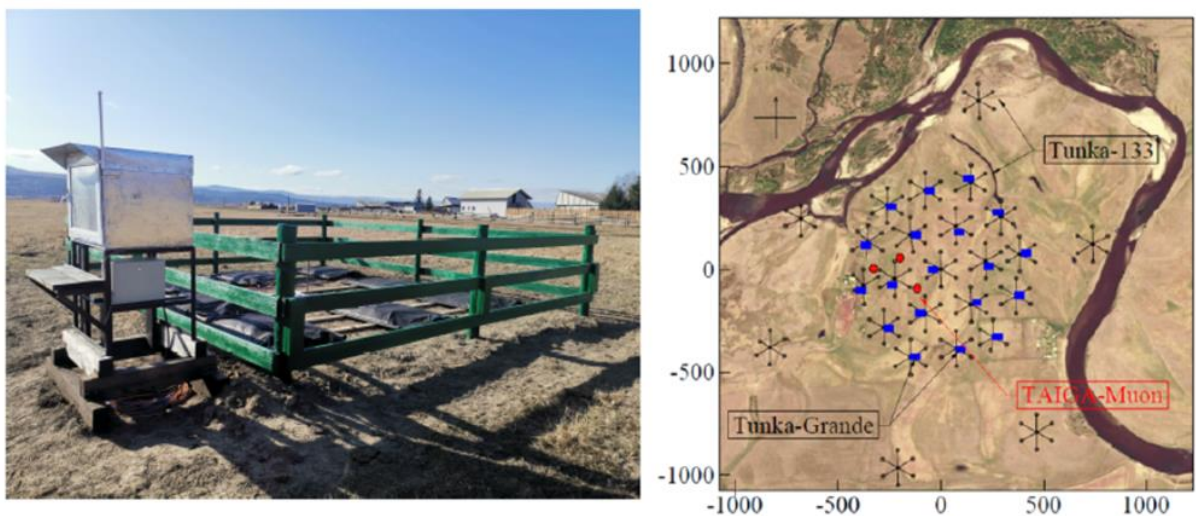


Рисунок 9.5 - Внешний вид наземной части кластера и расположение установки TAIGA-Muon (красные кружки) относительно установок Тунка-133 (черные кружки) и Tunka-Grande (синие прямоугольники)

Эксплуатация широкоугольных черенковских установок Тунка-133 и TAIGA-HiSCORE и АЧТ установки TAIGA- IACT в летняя время не проводятся из-за слишком малой длительности ночей. Эти установки вели набор данных в 2020 году в течение 532 часов. Всепогодные установки» Tunka-Grande и Tunka-Rex вели набор данных в течение всего года практически непрерывно, однако, в период сильной грозовой активности в июле – августе и они отключались во избежание поражения молниями их электроники. Эти установки вели набор данных в 2020 году в течение примерно 3265 часов. Зимний сезон наблюдений 2020-2021 годов был начат в сентябре.

Измерения с помощью робот-телескопа МАСТЕР-400 велись до 12 октября 2020 года, затем в течение пяти недель велись работы по замене его на новый телескоп МАСТЕР-600. С середины ноября начаты тестовые измерения с помощью МАСТЕР-600 (Рис.9.6). Автоматика МАСТЕРА настроена так, что крыша его астрономического павильона открывается автоматически, когда по погодным условиям наблюдения возможны, и закрывается, когда погода портится или с ростом освещенности по утрам.



Рисунок 9.6 – Робот -телескоп MASTER-600.

В каждую текущую ночь важное значение имеет прозрачность ночной атмосферы и отсутствие облачности. Относительное значение прозрачности атмосферы контролировалось с помощью оптических приборов и приборов на базе инфракрасных датчиков во время наблюдений, а также определялось по скорости счета широких атмосферных ливней (ШАЛ) с помощью черенковских установок. При осуществлении дежурства при наборе данных для контроля состояния ночной атмосферы также используются текущие показания картинок звездного поля с web-страницы астрономического телескопа-робота MASTER-Tunkal (<http://observ.pereplet.ru/>). При отсутствии облачности или тумана картинки звездного поля <Lastimage WEST> и <Lastimage EAST> содержать четкие кадры звезд до 20-21 звездной величины на темном фоне что соответствует примерно прозрачности ночной атмосферы 0.7-0.8. Информация о состоянии телескопа отображается с помощью специальной мониторинговой программы(Рис.9.7),

Mobile Astronomical System of Telescope-Robots
MASTER-II Tunka
 Lomonosov Moscow State University, Irkutsk State University, Applied Physics Institute ISU
 Latitude = 51° 48' 36.00" N; Longitude = 6° 52' 16" E (103° 04' 02.61" E); Altitude = 680 m
 MASTER-II (twin telescope with 8 square degrees FOV, 20-21m for 180s)+ MASTER-Very-Wide-Field Cameras (FOV~800 sq.deg, unfiltered m_lim=14m (5s exp), and ~10.5m with 0.15 sec)

MASTER-telescope was made by OAO "Moscow Association "Optics"

MASTER-Tunka PI is Prof.V.Lipunov
 MASTER-Tunka Team are Dr.N.Budnev, O.Gress, K.Ivanov, Dr.S.Yazev, Dr.V.Poleschuk, O.Chvalaev, E.Konstantinov

2020 December 09 03:38:51 UTC

Could not connect:

Weather & Roof status

Sky Dew Amb StatusLast socket data obtained: Sun Alt: 13 degRobot is ON Head is ONhost = 192.168.199.201,
 Direct: 19.10.02 at 02:11:21 UTC port = 38381
 Reserv: 20.12.09 at 03:38:46 UTC

Mount is Operation faild (45 OK STATUS=READY SLEWSTATUS=False TRACKINGSTATUS=False
 Flanner is ON

id	OK/Error	Cameras	Status	Count
1	Error		unknown	unknown

STATUS	SLEWSTATUS	TRACKING
READY	False	Fals

socket_connect() failed.

Web-camera 1 Web-camera 2

Last image WFC 1 Last image WFC 2

Рисунок 9.7 - Информация о состоянии телескопа MASTER- 600 отображается с помощью специальной мониторинговой программы

В периоды безлунных ночей, когда проводятся сеансов черенковских наблюдений смена дежурных операторов включает в себя 4 -5 человек, когда работают только всепогодные установки» Tunka-Grande и Tunka-Rex смена дежурных операторов включает в себя 2 3 человека. Управление работой всех установок в штатном режиме

осуществляется из здания, которое называется «Лаборатория» УНУ «Астрофизический комплекс МГУ- ИГУ».

В случае выхода из строя и нештатной работы детекторов операторы дежурной смены проводят первичный анализ неисправностей и по возможности проводят ремонт и устранение неполадок самостоятельно. В случае более серьезных поломок для ремонта приезжают сотрудники Лаборатории «Астрофизики элементарных частиц и гамма-астрономии» НИИПФ ИГУ.

Расписание проведения основных штатных сеансов черенковских измерений в ТАЦКП ИГУ определяется тем, что черенковские установки Тунка-133 и TAIGA-NiSCORE могут работать только в период безлунных ночей. Время работы установки в течение сеанса наблюдений определяется восходом (заходом Луны и восходом (заходом) Солнца. В зимний период время наблюдения может составлять 11-12 часов ночного времени в сутки.

Первичные данные собираются на РС, осуществляющие набор данных. Далее проводится предварительная обработка данных с целью уменьшения их объёма и извлечения полезных (триггерных) событий. После этого данные записываются на сменные носители (USB-диски) и перевозятся на файловые хранилища в серверные центры организаций участников международной коллаборации TAIGA для дальнейшей обработки. Данные наблюдений робот – телескопа MASTER передаются непрерывно в on-line режиме в ГАИШ МГУ. Ежедневно старший дежурный оператор рассылает отчет участникам международной коллаборации TAIGA о ходе и особенностях процесса измерений на установках гамма-обсерватории, пример отчета приведен на рисунке 9.8

TAIGA Observatory Report 2020-12-07/08

Weather:

Night Sky Estimation : 5++ (very good)
Outside Temperature : -21 °C
Atmospheric Pressure : 711 mmHg
Relative Humidity : 77 %
Comments: --

HiSCORE:

Status: On operation → Run: 071220
Data Taking time: 13:38 – 15:55 UT
Cluster 1: 28 stations, Count_Rate= 18.8 Hz.
Cluster 2: 23 stations, Count_Rate= 13.8 Hz.
Cluster 3: 25 stations, Count_Rate= 21.3 Hz.
Problems: Station 016, 023, 201, 222 – not operation.
Station 004, 017, 031, 103, 107, 205 – problems with open/close covers.
Comments: --

IACs:

Status: On operation → Run: 071220, 01, .02, ..., Start/Stop: 13:22 – 15:57 UT

	IAC	Run	Source	Mode	Start	Duration	Count Rate
08	IAC01	071220.04	Crab	wobble	15:07	00h 02m	24 (017 - 030) Hz
09	IAC01	071220.05	Crab	wobble	15:30	00h 24m	619 (401 - 1538) Hz
10	IAC02	071220	???	wobble	00:01	02h 18m	645 (629 - 657) Hz

Problems: IACT-01 could not make a dataset because the telescope was not ready for work from the previous session! IACT-02 clusters 20,21,22 are not operation.
Comments: IACT-01 was in calibration pointing system mode.
 IACT-02 was in Crab wobble pointing mode.

Tunka-133 + Grande:

Status: On operation → Run: 071220, 18 clusters (121 detectors).
DataTaking ~ 02.8 hours, Pair-Triggers= 18.
Problems & Comments: Detectors 03-2, 10-7, 10-2, 18-6 are not operation.

Grande:

Status: On operation → Run: 071220, .01, 18 station (360 detectors).
DataTaking ~ 19.7 hours.
Problems & Comments: --

TAIGA-Muon:

Status: On operation → Run: 071220, 01 station (16 detectors).
DataTaking ~ 02.6 hours, Count_Rate ~ 16 Hz.
Problems & Comments: --

MeteoStation & RadioMonitor:

Status: MeteoStation is OK! RadioMonitor is OK!

Comments: As in the previous report. No repair info has been reported.

Other:

Power Supply: OK!

Comments: MegaHost is OK from PC (not GPS) !!!

HiS-17 station = SIT detector: problem with cover for close mode (it was not close).

Observation Schedule: According to the Heavenly Schedule!

Supplement for attaching additional information (scans, graphs, photos, etc.):

Dragonfly (VER_J2019+368)	304.854 +36.804
Boomerang (TeV_J2228+611)	337.183 +61.167
Crab Nebula	083.633 +22.015
Mrk421	166.079 +38.195

Рисунок 9.8- Пример ежедневного отчет дежурного оператора о ходе и особенностях процесса измерений на установках гамма-обсерватории TAIGA.

9.2. Обработка и анализ полученных экспериментальных данных

В 2020 бы введен в строй второй АЧТ установки TAIGA-IACT, в 2021 году начнет работать третий, а в 2022году – четвертый, расстояния от него до первых трех будет порядка 250 м (Рис.9.9). Тогда станет возможной работа в стереоскопическом режиме при различных расстояниях между АЧТ. В этой связи в текущем году начата работа по развитию метода стереоскопического анализа изображений двух и более АЧТ, в том числе при больших расстояния между ними. Для решения этой задачи создан банк Монте-Карло событий для 4 телескопов. События от гамма-квантов генерировались в энергетическом диапазоне 3-300 ТэВ. События от протонов в диапазоне 5-300 ТэВ. Оси всех ШАЛ расположены в круге радиуса 500 м с центром в месте расположения 4-го телескопа. Для каждого события после процедуры очистки от шумов восстанавливались параметры Хилласа и ориентация эллипса Хилласа. Положение оси ШАЛ должно быть на пересечении продолжении проекций больших осей эллипсов изображений на плоскость телескопов. Пример события от гамма-кванта с энергией 12 ТэВ показан на Рис.9.10. Ошибка восстановленного положения оси ШАЛ для данного события составила всего 27м, при расстояниях от оси до 1 телескопа 219 м, а до второго 229 м. На Рис.9.11

приведен пример другого события с энергией 21 ТэВ. В этом случае ошибка определения положения оси ШАЛ составила около 15 м при расстояний от оси ШАЛ до телескопов 454м и 587 м. Анализ банка разыгранных событий продолжается, но результаты реконструкции отдельных событий внушают оптимизм.

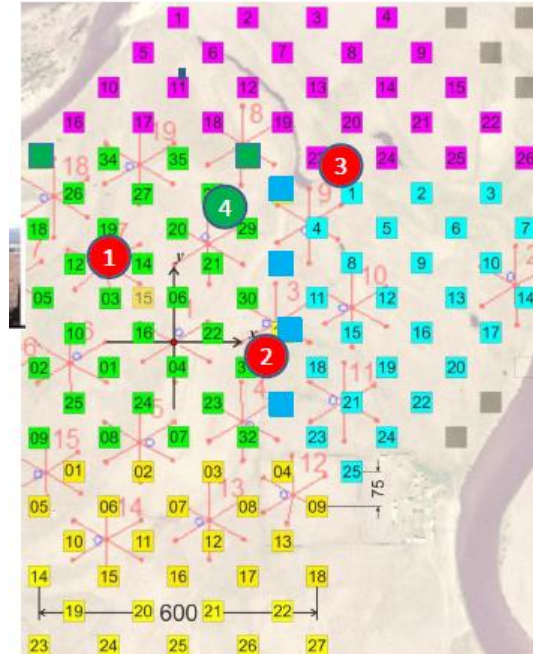


Рисунок 9.9 - Планируемое расположение атмосферных черенковских телескопов в гамма-обсерватории TAIGA к 2022 году.

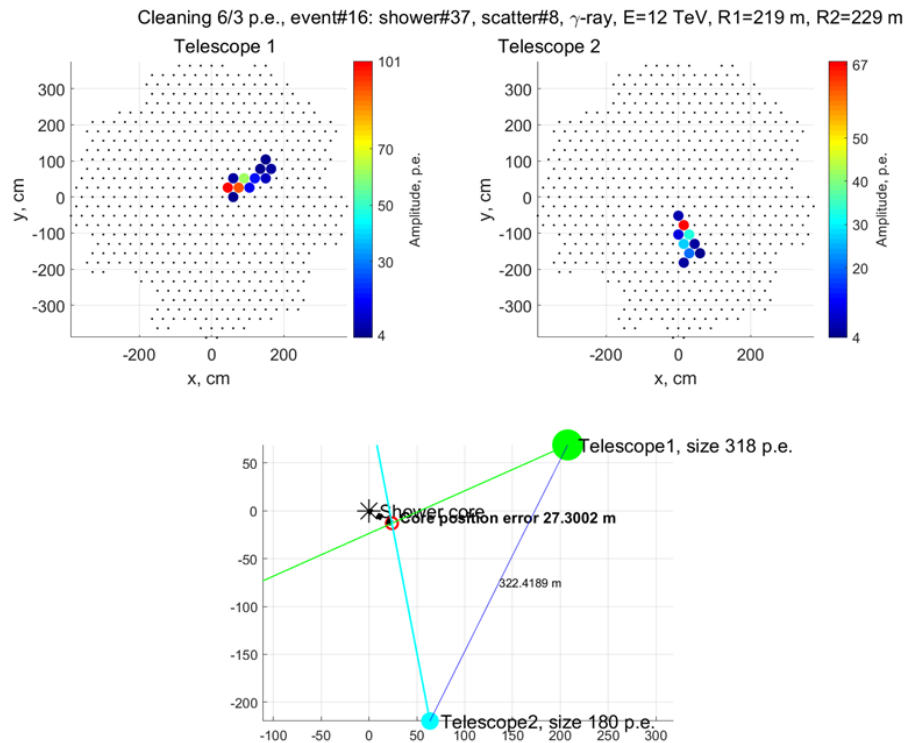


Рисунок 9.10 - Пример М-К события от гамма-кванта с энергией 12 ТэВ

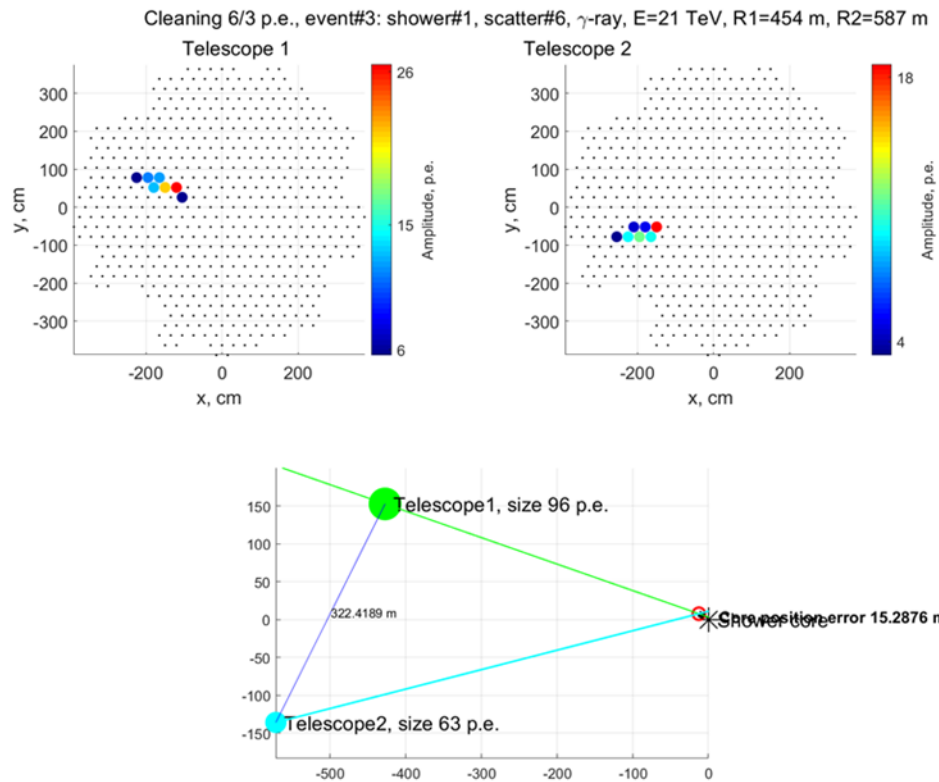


Рисунок 9.11 - Пример М-К события от гамма-кванта с энергией 21 ТэВ

По первым данным работы двух телескопов в сезоне января-апреля 2020 года были выделены совместные события ШАЛ, зарегистрированные двумя телескопами одновременно (пример такого события на Рис.9.12).

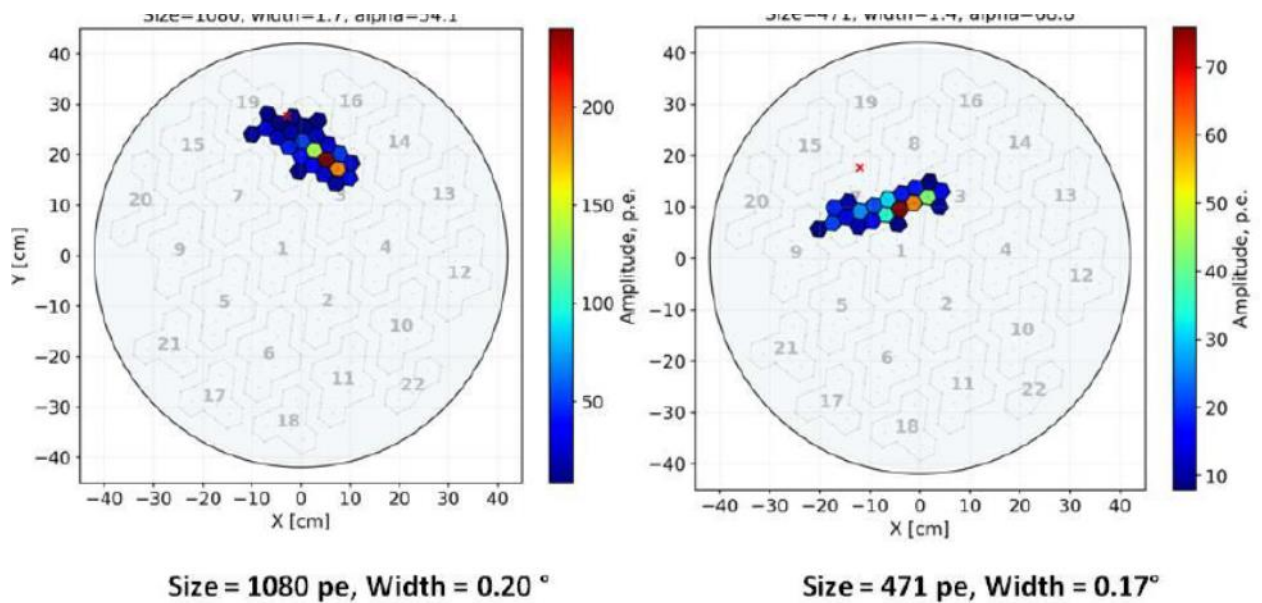


Рисунок 9.12- .Пример регистрации одного и того же ШАЛ двумя телескопами установки TAIGA-IACT.

Для каждого дня измерений были составлены графики времени наблюдений разных гамма-источников (Crabnebula, Mrk421, Mrk501). В таблице на Рис.9.138 представлена

статистика зарегистрированных событий в направлении на гамма-источник Crabnebula и Mrk501. Во-первых, как и ожидалось, число совместных событий (N_{joint}) в несколько раз меньше, чем числом событий, регистрируемых каждым телескопом, так как эффективность регистрации с увеличением расстояния падает, и совместные события – это в основном ливни с осями между двумя телескопами или более далекие ливни, но высокой энергии.

Источник	$N1_{\text{joint}}/N1_{\text{tot}}$	$N2_{\text{joint}}/N2_{\text{tot}}$
Crabnebula	5%	11%
Mrk501	13 – 17%	7 – 9%

Рисунок 9.13 - Статистика зарегистрированных событий в направлении на гамма-источник Crabnebula (во время наблюдения источник находился под углом от 25 до 45 градусов к горизонту) и для направления на гамма-источник Mrk501 (квазивертикальный источник) $N1_{\text{joint}}/N1_{\text{tot}}$ - отношение совместных событий, зарегистрированных первым телескопом к общему числу событий, зарегистрированных этим телескопом. $N2_{\text{joint}}/N2_{\text{tot}}$, - отношение совместных событий, зарегистрированных вторым телескопом к общему числу событий, зарегистрированных этим телескопом.

Это можно наблюдать по смещению центра изображений для совместных событий, которое приводится на Рис. 9.14.

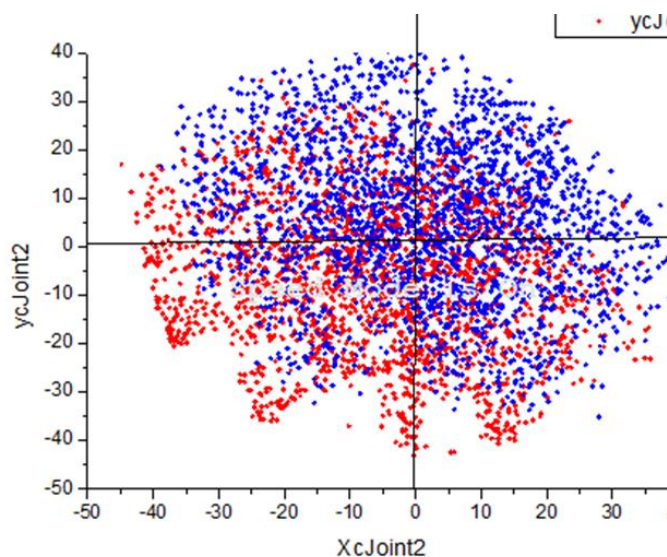


Рисунок 9.14 - Распределение центров изображений в каждом телескопе (красные точки – первый АЧТ, синие точки – второй АЧТ), они сдвинуты относительно центра (хотя для одиночного телескопа, центры изображений располагаются симметрично относительно центра камеры).

С увеличением энергии этот эффект должен уменьшаться. При введении требования одновременной регистрации ШАЛ и установкой TAIGA - HiSCORE число общих событий

падает значительно, поскольку для одиночного телескопа для адронных событий около 8 ТэВ, а для установки TAIGA - HiSCORE это 100-150 ТэВ. В таблице на Рис. 9.14 приведены параметры 4 совместных событий, зарегистрированных двумя телескопами и установкой TAIGA HiSCORE: энергия этих событий: 436 ТэВ, 912 ТэВ, 78 ТэВ, и 411 ТэВ. И они располагаются, как указано на Рис.9.15 цифрами, рядом с телескопами. Все они имеют большие сайзы. В целом, анализ совместных событий, зарегистрированных двумя телескопами и прошедших триггер установки TAIGA - HiSCORE не противоречит нашим ожиданиям. Все рассмотренные события – адронный фон, для анализа эффективности подавления адронного фона при выделении гамма-квантов в настоящее время проводятся М-К расчеты.

Tel	day	Nsob	i_wri	Hr	mn	Xc	Yc	rc	wid	size.pe	N_lm2	ndet	En	thetf	fi	X3,m	Y3,m	Rtel,m
1	30220	500636	426122	21	51	17	30,5	34,9	1,4	524	12	17	436	27,01	307,47	64	29	76,6
2	30220	50096	426122	21	51	14,3	21,8	26	1,2	288	10	17	436	27,01	307,47	64	29	76,6
1	30220	883299	618707	22	31	26,9	16,5	31,6	1,69	2570	20	9	912	30,27	75,84	-85	-132	295,5
2	30220	95724	618707	22	31	25,3	2,5	25,4	2,72	19500	67	9	912	30,27	75,84	-85	-132	295,5
1	270120	47193	2,45336E6	22	3	-10,5	-2,2	10,7	1,42	1020	18	4	78	22,9	311,15	98	238	146,8
2	270120	29302	2,45336E6	22	3	-19,2	-16,2	25,2	1,51	2620	22	4	78	22,9	311,15	98	238	146,8
1	270120	108234	2,61521E6	22	45	-6,6	-17,5	18,7	4,11	40200	172	9	1737	30,12	79,97	258	108	150,6
2	270120	69352	2,61521E6	22	45	-1	-29,2	29,2	1,73	2730	26	9	1737	30,12	79,97	258	108	150,6

Рисунок 9.14. - Четыре совместных события, зарегистрированных двумя телескопами и станциями TAIGA-HiSCORE:

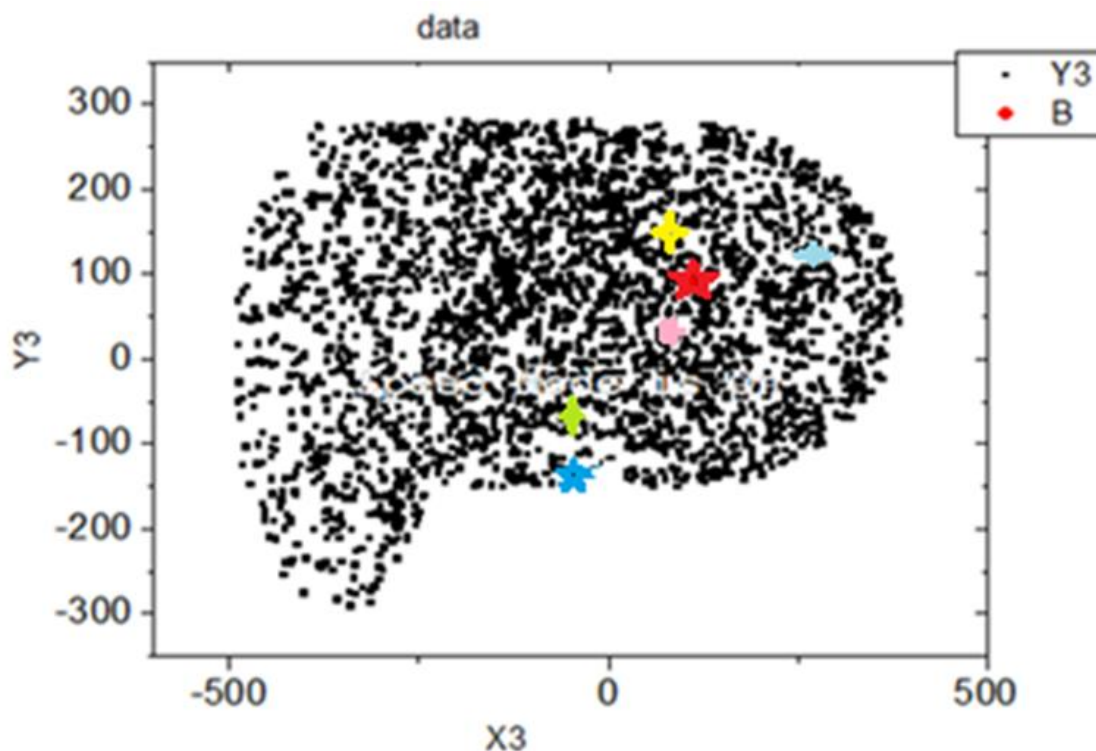


Рисунок 9.15- Распределение осей всех событий в 1 и 2 кластере установки TAIGA-HiSCORE. Красная звезда – первый телескоп, голубая – второй телескоп. 4 цветные точки показывают положение осей ливня, зарегистрированного двумя телескопами и прошедшими высокоэнергичный триггер установки TAIGA - HiSCORE .

Спектр Крабовидной туманности в области высоких энергий исследовался по данным сезона 2019-2020 гг. Всего в обработку вошел 31 день с хорошей малооблачной

погодой с индексом 4-5. В таблице на рис.9.16 приведены данные по дням, где указано, в том числе, сколько событий зарегистрировано только АЧТ установки TAIGA-IACT (Nev IACT, порог регистрации около 4 ТэВ) и сколько оказалось совместных с установкой TAIGA-HiSCORE событий Njoint (с приблизительно на порядок с более высоким порогом). Приведено также число событий по дням N1gr, у которых угол прихода ливня совпадает с направлением на Краб в пределах 1 градуса. В последней колонке приведено время наблюдения по дням, оно составило от 2 до максимальных 4 часов наблюдения.

Long Name	name6	Neviact	Njoint	Njoin50m	N1gr	TB	TE	dtF
4	61119	110108	2840	1781	100	17,96	19,41	1,44
5	231119	212218	9498	6231	271	15,98	20,95	4,96
6	241119	84508	4500	3329	151	16,79	20,91	4,11
7	261119	208633	7958	5491	249	15,8	20,75	4,94
8	271119	207025	8111	5562	272	15,73	20,61	4,88
9	291119	182948	7267	5211	246	15,6	20,51	4,91
10	21219	105246	195	104	0	17,26	20,28	3,01
11	51219	59897	2052	1404	68	18,48	20,06	1,58
12	61219	37518	30	7	0	19,04	19,98	0,933
13	211219	181593	6333	4449	200	14,14	19,08	4,93
14	241219	83856	3884	2697	121	13,96	18,85	4,88
15	291219	147494	6233	4145	180	14,46	18,54	4,08
16	20120	30798	0	0	0	17,51	18,41	0,899
17	291219	147494	6233	4145	180	14,46	18,54	4,08
18	20120	30798	646	445	21	17,51	18,41	0,899
19	30120	16861	320	209	10	17,64	18,16	0,516
20	150120	54306	1956	1232	61	13,44	15,16	1,71
21	160120	122350	4107	2672	117	12,44	16,43	3,98
22	190120	130376	5097	3172	147	12,68	17,14	4,46
23	230120	101091	4193	2387	94	13,66	16,71	3,05
24	260120	163358	6469	3436	139	11,83	16,66	4,83
25	270120	126043	4270	2278	104	12,35	16,85	4,5
26	280120	101026	2850	1524	54	13,48	16,48	3
27	130220	48836	2534	1422	78	13,55	15,38	1,83
28	150220	80206	3957	2211	94	12,44	15,35	2,9
29	160220	75139	3897	2187	94	12,63	15,33	2,69
30	210220	58553	2814	1657	77	12,73	15,08	2,34
31	250220	44776	2090	1203	64	12,73	14,86	2,13

Рисунок 9.16 – Статистика по дням событий, зарегистрированных только атмосферными черенковскими телескопами (АЧТ) установки TAIGA-IACT в совместных с установкой TAIGA-HiSCORE событий

Name6 - дата в формате 61119 (06 ноября 2019 года)

Nev_IACT- Число ШАЛ, зарегистрированных только IACT

Njoint – Число ШАЛ, зарегистрированных ШАЛ и TAIGA-IACT и TAIGA-HiSCORE

Njoint50 – Число, зарегистрированных ШАЛ и TAIGA-IACT и TAIGA-HiSCORE, без краевых событий (50м от края 1 установки, включавшей 1 и 2 кластеры установки TAIGA-HiSCORE)

N1gr – Число ШАЛ с направлением прихода относительно направления на Краб меньше 1 гр.

ТВ время начала сеанса (Гринвич)

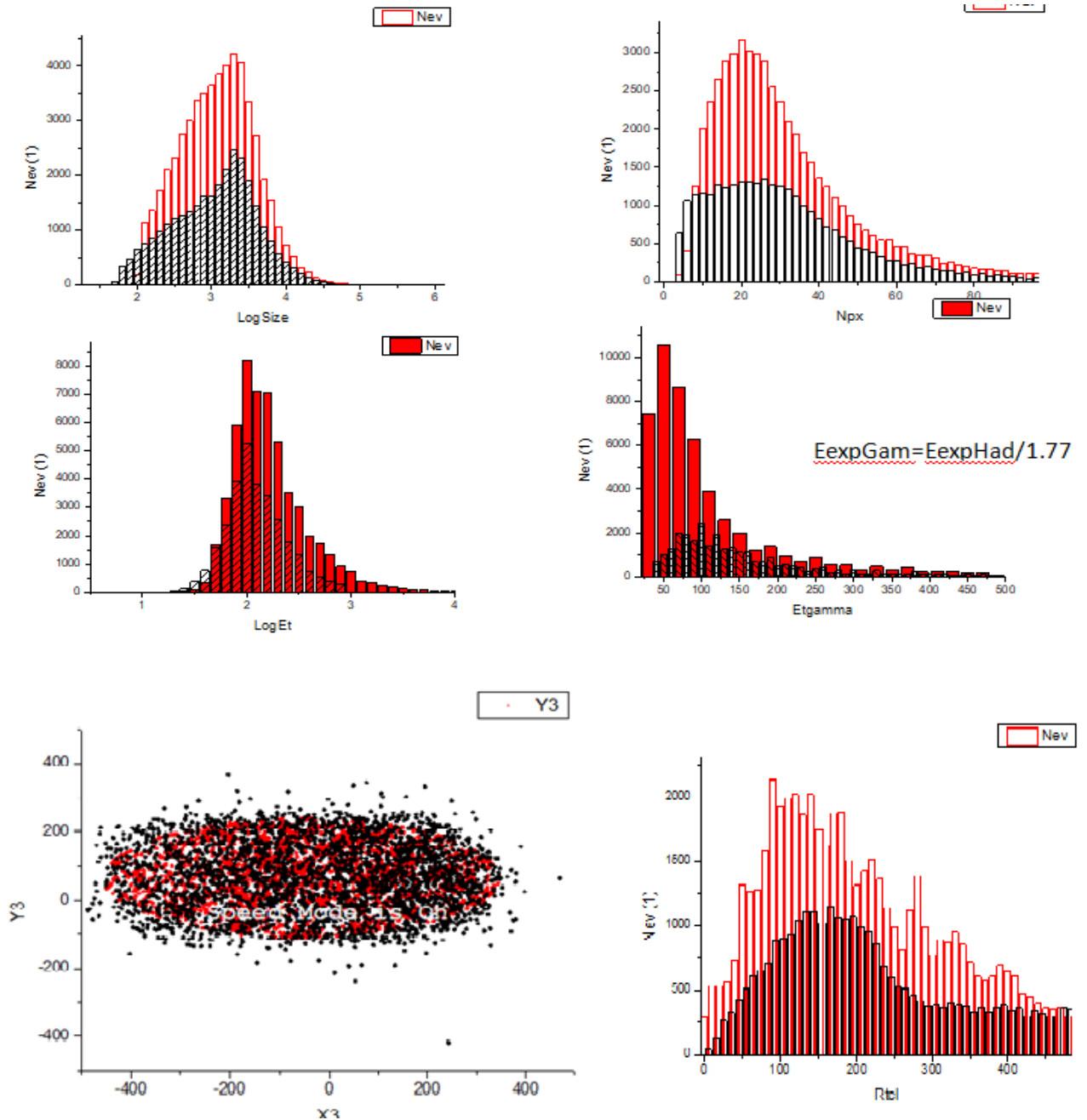
Полное время наблюдения составило около 92 часов, зарегистрировано около 90 тысяч событий. Однако, в обработку были включены только 55 тысяч событий, оси которых оказались не ближе чем 50 м от границы установки включавшей 1 и 2 кластеры установки TAIGA-HiSCORE, так как точность определения положения оси и энергии для краевых событий ниже, чем для центральных. Общая эффективная площадь регистрации при таком условии $\sim 0.2 \text{ км}^2$.

Для каждого события записываются 38 параметров ливней, полученных из данных установок TAIGA-HiSCORE и TAIGA-IACT. По данным установки TAIGA-HiSCORE восстанавливались: энергия, положение оси ШАЛ, угол Theta, угол Psi – разница между направлением на источник и направлением прихода ливня и т.д. Параметры, полученные по данным телескопа (основные) сайз -Size, расстояние от оси до телескопа -Rtel, энергия -En, параметры Хилласа: ширина - width, длина - length, а также много дополнительных параметров.

Наиболее важная задача при анализе совместных событий – выбор критериев выделения гамма-квантов из адронного фона основывается на данных Монте-Карло моделирования. При этом необходимо согласовать выборки с экспериментальными данными (в основном фоном) по таким важным параметрам, как распределение по Size, Rtel, Theta, En, width, length и т.д. Это непростая задача успешно решена. К настоящему моменту наиграно 88 тыс. ливней от протонов, 112 тыс. от гелия, 69 тыс. от ядер кислорода, 70 тыс. от ядер кремния, 44000 от ядер железа в интервале энергий 70-1000 ТэВ и дополнительно 100 тыс. событий от протонов при энергии 20-70 ТэВ. Разыгрывались ШАЛ с зенитными углами 30-40 ТэВ и с расстояниями до 600 м. Это соответствует нормальному составу: 55% протоны и гелий, 45% ядер. М-К ливни от гамма-квантов разыгрывались в интервале углов $\theta=30-40$ градусов и $\theta_i=0-50$ градусов, на расстояниях до 600м. Кроме того, наиграна выборка ливней от гамма-квантов (около 40 тыс. событий) в интервале энергий 35-500 ТэВ в круге радиуса 600 м и в интервале углов 30-40 градусов. После пропускания через программу ‘оптика’, после выбрасывания краевых событий, прохождения триггерных условий и т.д. рабочая выборка

искусственных событий составила 41 тыс., что сравнимо с экспериментальной выборкой (55 тыс.), а М-К выборка гамма ливней составила ~6 тыс.

Распределения фоновых событий по энергии E и по расстоянию до телескопа R_{tel} , по сайзам, по числу пикселей в изображении, по ширине и длине изображения представлены на Рис. 9.17.



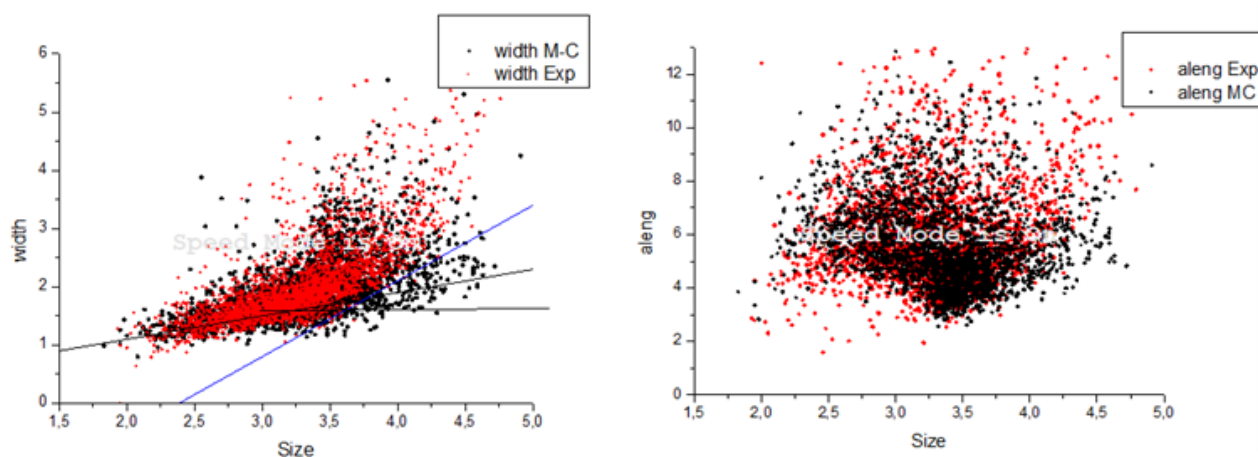


Рисунок 9.17- Распределение экспериментальных (красные) фоновых событий по различным параметрам в сравнении с М-К симуляциями (черные).

Как видно, в этой выборке наиболее вероятная энергия составляет около 100 ТэВ в предположении, что это адроны, и около 50 ТэВ, если это гамма-кванты (так как определяемая энергия зависит от типа первичной частицы). В основном ливни регистрируются с расстояний около 200 метров от телескопа, но заметная часть – до 400 и 500 м. Все параметры достаточно хорошо описываются М-К симуляциями, включая такие важные для различия гамма-квантов от фоновых событий, как ширина и длина изображения. Основываясь на данных Монте-Карло были сформированы критерии (Рис. 9.18) выделения гамма-квантов.

Критерии: $XS = \log_{10}(\text{Size})$ $\text{Size} > 150$ p.e.

$\text{Width} < 1.5$ cm ($X_s > 3$) cm

$\text{Width} < 1.4 + 0.4 * (xS_z - 3.) + 0.1$ ($X_s < 3$) cm

2) $R_{tel} = 0-150$ m: $\text{Length} < 3. + 1.8 * (xS - 3.) - 0.5$ cm

$R_{tel} = 150-250$ m: $\text{Length} < 5. + 0.5 * (xS_z - 3.) - 0.5$

$R_{tel} = 250-400$ m : $\text{Length} < 6. + 1.3 * (xS_z - 3.) - 0.5$

3) $-1. + 0.04 * R_{tel} < \text{distance} < 5. + 0.06 * R_{tel}$

4) $R_{tel} < 400$ m

5) $\text{Psi}^2 < 1.5^\circ$

6) $\alpha < 25^\circ$

Рисунок 9.18. Критерии для выделения гамма-квантов из адронного фона в эксперименте TAIGA.

Эти критерии отличаются от критериев для низко-энергичной области, поскольку, как видно из Рис.9.17 в выборке совместных событий значительно больше расстояния и сайты событий. При отборе гамма-подобных ливней наиболее общепринятым и самым простым распределением для отличия гамма-ливней от ливней от протонов и ядер КЛ

после подавления фона по другим параметрам является распределение по параметру alpha, так как этот угол между главной осью изображения и направлением на точку источника в камере, когда телескоп направлен на источник, поэтому все гамма-кванты пришедшие с этого направления ('On') имеют измеренный угол alpha менее 20 градусов (как следует из моделирования, а для фоновых событий ('Off') распределение по alpha равномерное. При этом в отличие от данных только одиночного телескопа у нас есть еще дополнительный параметр Psi^2 (см. выше) полученный по данным установки TAIGA-NiSCORE. Поэтому мы строили распределение по Alpha, вводя ограничения по Psi^2, и строили распределение по Psi^2, вводя ограничения по alpha. Это значительно улучшает результат по сравнению с независимым использованием этих параметров. На рис. 9.19 представлены оба распределения. Как видно, избыток гамма-подобных ливней в обоих распределениях составляет около 25-30 частиц, со значимостью около 4 сигма.

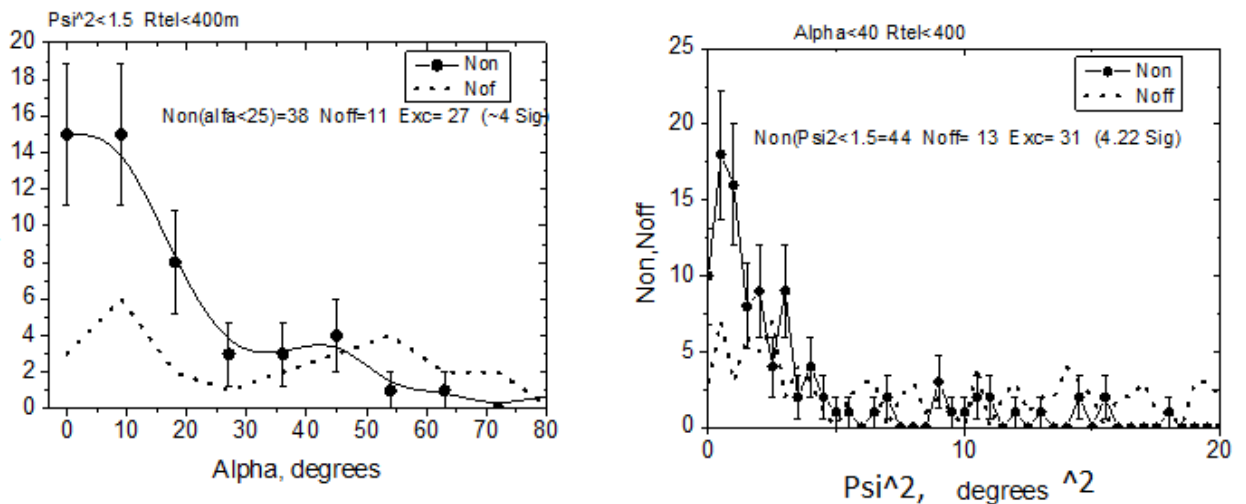


Рисунок 9.19 - Распределение по alpha (слева) и по Psi^2 (справа) для гамма-подобных событий, отобранных по критериям Рис.34 для событий от источника (on) и событий фона (off), измеренного при сдвиге на 2.4 градуса по прямому восхождению, Ra при том же склонении.

При этом фон составляет около 25% от гамма-ливней. На рис.9.20 представлен спектр отобранных по критериям Рис.9.17 событий, он получается как спектр 'On' минус спектр 'Off' событий: $F(E)_{\text{gam}} = (F(E)_{\text{On}} - F(E)_{\text{off}}) \cdot E^{-2} \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1} \text{ ТэВ}^{-1}$

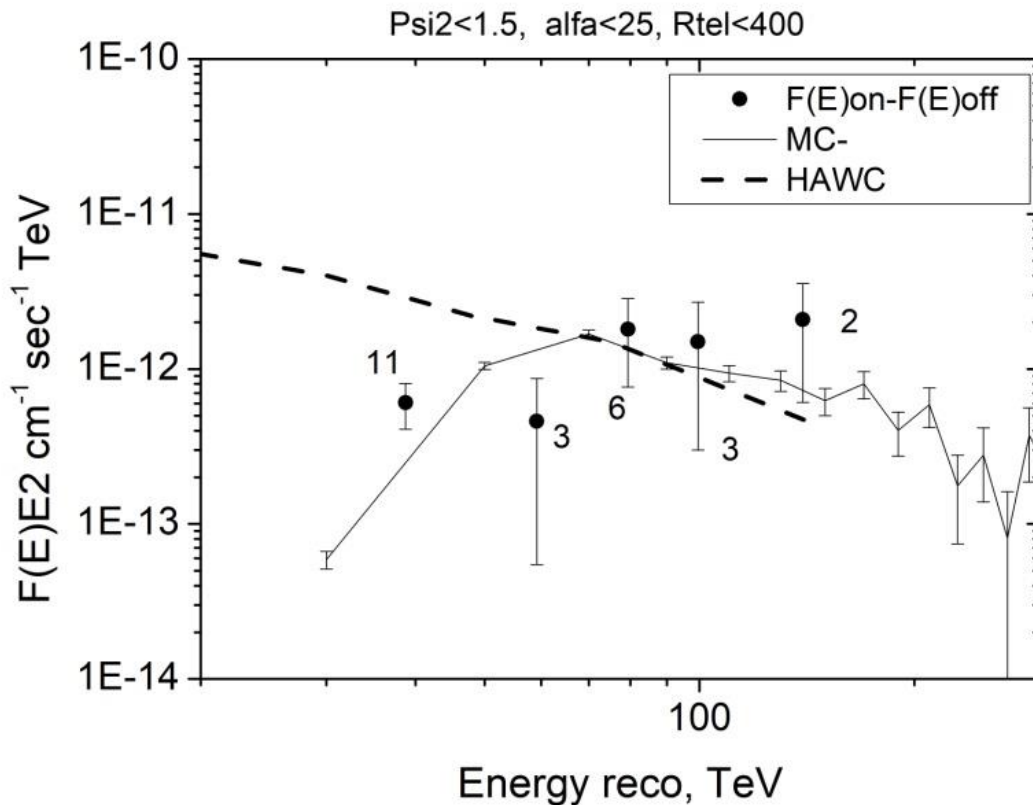


Рисунок 9.20 - Спектр отобранных по критериям Рис.9.17 событий: $F(E)_{\text{gam}} = (F(E)_{\text{On}} - F(E)_{\text{off}}) \cdot E^2 \text{ cm}^{-2} \text{ сек}^{-1} \text{ ТэВ}^{-1}$. Сплошной линией обозначен нормированный спектр, полученный в М-К моделировании.

На этом рисунке сплошной линией обозначен нормированный спектр, полученный в М-К моделировании, подтверждающий, что порог регистрации гамма-квантов очень размытый при таких критериях отбора и достигает эффективности около 50% около 40 ТэВ. Пунктирная линия – подгонка данных установки HAWC. В районе 80-120 ТэВ у нас наблюдается около 5 частиц.

Как видно из рисунка 9.21, порожденные гамма-квантами ШАЛ имеют гораздо более узкое распределение в диаграмме dist-Rtel. Поэтому мы использовали критерий, dist (Rtel), как один из основных при отборе гамма-ливней. Как видно, отобранные ‘On’ события сосредоточены на расстояниях от 100 до 400 м, а ‘Off’ события скорее на 250-400 м. Т.е. вклад фона на больших расстояниях больше чем на расстояниях менее 250 м, где он составляет 10%. На расстояниях менее 300 м параметр сайз превышает 1000 р.е. Коэффициент подавления фона в эксперименте составляет $17/55000 = 3 \times 10^{-3}$. В М-К моделировании он оказался равным 10^{-3} . А коэффициент подавления гамма-квантов в М-К симуляциях оказался близким к 2.5, то есть после применения критериев Рис.9.17 остается около 40%. Такие величины коэффициентов подавления приводят к значениям фактора $Q = 0.4 / \sqrt{1/1000} = 12$.

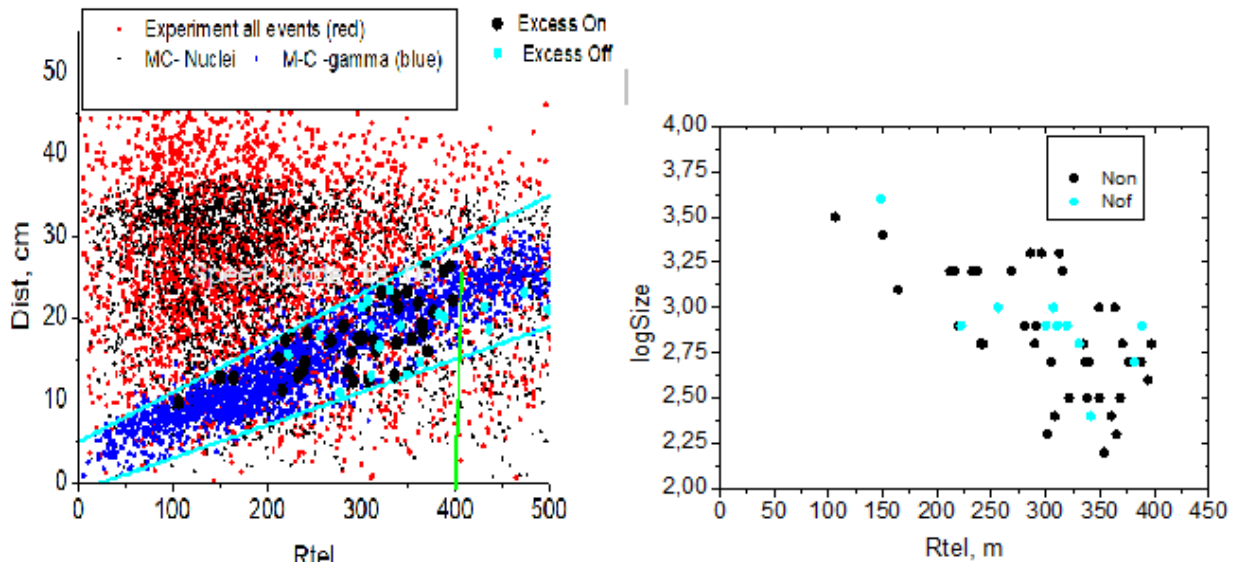


Рисунок 9.21- Зависимость параметра изображения $dist$ (слева.) и $Size$ (справа) от расстояния от АЧТ до оси ливня R_{tel} . Для экспериментальных фоновых событий (красные точки), для всех событий от ядер из Монте-Карло моделирования (черные точки), для гамма-квантов из моделирования (синие точки), для гамма-подобных ‘On’ событий (черные кружки), и для ‘Off’ событий – голубые кружки.

Гамма-обсерватория TAIGA, в первую очередь нацелена на исследование высокоэнергетической части (с энергией выше 50ТэВ) спектра гамма - излучения астрофизических источников. Ее преимущества в этой области энергии определяются гибридным подходом и большой площадью установки.

Для сопоставления получаемых нами результатов с результатами других экспериментов при более низких ТэВ-ных энергиях, в сезоне 2019-2020 годов удалось получить первые результаты по регистрации гамма-излучения от Крабовидной туманности и блазара Маркарян 421 одним из телескопов АЧТ в эксперименте TAIGA.

Существенно новым в работе телескопа в сезоне 2019-2020 годов было применение новой методики слежения за источником, «wobbling» метода. Он заключается в том, что при слежении за источником с прямым восхождением Ra и склонением Dec телескоп направлялся не на источник, а на точку $Ra + 1.2$ градуса, а затем через 20 минут на точку $Ra - 1.2$ градуса при фиксированном склонении. В результате в каждый момент времени положение источника оказывается не в центре камеры, а сдвинуто на ~ 1.2 градуса в точку $X_{\{on\}}, Y_{\{on\}}$, меняющуюся со временем. Положение фона в каждый момент времени выбирается как ‘анти-источник’ с координатами $X_{\{off\}} = -X_{\{on\}}$, $Y_{\{off\}} = -Y_{\{on\}}$. Преимуществом такого подхода является экономия времени, так как не надо выделять отдельное время на измерение фона около источника. Во-вторых, исключаются возможные погрешности, связанные с неоднородностью камеры и

неоднородностью условий наблюдения, так как траектория источника в камере и траектория фоновых измерений практически совпадает со сдвигом по времени 20 минут.

Наблюдения первым АЧТ установки TAIGA-IACT в сезоне 2019-2020 годов проводились с октября по апрель с разделением времени между 4 основными тестовыми источниками: ближайшими блазарами Mrk 421 и Mrk 501, Крабом и Сверхновой SNRG106.6+2.94 (Bumerang). Полный темп счета триггера зависел от погоды и снежного покрова, и в среднем составлял около 100 Гц, темп счета событий, в которых регистрировался сигнал от ШАЛ, составлял около 8-12 Гц.

По результатам полного М-К моделирования (Grinyuk A, Postnikov E and Sveshnikova L // 2020. Phys. of Atomic Nuclei. V. 83. P. 262-267) с учетом конструкции установки, , а также согласования параметров экспериментального фона и фона, полученного в М-К моделировании найден набор параметров изображений, позволяющий наиболее эффективно подавить фон и зарегистрировать гамма-кванты.

Общая экспозиция источника в Крабовидной туманности в эксперименте TAIGA в сезоне 2019-2020 годов составила с октября до конца февраля 31 день с хорошей погодой, по 2-4 часа в день, в сумме около 90 часов, это около 50% полного возможного времени наблюдения Крабовидной туманности в Тункинской долине. За это время получено около 3 млн событий, прошедших триггер отбора. В данном отчете мы представляем результаты обработки первой части статистики за 13 дней в октябре-начале декабря 2019 года, для 1.5 млн событий, прошедших триггер за 44 часа наблюдения.

На Рис. 9.22. представлено распределение по α для 'On' событий и для 'Off' событий с шагом 4 градуса, отобранных по оптимальным критериям: $Size > 125$ ф.э; $dist = 0.36 - 1.44$ градуса, 0.024 градуса $< width < 0.068$ градуса $\times \lg Size - 0.047$ градуса, $length < 0.31$ градуса, $Con > 0.54$. В области $\alpha < 10$ градуса, $N_{on} = 568$, $N_{off} = 390$, избыток составляет $E_{ex} = 178$ ливней со значимостью 5.77σ , а в области $\alpha < 6$ градуса $E_{ex} = 141$ событие со значимостью около 5.87σ . Подавление фона для Крабовидной туманности по вышеуказанным критериям с порогом 125 ф.е. составляет ~ 3000 , а пороговая энергия регистрации оказывается около 3-4 ТэВ.

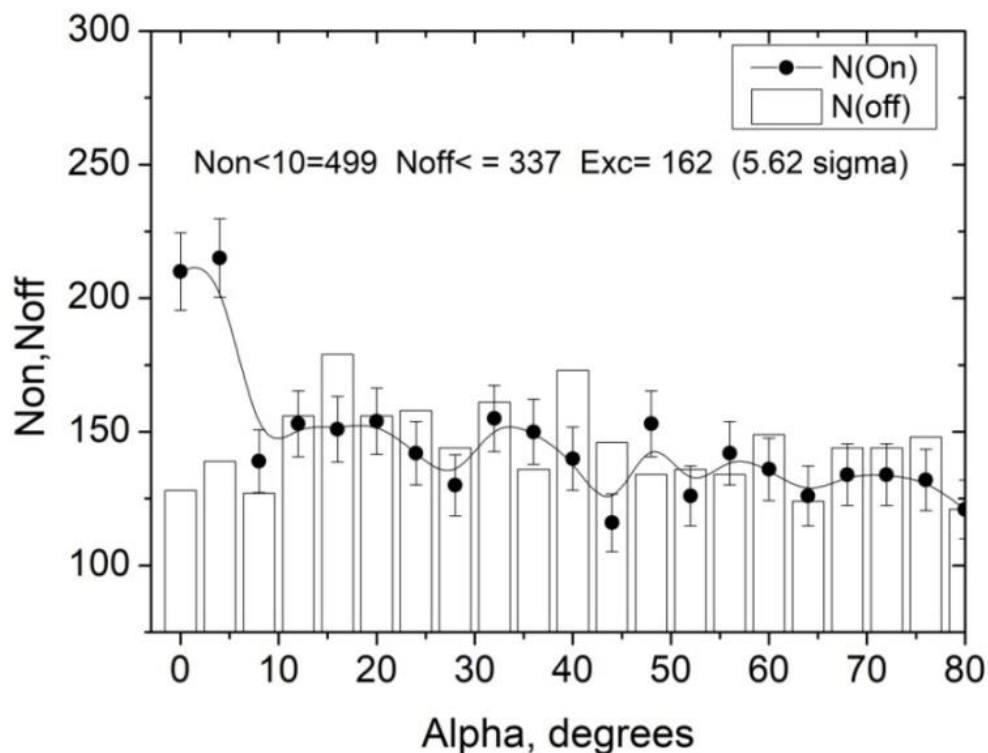


Рисунок 9.22 - Распределение по параметру α для наблюдений источника ('On') и для фоновых ('Off') событий от Краба, отобранных по следующим критериям: $\text{Size} > 125$ ф.э.; $\text{dist} = 0.36^\circ - 1.44^\circ$, $0.024^\circ < \text{Width} < 0.068^\circ \times (\lg \text{Size} - 0.047)^\circ$, $\text{Length} < 0.31^\circ$, $\text{Con} > 0.54$.

Второй зарегистрированный источник - это хорошо измеренный в ТэВ-ном излучении блазар Маркарян 421. Экспозиция Mrk 421 в эксперименте TAIGA в сезоне 2019-2020 годов составила в период с ноября 2019г. по конец февраля 2020г. 62 часа с хорошей погодой. На Рис. 9.23 представлено распределение по α для 'On' событий и для 'Off' событий с шагом 4° , отобранных по оптимальным критериям: $\text{Size} > 172$ п.е.; $\text{dist} = 0.5^\circ - 1.25^\circ$, $0.024^\circ < \text{Width} < 0.068^\circ \times \lg \text{Size} - 0.045^\circ$, $\text{Length} < 0.31^\circ$, $\text{Con} > 0.44$. В области $\alpha < 10^\circ$, $\text{Non} = 48$, $\text{Noff} = 11$, избыток составляет $\text{Exc} = 37$ ливней со значимостью 5.77σ , а в области $\alpha < 6^\circ$ $\text{Exc} = 141$ событие со значимостью около 5σ . В отличие от Краба угол наблюдения Mrk 421 в земной системе координат составляет $10-15$ градусов, что приводит к понижению фона и порога регистрации, тогда как для Краба зенитный угол регистрации составляет $30-40$ градуса. Однако средний поток от Mrk 421 ниже, чем от Краба в среднем и только во время вспышек превышает поток над ним. Подавление фона для Mrk 421 по вышеуказанным критериям с порогом 172 ф.е. составляет ~ 1800 , а пороговая энергия регистрации оказывается около $2-3$ ТэВ. Опираясь на данные М-К моделирования было показано, что полученные спектры по энергии

гамма - квантов от Краба и Mrk 421 не противоречат измерениям, проведенным ранее в других экспериментах.

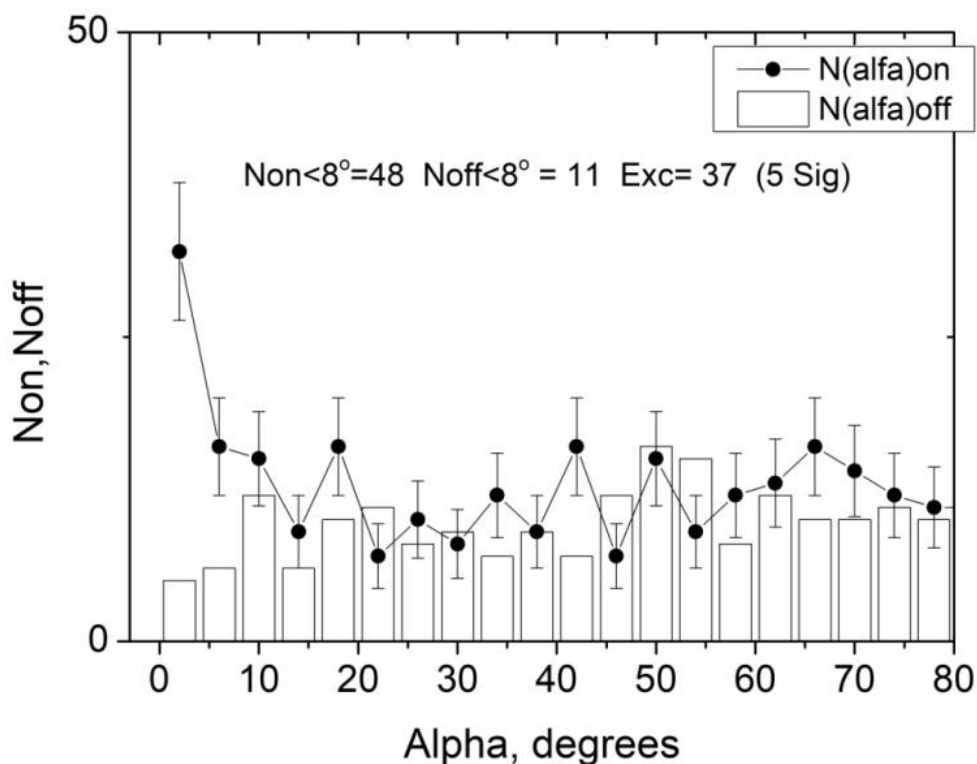


Рисунок 9.23 - Распределение по параметру alpha для ‘On’ и для ‘Off’ событий от блазара Mrk421, отобранных по следующим критериям :Size>172 ф.э.; dist= 0.5 о -1.25о, 0.024 о <Width<0.068о × lgSize-0.045о, Length<0.31о, Con2>0.44.

В 2020 году мы начали изучать третий источник – это галактика блазар MrK 501, спектр гамма-лучей которого простирается до ТэВных и выше энергий. Он обладает активным ядром, джет которого направлен в сторону Земли, а находится довольно близко от Земли на расстоянии $Z=0.034$. Он хорошо виден в январе-феврале в эксперименте TAIGA под углом 22-30 градусов. Поэтому порог регистрации несколько выше чем для MrK 421. Первые результаты наблюдений этого источника представлены на Рис.9.24. Из-за малого времени наблюдения избыток составил около 20 частиц, со значимостью около 2 сигма, этот источник будет исследоваться в следующем году.

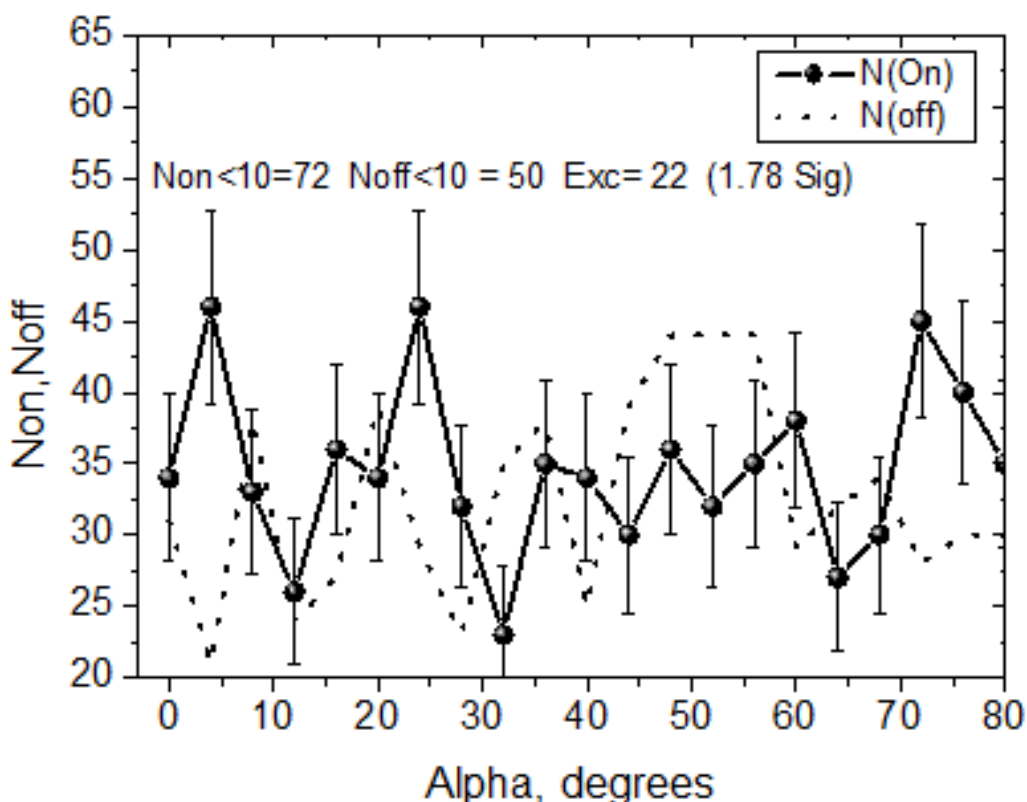


Рисунок 9.24 - Распределение по параметру α для наблюдений источника ('On') и для фоновых ('Off') событий от блазара Mrk 501 за 9 часов наблюдения, отобранных по следующим критериям : $\text{Size} > 125$ ф.э.; $\text{dist} = 0.36^\circ - 1.44^\circ$, $0.024^\circ < \text{Width} < 0.068^\circ \times (\lg \text{Size} - 0.047)^\circ$, $\text{Length} < 0.31^\circ$, $\text{Con} > 0.54$.

Еще один интересный источник остаток Сверхновой Тихо Браге (RA:00 25, DEC:+64 07) образовался от сверхновой 1572 года. Источник имеет большое склонение (+64 градуса) и может наблюдаться телескопами комплекса TAIGA под малыми зенитными углами (<30 градусов) в течение 200 часов за сезон (при условии 50% хорошей погоды). Поток гамма-квантов от остатка Тихо Браге составляет при 10 ТэВ 3-5% от потока от Краба и выделение такого сигнала возможно только в стерео режиме системой из 3 или 4 телескопов. Эффективная площадь при этом составит около 10^5 м², и за 100 часов наблюдения можно ожидать 20-40 событий с энергиями выше 10 ТэВ. Начать наблюдение этого источника запланировано в сезоне 2021-22 годов, после ввода в строй 3-го АЧТ. К настоящему времени сигнал от остатка Тихо Браге зарегистрирован только гамма-обсерваторией VERITAS. Результаты полученные гамма-обсерваторией VERITAS в диапазоне 1-10 ТэВ не вполне совместимы с теоретической моделью взрыва типа Ia в строго однородной межзвездной среде и нуждаются в проверке и расширении в область энергий выше 10 ТэВ, где расхождение между различными моделями сильнее.

9.3. Обобщение и выводы о результатах проделанной работы.

Проведены штатные сеансы наблюдений 2020 года с помощью действующих детекторов и установок УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ». В результате обработки и анализа полученных экспериментальных данных впервые зарегистрированы гамма-кванты с энергией порядка 100 ТэВ от источника в Крабовидной туманности, тем самым доказана эффективность развиваемого в проекте TAIGA гибридного подхода для поиска и исследования гамма-квантов с энергией выше 50 ТэВ. Впервые на российской установке на уровне достоверности выше 5 стандартных отклонений зарегистрировано гамма-излучение от источника в Крабовидной туманности и блазара Mrk 421 с энергией выше 3 ТэВ. Получены другие важные результаты.

Литература к разделу 9.

- [1] A.R. Bell, *Astropart. Phys.* 43 (2013) 56-70.
- [2] P. Blasi, *Comptes Rendus-Physique*, 15 (2014) 329-338.
- [3] F. Berezhnev et al. (Tunka Collaboration), *Nucl. Instr. and Meth. A* 692 (2012) 98-105.
- [4] B. Antokhonov et al. (Tunka Collaboration), *Nuclear Physics B (Proc. Suppl)* 212-213 (2011) 247-252.
- [5] D.V. Chernov et al. *Int. J. Mod Phys. A* 20 (2005) 6796- 6798.
- [6] N. Budnev et al. *Astropart. Phys.* 50 (2013) 18-25.
- [7] A.M. Hillas, *J. Phys. G. Nucl. Part. Phys.* 31 (2005) 95, arXiv:astro-ph/0607109.
- [8] R. Aloisio et al. *Astropart. Phys.* 27 (2007) 76, arXiv:astro-ph/0608219.
- [9] T. Antoni et al. (KASCADE Collaboration), *Astropart. Phys.* 24 (2005) 1.
- [10] M. Aglietta et al. (EAS-TOPO Collaboration), *Astropart. Phys.* 21 (2004) 583.
- [11] V. S. Ptuskin, V.N. Zirakashvili and E. S. Seo, *Astrophys. J.* 718 (2010) 31.
- [12] E.G. Berezhko, H. J. Voelk, *Proc. 30th ICRC, Mexico City, Mexico* 2 (2007) 109, arXiv:0704.1715.
- [13] T. Abu-Zayyad et al. *Astrophys. J.* 557 (2001) 686.
- [14] E.E. Korosteleva et al. Preprint SINP MSU –2004–1/740.
- [15] E.E. Korosteleva et al. *Proc. 31st ICRC Lodz* (2009) ID=492
- [16] V.V. Prosin et al. *Nucl. Instr. and Methods in Physics Research A* 756 (2014) 94
- [17] V.V. Prosin for the Tunka Collaboration, *Nuclear Physics B (Proc. Suppl)* 190 (2009) 247-252
- [18] T. Abu-Zayyad et al. *Astropart. Phys.* 48 (2013) 16
- [19] A. Schulz for the Pierre Auger Collaboration, *Proc. 33rd ICRC Rio De Janeiro* (2013) ID=769

- [20] E.Korosteleva et al. *Int.J.Mod Phys. A20* (2005) 6837-6839, arXiv: astro-ph/0411216
- [21] E.E.Korosteleva et al. *Nuclear Physics B (Proc. Supp.)* 165 (2007) 74-80
- [22] A.Karle et al. *Astropart. Phys.* 3 (1995) 321
- [23] N.M.Budnev et al. *Journal of Instrumentation* 9 (2014) C09021
- [24] M.Tluczykont et al. *Astropart. Phys.* 56 (2014) 42
- [25] W.D.Apel et al. (KASCADE-Grande Collaboration), *Astropart. Phys.* 36 (2012) 183
- [26] M.Aglietta et al. EAS-TOP Collaboration, *Astropart.Phys.* 10 (1999) 1
- [27] A.P.Garyaka et al. *Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics* 35 (2008) 115201
- [28] T.Antony et al. *Nucl. Instr. and Methods in PhysicsResearch A* 513 (2003) 490
- [29] M.Amenomori et al. (Tibet Collaboration), *Astrophys. J.* 678 (2008) 1165
- [30] Aartsen M.G., et al., *Phys. Rev. Lett.* D 88 (2013) 042004
- [31] L. Sveshnikova et al. *Nuclear Physics B (Proc. Suppl.)* 256 (2014) 218-224
- [32] A.Erlykin,A.Wolfendale,R.Martirosov, *CERN-Courier* 21 (2011) 201
- [33] W.D.Apel et al. *Physics Letters B* 763 (2016) 179
- [34] A.Haungs, *Physics Procedia* 00 (2015) 1-10
- [35] R.D.Monkhoev et al. *Journal of Instrumentation* 12 6 (2017) 19
- [36] N.M. Budnev The primary cosmic-ray energy spectrum measured with the Tunka-133 array /N.M. Budnev, A. Chiavassa, O.A. Gress, T.I. Gress // *Astroparticle Physics*. 2020. – V.117.-P.102406 <https://doi.org/10.1016/j.astropartphys.2019.102406>
- [37] Chantell M.C. et al. // *Phys. Rev. Lett.* 1997. V. 79. P. 1805.
- [38] Feldman G.J and Cousins R.D. // *Phys. Rev. D.* 1998. V. 57. 3873.

10. Завершение работ по повышению чувствительности робот-телескопа MASTER, за счет создания нового робот-телескопа MASTER-600 с оптическими камерами диаметром 600 мм.

В конце XX столетия астрономическая наука пережила мощный переворот: внедрение в наблюдательную практику приборов с зарядовой связью (ПЗС-матриц), гораздо более чувствительных к свету, чем глаз и фотопластинка, позволило обнаружить ряд явлений, выходящих за рамки существующей на тот момент парадигмы «постоянства Вселенной» и представляющих собою события, развивающиеся на временных масштабах от нескольких часов до секунд. Оптические эффекты, возникающие в результате таких событий и названные позже оптическими транзиентами (далее ОТ), быстро привлекли внимание учёных и активно изучаются в настоящее время. Сегодня к явлениям данного типа относят космологические гамма-всплески, вспышки новых и сверхновых звёзд, события гравитационного линзирования, оптические эффекты комет и астероидов, фотометрические события в экзопланетных системах и т.п.

При всём многообразии ОТ их объединяет одно общее качество: все они развиваются на малых временных масштабах, имеют чёткую пространственную локализацию (в большинстве случаев – случайную или почти случайную) и потому предъявляют массу серьёзных требований к наблюдателю и инструменту. Классический телескоп обладает малым полем зрения, и потому пригоден лишь в случаях, когда пространственно-временная локализация быстропеременного источника излучения известна достоверно или с высокой долей вероятности. Подавляющее большинство ОТ имеет случайные пространственно-временные характеристики, интенсивную динамику развития, а также достаточно слабый блеск, что дополнительно усложняет целенаправленные наблюдения и практически полностью исключает возможность использования классических инструментов.

Телескоп, пригодный для эффективного изучения ОТ, должен максимально учитывать специфику явления, обладая рядом особых характеристик. Случайная локализация ОТ и быстрая динамика их развития диктуют требования максимальных поля зрения, светосилы и мобильности, т.е. способности быстро наводиться в заданную точку неба. Мобильность, в свою очередь, подразумевает предельно малый размер телескопа и наличие монтировки, способной обеспечить необходимые точность и скорость наведения. Кроме того, шансы обнаружения ОТ возрастают пропорционально площади небесной сферы, охваченной наблюдениями. Так родилась концепция мониторинга звёздного неба.

Мониторинг звёздного неба представляет собою систематический сбор и обработку информации о небесных объектах, которая может быть использована в дальнейшем для

улучшения процесса принятия научных решений, а также косвенно для информирования мировой общественности, или прямо как инструмент обратной связи в целях осуществления научных проектов, оценки программ астрономических наблюдений или выработки новых научных методов. Мониторинг является мощным инструментом для изучения транзиентных источников излучения, и в этом плане роль его сводится к своевременному (в идеале – в реальном времени) обнаружению таких объектов, а также оперативной обработке полученных данных.

В настоящее время данный метод получил достаточно широкое распространение и успешно применяется в ряде научных программ, направленных на изучение природы гамма-всплесков, вспышек новых и сверхновых звёзд, а также на обнаружение новых и изучение известных экзопланетных систем и астероидов. Обзор неба производится специальными телескопами, соответствующими указанным выше требованиям и представляющими собою сложные наблюдательные комплексы. Проблемы быстрого реагирования на события ОТ, а также обработки огромного количества наблюдательных данных, неизбежно возникающих в ходе мониторинга, решены путём максимальной автоматизации (роботизации) всех сопутствующих процессов. Инструменты подобного класса, называемые также телескопами-роботами, не имеют аналогов среди классических телескопов в приложении к наблюдениям ОТ, и способны вести эффективные наблюдения быстропеременных оптических явлений без участия человека, самостоятельно осуществлять обработку и систематизацию полученных данных, предоставляя учёным информацию о процессах, являющихся причиной транзиентных оптических событий. Сегодня в мире насчитывается множество научных проектов, эффективно применяющих роботизированные телескопы для изучения различных ОТ, одним из которых является проект MASTER, действующий на территории России.

Природные условия в Тункинской долине (высокая прозрачность атмосферы, удаленность от крупных населенных пунктов и т.д.), наличие высококвалифицированного коллектива и достаточная инфраструктура развития новых направлений исследований в области астрофизики на базе УНУ «Астрофизический комплекс МГУ- ИГУ в Тункинском астрофизическом центре коллективного пользования. В 2009 году здесь совместно с ГАИШ МГУ был построен астрономический павильон (рисунок 10.1), в котором был установлен сдвоенный робот – телескоп MASTER II (рисунок 10.2). Робот – телескоп системы MASTER является высоко эффективным инструментом для поиска и исследования оптических транзиентов. В частности, оптического сопровождения гамма-всплесков.



Рисунок 10.1 – Робот-телескопов MASTER-400 в астрономическом павильоне в

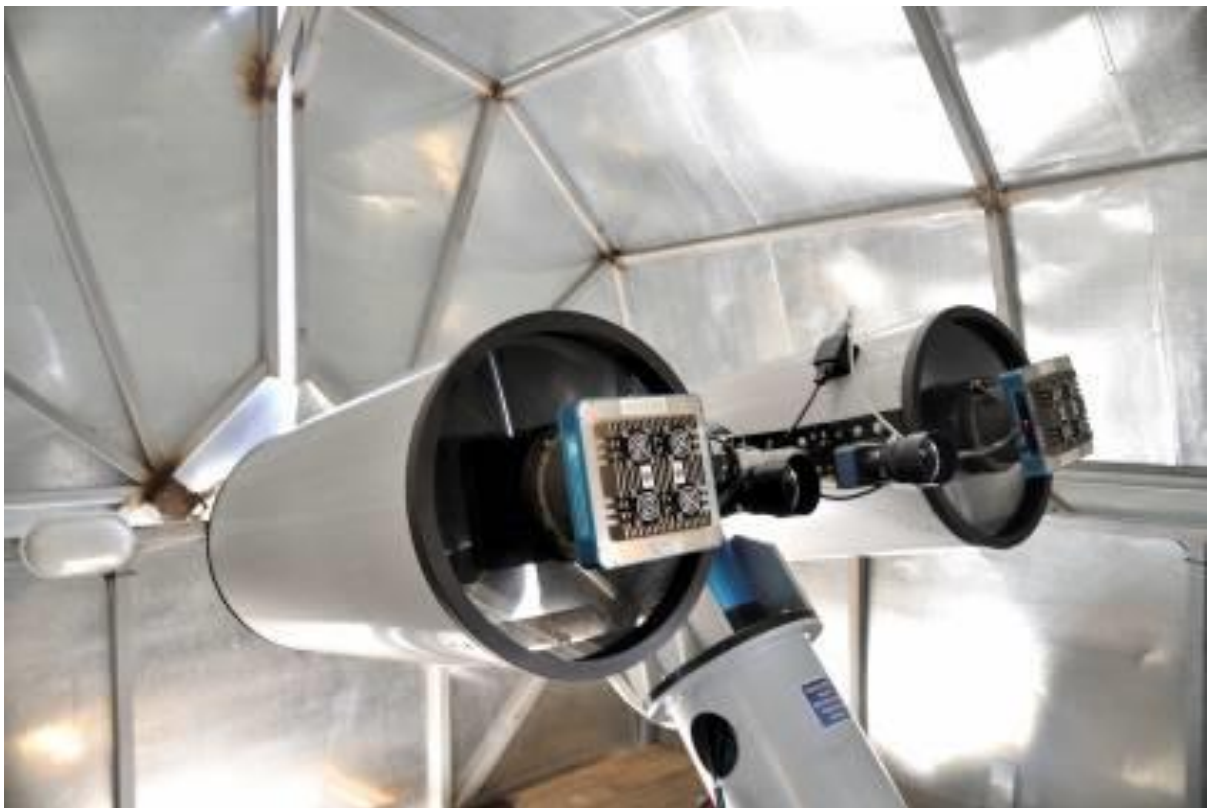


Рисунок 10.2 – Робот-телескоп МАСТЕР -400 диаметром 400 мм в астрономическом павильоне УНУ «Астрофизический комплекс МГУ- ИГУ».

С 2016 года Глобальная сеть телескопов-роботов МАСТЕР стала мировым лидером исследования релятивистских источников гравитационно-волновых всплесков LIGO/Virgo (Nature, 2017, 551, 85; AstrophysicalJournalLetters. vol. 848, pp. 12-71, 2017; AstrophysicalJournalLetters. vol. 850, n. 1, pp. L1, 2017), ранних оптических наблюдений гамма-всплесков (Nature, 2017, 547, 425), лидером в исследовании собственного оптического излучения гамма-всплесков – самых мощных явлений во Вселенной (Troja, E.; Lipunov, V. M. et al., Significant and variable linear polarization during the prompt optical flash of GRB 160625B, Nature, Vol. 547, p. 425-427 (2017); Lipunov et al. “Smooth Optical Self-similar emission of gamma-ray bursts.” APJ 2017, 845, 52L) и других явлений астрофизики высоких энергий (2 статьи в Nature (импакт-фактор 40) и 24 статьи в ведущих журналах с импакт-фактором выше 5 за 2 года).

Телескоп-робот МАСТЕР-Тунка в составе Глобальной роботизированной сети МАСТЕР в настоящее время достиг выдающихся результатов, став одной из наиболее эффективных поисковых систем в мире [25 – 33]. Телескопы МАСТЕР 17 августа 2017г. независимо открыли оптическое излучение килоновой (результат слияния нейтронных звезд) MASTER OTJ130948.10-232253.3/SSS17a, вызванное распадом сверхтяжелых радиоактивных химических элементов, образовавшихся в разлетающейся оболочке после слияния нейтронных звезд, зарегистрированного гравитационно-волновыми детекторами LIGO/Virgo как событие GW170817. Фактически, именно эти наблюдения открыли новую науку – гравитационно-волновую астрономию.

Все методики оперативного исследования астрофизических источников высоких (гамма-всплески, вспышки активных ядер галактик, Новые, Килоновые и Сверхновые звезды, короткие всплески, источники быстрых радиовспышек и др.) и сверхвысоких энергий (источники астрофизических нейтрино), разработанные нами для телескопа МАСТЕР-Тунка, не имеют аналогов в России.

Рождению новых разделов астрономии (гравитационно-волновая астрономия в международной коллаборация с экспериментом LIGO/VIRGO, внегалактическая нейтринная астрономия в международной коллаборация с экспериментами IceCube, ANTARES, а также Баксанской и Байкальской нейтринными обсерваториями) способствовал существенный прогресс в физике, особенно в гравитационно-волновой области, связанный с успешной оптической поддержкой, позволившей в короткие сроки локализовать источники гравитационных волн и нейтрино сверхвысоких энергий с астрономической точностью (APJL896,19, 2020). МАСТЕР-Тунка в составе Глобальной роботизированной сети МАСТЕР исследовал поля ошибок нескольких десятков гамма-всплесков и источников нейтрино и быстрых радио-вспышек в 2020г, получив первые и

единственные в мире изображения этих координат.

Для сравнения с другими астрономическими программными продуктами в области, например, рентгеновской астрономии укажем, что на одном снимке МАСТЕРа общее количество объектов может превышать полный рентгеновский обзор неба.

Необходимо подчеркнуть главное преимущество телескопа-робота МАСТЕР-Тунка и всей Глобальной сети МАСТЕР по сравнению со всеми уже работающими поисковыми системами - это фундаментальное математическое обеспечение разработанное в командой МАСТЕР в последние 15 лет и глобальное распределение пунктов работы телескопов-роботов. Именно оно было главным условием успеха в классических теперь работах по первой локализации источника гравитационных волн (независимое открытие килоновой GW170817). Напомним, что ни телескоп ПанСтарр ни проекты Каталина и iPTF, превосходящие МАСТЕР по диаметру, не внесли решающего вклада в инспекцию гравитационно-волновых полей ошибок 2015-2017 гг.

Инновационность подхода состоит в применении лучшего программного обеспечения обработки широкопольных изображений в режиме реального времени на МАСТЕР-Тунка (не имеет аналогов в России), с использованием одной из самых больших в мире монолитных ПЗС камер размером 60x60 мм к исследованию ближнего и дальнего космического пространства для решения актуальных задач современной астрофизики, позволяя нашей лаборатории проводить исследования экстремальных процессов во Вселенной на мировом уровне.

Следует подчеркнуть, что МАСТЕР-Тунка и вся сеть роботизированных телескопов МАСТЕР пока остается единственной Глобальной сетью широкопольных телескопов-роботов, созданного в России, т.е. созданные и прошедшие апробацию наши методы и подходы для решения фундаментальных задач современной астрофизики по исследованию экстремальных процессов во Вселенной не имеют конкурентов в России, и позволяют нам работать на мировом уровне, что подтверждается: двумя! публикациями в Nature в 2017г., внесением наибольшего вклада в оптическую инспекцию первого гравитационно-волнового всплеска GW150914 (ApJ, 826L, 13A (2016); ApJS, 225, 8A (2016); MNRAS 2017, 465, 3656; NewA 2017, 51, 122), независимым открытием Килоновой на месте слияния нейтронных звезд 17 августа 2017 г (2017, APJL, 848, L12; ApJL, 2017, 850, L1), открытием антикорреляции оптического излучения в момент регистрации нейтрино высокой энергии IceCube 170922A (Lipunov et al., 2020, Optical Observations Reveal Strong Evidence for High-energy Neutrino Progenitor, The Astrophysical Journal Letters, Volume 896, .L19, открытием около 2000 оптических транзиентов.

Сформулированная нами концепция создания многофункционального

астрономического комплекса в применении к роботизированным астрономическим сетям и системам на примере МАСТЕР-Тунка и всей Глобальной сети телескопов-роботов МАСТЕР, показала свою эффективность. Введение телескопа следующего поколения МАСТЕР-600 в составе комплекса УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ» будет способствовать развитию передовых цифровых, интеллектуальных производственных технологий, роботизированных систем, созданию систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта для решения фундаментальных и прикладных задач современной астрофизики с применением телескопов МАСТЕР 600, которые производятся в России. Инновационность подхода состоит в применении лучшего программного обеспечения обработки широкопольных изображений в режиме реального времени МАСТЕР (не имеет аналогов в России), с использованием одной из самых больших в мире монолитных ПЗС камер размером 60х60 мм (передовой продукт) на телескопах-роботах МАСТЕР к исследованию ближнего и дальнего космического пространства для решения актуальных задач современной астрофизики, позволяя нашей лаборатории проводить исследования экстремальных процессов во Вселенной на мировом уровне.

Новые оптические камеры робот-телескопа МАСТЕР-600 и монтаж для них почти в три раза тяжелее МАСТЕР-400 и имеют существенно большие габариты. В этой связи выполнен большой работ по усилению фундамента и увеличению высоты астрономического павильона Рис.10.3).



Рисунок 10.3 -Усиленный фундамент и модернизированный астрономический павильон для робот-телескопа МАСТЕР-600 в составе УНУ «Астрофизический комплекс

МГУ- ИГУ»

Монтаж нового телескопа МАСТЕР-600 был выполнен в октябре – ноябре 2020г (Рис.10.4 -10.9). Диаметр телескопа 600 мм, то есть в полтора раза выше первого отечественного телескопа-робота МАСТЕР-400. Светосила 2.1 . Фотометр оснащен двумя CMOS камерами QHY 6060



Рисунок 10.4 -Монтаж робот-телескопа МАСТЕР-600.



Рисунок 10.5- Монтаж робот-телескопа МАСТЕР-600.



Рисунок 10.6- Монтаж робот-телескопа МАСТЕР-600.



Рисунок 10.7 -Монтаж робот-телескопа МАСТЕР-600.



Рисунок 10.8 -Робот-телескопа МАСТЕР-600.



Рисунок 10.9 -Робот-телескопа МАСТЕР-600в астрономическом павильоне для робот-телескопа МАСТЕР-600 в составе УНУ «Астрофизический комплекс МГУ- ИГУ».

Испытания показали, что введенный в строй отечественный робот-телескоп МАСТЕР 600 существенно превышает возможности своего предшественника МАСТЕР 400 составившего основу Глобальной сети МАСТЕР первого поколения. Напомним, что полностью роботизированные светосильные широкопольные телескопы МАСТЕР предназначены для исследования самых мощных, быстропротекающих взрывных процессов в астрофизике и физике. Эти объекты являются источниками - жесткого гамма-излучения (гамма-всплески), нейтрино высоких энергий (сверхмассивные черные дыры), гравитационных волн (сталкивающиеся черные дыры и нейтронные звезды) и быстрых радиовсплесков (пока неизвестного происхождения). Помимо этого, уникальное программное обеспечение позволяет открывать новые объекты 10 астрономических типов: от сверхновых звезд до комет и потенциально опасных астероидов. Это математическое обеспечение разработанное учеными МГУ под руководством профессор В.М. Липунова позволяет практически всю работу вплоть до публикации проводить в автоматическом режиме.

10.1. Обобщение и выводы о результатах проделанной работы.

Завершены работы по повышению чувствительности робот-телескопа MASTER, за счет создания нового робот-телескопа MASTER-600 с оптическими камерами диаметром 600 мм. Каждая из двух оптических камер МАСТЕР-600 имеет поле зрения 8 квадратных градусов, так что скорость обзора неба возрасла в 2 раза. Чувствительность телескопа возросла в 6 раз (примерно две звёздные величины). Таким образом, доступный объём Вселенной возрос в 15 раз, соответственно эффективность Тункинского астрофизического центра по сверхбыстрым оптическим наблюдениям возросла до 15-20 раз в зависимости от типа объектов. На Рис. 10.10 первый снимок 5 галактики Андромеда, сделанный новым робот телескопом МАСТЕР-600 в составе УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ».

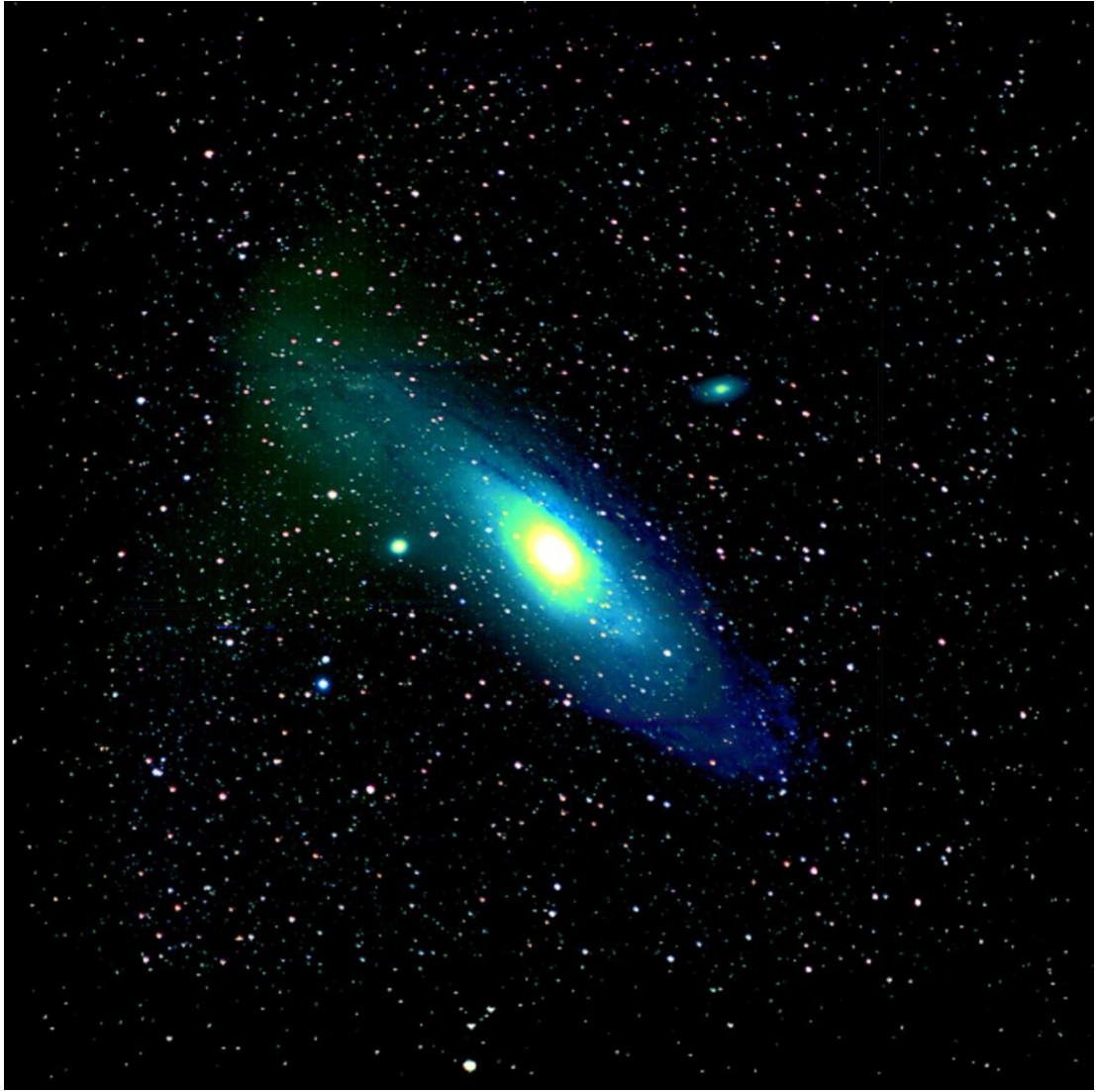


Рисунок 10.10- Галактика Андромеда.Снимок иллюстрирует поле зрения телескопа МАСТЕР- 600в составе УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ».

Заключение

Запланированные на 2020 год работы по Соглашению о предоставлении субсидии от "5" ноября 2019 г. № соглашения ЭБ 075-15-2019-1631 (Внутренний номер соглашения № 05.619.21.0013.) по теме: «Развитие уникальной научной установки Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ» выполнены полностью. В соответствии с планом-графиком:

Завершено развертывание пилотного комплекса гамма-обсерватории TAIGA в полном объеме. Количество оптических станций широкоугольной черенковской установки TAIGA-HiSCORE доведено до проектного значения – 120 станций на площади 1 кв. км. Введен в строй второй атмосферный черенковский телескоп установки TAIGA-IACT и осуществлен монтаж третьего АЧТ. Завершено развертывание кабельных коммуникаций.

Проведены работы по модернизации вычислительной инфраструктуры УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ». Создана распределенная сеть управления и сбора хранения и предварительной обработки экспериментальных данных, получаемых с помощью гибридной системы детекторов и установок УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ» на базе закупленного оборудования.

Проведена модернизация энергосистемы УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ». Ее мощность увеличена до 150 кВт, создана система бесперебойного электропитания. Осуществлен монтаж системы грозозащиты. Проложены новые силовые кабельные линии.

Закуплены комплектующие для широкоугольных камер для регистрации черенковского и флуоресцентного свечения ШАЛ. В соответствии с договором НИР № 282/141-20 от 31 июля 2020 г. между федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Иркутский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ИГУ») и Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова» по теме «Разработка широкоугольных малых телескопов на кремниевых фотоумножителях для решения фундаментальных и прикладных задач УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ» в НИИЯФ МГУ разработаны, изготовлены и испытаны опытные экземпляры широкоугольных детекторов с регистрирующими камерами на базе полупроводниковых фотоприемников (SiMP).

Завершена модернизация черенковской установки Tunka-133, все 100% ее широкоугольных детекторов включены в набор данных, эффективная площадь установки увеличена до 5 кв.км.

Проведены работы по модернизации системы синхронизации детекторов и установок УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ» на базе технологии WhiteRabbit.

Погрешность синхронизации всех оптических станций установки TAIGA-HiSCORE и атмосферных черенковских телескопов установки TAIGA не превышает 0,2 – 0,3 нс.

Проведена модернизация геофизического комплекса УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ». Закуплен и введен в строй 3-х компонентный феррозондовый магнитометр типа DMC-1 и новая система сбора геофизических данных.

Разработан проект и подготовлена инфраструктура для включения в состав УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ» широкоугольных телескопов (30 градусов поле зрения), регистрирующих черенковское и флуоресцентное излучение ШАЛ.

Проведены штатные сеансы наблюдений 2020 года с помощью действующих детекторов и установок УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ». В результате обработки и анализа полученных экспериментальных данных впервые зарегистрированы гамма-кванты с энергией порядка 100 ТэВ от источника в Крабовидной туманности, тем самым доказана эффективность развиваемого в проекте TAIGA гибридного подхода для поиска и исследования гамма-квантов с энергией выше 50 ТэВ. Впервые на российской установке на уровне достоверности выше 5 стандартных отклонений зарегистрировано гамма-излучение от источника в Крабовидной туманности и блазара Mrk 421 с энергией выше 3 ТэВ. Получены другие важные результаты.

Завершены работы по повышению чувствительности робот-телескопа MASTER, за счет создания нового робот-телескопа MASTER-600 с оптическими камерами диаметром 600 мм.. Каждая из двух оптических камер МАСТЕР-600 имеет поле зрения 8 квадратных градусов, так что скорость обзора неба возросла в 2 раза. Чувствительность телескопа возросла в 6 раз (примерно две звёздные величины). Таким образом, доступный астрономам объём Вселенной возрос в 15 раз, соответственно эффективность УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ» сверхбыстрым оптическим наблюдениям возросла до 15-20 раз в зависимости от типа объектов.

По результатам работы УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ» в 2020 году опубликовано 16 статья в изданиях индексируемых в международных системах цитирования Web of Science и Scopus [60 – 75], в том числе 9 статей в журналах, входящих, в 1 квартиль Web of Science.

В результате выполнения проекта в России начаты экспериментальные исследования в области гамма-астрономии высоких энергий на мировом уровне, причем чувствительность для регистрации гамма-квантов с энергией выше 30 ТэВ не имеющего аналогов в мире гибридного комплекса детекторов гамма-обсерватории TAIGA в составе УНУ «Астрофизический комплекс ИГУ-МГУ» существенно превышает не только

достигнутую в настоящее время в других экспериментах (MAGIC, H.E.S.S., VERITAS), но для энергий выше 100 ТэВ и ожидаемую для новых установок (LHASSO, СТА).

Таким образом, реализация данного проекта позволило открыть «новое окно» в гамма – астрономии и впервые в мире начать исследования гамма-излучения высоких энергий, что является важнейшим вкладом в понимание многих фундаментальных проблем физики высоких энергий и астрофизики. Создание гамма-обсерватории TAIGA в составе УНУ «Астрофизический комплекс ИГУ-МГУ» позволило России войти в число мировых лидеров в области гамма-астрономии и астрофизики элементарных частиц.

Существенно возрастает роль «Астрофизического комплекса МГУ-ИГУ» как крупнейшей современной исследовательской инфраструктуры на территории Российской Федерации уровня мега-сайнс – площадки для международного сотрудничества, реализуемого в настоящее время в рамках коллабораций TAIGA, Tunka, Tunka-Rex и MASTER, в которые входят, в том числе: DESY - Zeuthen, Zeuthen, Germany; Institut für Experimentalphysik, University of Hamburg, Hamburg, Germany; Max-Planck-Institute for Physics, Munich, Germany; Institute for Data Processing and Electronics (IPE), Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Dipartimento di Fisica Generale Università di Torino and INFN, Turin, Italy;; South African Astrophysical Observatory и другие научные организации и университеты, Полученные на установках «Астрофизического комплекса МГУ-ИГУ» результаты публикуются совместно с международными коллаборациями: LOPES, LIGO, Virgo, Fermi GBM, IceCube, ANTARES и другими. В рамках проекта планируется установить новые научные связи, привлечь еще больше ученых различных стран для совместной работы на установках «Астрофизического комплекса МГУ-ИГУ», в частности, установить взаимное сотрудничество с крупнейшей Европейской коллаборацией в области гамма-астрономии СТА (Cherenkov Telescope Array).

Развитие гибридного комплекса детекторов гамма-обсерватории TAIGA в составе УНУ «Астрофизический комплекс ИГУ-МГУ» позволит получить следующие научные результаты.

1) По результатам исследования потоков гамма-излучения для известных источников в области энергии выше 30 ТэВ будет сделан вывод о механизме генерации (адронном или лептонном) гамма-квантов в этих источниках, а также будет экспериментально проверена гипотеза о генерации протонами гамма-квантов сверхвысоких энергий в остатках сверхновых

2) Методом регистрации гамма-излучения будут впервые найдены объекты, ускоряющие галактические космические лучи до энергий выше 1000 ТэВ (ПэВатроны),

3) Будут получены новые данные о протяженных (остатки сверхновых, молекулярные облака) галактических источниках гамма-излучения в диапазоне 1 -20 ТэВ.

4) Будут найдены новые внегалактические источники гамма-излучения ТэВного диапазона. В диапазоне энергий 3-50 ТэВ будет установлена энергетическая зависимость величины поглощения гамма-квантов на межгалактическом фоне. Будет проведен поиск аксион-фотонных переходов.

5) Будет восстановлен энергетический спектр и массовый состав космических лучей в энергетическом диапазоне 20 ТэВ – $2 \cdot 10^5$ ПэВ (важной области, где ожидается смена основных источников ускорения в Галактике) на наивысшем в мире уровне статистической обеспеченности.

6) Будут получены новые данные о спектрах и массовом составе космических лучей в области 10 -1000 ПэВ с помощью нового подхода (совместных измерений мюонами и радио детекторами), что позволит существенно уточнить сведения об области перехода от Галактических к Метагалактическим источникам либо к Галактическим источникам нового типа, способным ускорять космические лучи до энергий 100 – 1000 ПэВ.

7) Будет изучено (или поставлен предел на поток) диффузное гамма-излучение Галактики в области сотен ТэВ, аккумулирующее информацию о пространственном распределении источников космических лучей высоких энергий в Галактике, и о магнитогидродинамических параметрах среды Галактики на больших расстояниях от центра.

8) Будет исследовано гамма-излучение в диапазоне энергий 0,3 – 1000 ПэВ или поставлен предел на его величину.

9) Будет внесен вклад в решение других задач астрофизики элементарных частиц.

10) Создание гамма-обсерватория TAIGA с гибридной системой детекторов позволит выполнить исследования и в области наук о Земле, исследовании солнечно-земных связей, получить результаты, которые позволят повысить точность измерений с помощью глобальных навигационных систем и т.д. В частности, вероятно, значительный объем информации о состоянии и процессах в атмосфере можно будет извлечь из результатов регистрации излучения лидара, установленного на международной космической станции, которое регулярно регистрируется установкой TAIGA–HiSCORE.

11) Создание гамма-обсерватория TAIGA будет способствовать развитию новых технологий высокоточных измерений, в том числе с субнаносекундной точностью на основе методов, развитых при создании Большогоадронногоколлайдера, например технологии WhiteRabbit. Аппаратура, использующая данную технологию, предоставлена DESY и предназначена для синхронизации больших распределённых микропроцессорных

систем с субнаносекундной точностью и сбора больших объемов данных. Ввоз в Россию оборудования такого уровня особенно важен в условиях санкций.

12) Исключительное значение имеет то, что реализация такого современного крупномасштабного проекта в Восточной Сибири, позволяет готовить здесь на базе гамма-обсерватории TAIGA значительное количество специалистов из числа студентов Иркутского государственного университета и технических вузов Иркутска и Улан-Удэ для работы в высокотехнологических отраслях реального производства, владеющих современными технологиями измерений, связи, программирования, работы с большими объемами данных и т.д.. Это способствует закреплению высококвалифицированных кадров, развитию научно-технического потенциала и высокотехнологичных производств в Иркутской области и республике Бурятия, что важно для укрепления основных геополитических интересов России.

13) Результаты, полученные с помощью комплекса «SkyLine», могут быть востребованы в следующих областях науки и техники:

- Общая астрономия, астрофизика, планетология. Изучение метеорного вещества является необходимой мерой для понимания механизма зарождения и эволюции Солнечной системы, а также протекающих в ней процессов.

- Космонавтика. Метеорное вещество представляет потенциальную опасность для космических аппаратов, вследствие чего информация о его распределении может быть крайне полезна для планирования космических миссий.

- Общая и прикладная климатология, метеорология, физика атмосферы. Метеоры могут служить своеобразным сканером условий верхней атмосферы в диапазоне высот от 60 до 130 километров, информацию о которых крайне сложно получить каким-либо иным способом.

- Оборонная сфера. Информация о состоянии верхней атмосферы и ближнего космоса может представлять интерес в контексте разработки и эксплуатации ракетной техники военного назначения, дальней радиосвязи и радиолокации.

- Астероидно-кометная опасность. Исследование строения и эволюции метеорных потоков даёт представление о влиянии планет Солнечной системы на орбиты малых тел, что позволяет вносить необходимые корректировки в расчёты параметров орбит потенциально опасных объектов.

14) Геофизическая часть проекта должна привести к фундаментальным и практическим результатам в области прогноза землетрясений и понимания глубинной тектоники. При этом геофизическая актуальность данных уникальной установки за счет продвижения в длиннопериодную область и применения самообучающихся

прогностических алгоритмов будет в течении лет и десятилетий непрерывно возрастать. Таким образом, эта часть проекта имеет две важнейших области применения:

- Прогностический мониторинг крупномасштабных процессов в литосфере, включая краткосрочный и среднесрочный прогноз землетрясений

- Создание и последовательное уточнение детальной трехмерной геоэлектрической модели Байкальского рифта до глубин около 400 км.

Созданная в ходе проекта технология прогностического мониторинга геофизических процессов может затем быть реализована и в других регионах в интересах МЧС, Минприроды и других ведомств и организаций, заинтересованных в контроле и прогнозе катастрофических природных процессов.

В результате развития УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ» в рамках данного Гранта получены также следующие результаты:

- в результате расширения доступ к оборудованию УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ» для выполнения научных и научно-технических проектов по заявкам третьих лиц; количество организаций, участвующих в проведении исследований с использованием оборудования УНУ увеличилось до 32.

- внедрена упрощенная модель доступа и использования оборудования УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ» научными и образовательными организациями вне зависимости от их ведомственной принадлежности и формы собственности (подача заявки через сайт, возможность заключения договора через сайт, в том числе на условиях присоединения, дистанционное оказание услуг и выдачи результатов).

- выполнены работы и оказаны услуги для проведения научных исследований, а также осуществления экспериментальных разработок, в том числе в интересах третьих лиц;

- перечень оказываемых услуг расширен в два раза до 12;

- реализован комплекс мероприятий, направленных на обеспечение максимальной загрузки оборудования УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ» и обеспечена загрузка в интересах внешних внерегиональных пользователей на уровне 100%;

- осуществлено нормативно-методическое, метрологическое и информационное обеспечение деятельности УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ»

- осуществлена подготовка кадров для УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ», а именно: по результатам исследований с помощью оборудования УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ» в 2019 – 2020 годах было выполнено и успешно защищено 5 ВКР бакалаврами и 3 ВКР магистрами ИГУ, они приняты на постоянную

работу по государственному заданию № FZZE-2020-0024, которое выполняется на базе я УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ», подготовлено к защите 3 кандидатских диссертаций;

- по сравнению с требованиями конкурсной документации обеспечено превышение значений индикаторов и показателей выполнения работы в следующем размере: минимум, на 173% по доле молодых исследователей (60% в 2019 году и 60,5% в 2020 году) и 213% по числу организаций- пользователей УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ» (26 в 2019 году и 32 в 2020 году);

- подготовлены промежуточный и заключительный отчеты о работе.

Актуальные сведения о ходе выполнения и результатах проекта доступны по ссылке:
<http://api.isu.ru/index.php/results/>

Список используемой литературы:

1. Hess V.F. Phys.Zs. 1912.V.13. P.1084.
2. TeVCat - онлайн каталог ТЭВ-ных источников: <http://tevcat.uchicago.edu/>
3. F. Aharonian. Very high energy cosmic gamma radiation.A Crucial Window on the Extreme Universe. //World Scientific. 2004. 508 p.
4. Куликов Г.В., Христиансен Г.Б.//ЖЭТФ, 1959, Т.35, С.441
5. G. Pühlhofer, O. Bolz, N. Götting et al. (The HEGRA Collaboration) The Technical Performance of the HEGRA System of Imaging Air Cherenkov Telescopes //Astroparticle Physics 2003. V.20. P. 267-291 DOI: 10.1016/j.astropartphys.2003.06.001 Preprint: astro-ph/0306123
6. F.Aharonian (HESS Collaboration)//Astroparticle Physics 2011. V.34. P.738-747 HESS-<http://www.mpi-hd.mpg.de/hfm/HESS/HESS.html>
7. Albert et al // Astrophys.J.639:761-765, 2006 e-Print: astro-ph/0508543 MAGIC <http://wwwmagic.mppmu.mpg.de/>
8. V.Acciari (VERITAS Collaboaration) Ap.J Letters 730 (2011) L20 VERITAS <http://veritas.sao.arizona.edu>
9. M. Hillas, Proc. 19th ICRC, La Jolla 3 (1985) 445
10. M.Actis et al. Experimental Astronomy (2011) 121;CTA consortium. Design Concepts for the Cherenkov Telescope Array CTA // arXiv:1008.3703v2 [astro-ph.IM
11. G.Sinnis et al. Nucl.Instrum.Meth.A623:410-412,2010. HAWC collaboration. <http://hawc.umd.edu/>
12. Q.An et al et // Nucl.Instrum.Meth.A644:11-17,2011.LHAASO collaboration <http://english.ihep.cas.cn/ic/ip/LHAASO>
13. Berezhnev S., D. Besson, N.M. Budnev, M. Büker et al The Tunka - multi-component EAS detector for high energy cosmic ray studies // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A. 2013. -V. 732. P.281–285. doi.org/10.1016/j.nima.2013.05.180
14. N M Budnev, I I Astapov, A G Bogdanov, V Boreyko et al TAIGA the Tunka Advanced Instrument for cosmic ray physics and Gamma Astronomy — present status and perspectives.// Journal of Instrumentation 2014. V.9. P.C09021. doi:10.1088/1748-0221/9/09/C09021
15. B.A. Antokhonov et al. A new 1-km**2 EAS Cherenkov array in the Tunka valley.// Nucl. Instrum. Meth. A. 2011. V.639. P.42-45.
16. Berezhnev S.F. et al The Tunka-133 EAS Cherenkov light array: status of 2011. // Nucl.Instrum.Meth.A. 2012. –V. 692.-P.98-105. DOI: 10.1016/j.nima.2011.12.091 e-Print:

arXiv:1201.2122 [astro-ph.HE]

17. M. Tluczykont et al HiSCORE - the Hundred square-km cosmic Origin Explorer //AIP, Conf. Proc. 2012. V.1505, pp. 821-824; doi:<http://dx.doi.org/10.1063/1.4772386> .
18. O. Gress et al Tunka-HiSCORE - A new array for multi-TeV gamma-ray astronomy and cosmic-ray physics // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A. 2013. V. 732 – P. 290-294 DOI: [10.1016/j.nima.2013.06.034](https://doi.org/10.1016/j.nima.2013.06.034)
19. M. Kunnas, M. Brückner, N. Budnev, M. Büker et al. Hardware and first results of TUNKA-HiSCORE // Nucl.Instrum.Meth. A 2014 V.742. P.269-270. DOI: [10.1016/j.nima.2013.12.025](https://doi.org/10.1016/j.nima.2013.12.025)
20. D. Kostunin et al. Latest results of the Tunka Radio Extension Published in EPJ Web Conf. 145 (2017) 11001 DOI: [10.1051/epjconf/201614511001](https://doi.org/10.1051/epjconf/201614511001)
21. D.Kostunin et al. Towards a cosmic-ray mass-composition study at Tunka Radio Extension Published in EPJ Web Conf. 135 (2017) 01005 DOI: [10.1051/epjconf/201713501005](https://doi.org/10.1051/epjconf/201713501005)
22. F.G. Schröder et al. Tunka-Rex: Status, Plans, and Recent Results Published in EPJ Web Conf. 135 (2017) 01003 DOI: [10.1051/epjconf/201713501003](https://doi.org/10.1051/epjconf/201713501003)
23. R. Hiller et al. Tunka-Rex: energy reconstruction with a single antenna station Published in EPJ Web Conf. 135 (2017) 01004 DOI: [10.1051/epjconf/201713501004](https://doi.org/10.1051/epjconf/201713501004)
24. E.S. Gorbovskoy MASTER-II Network of Robotic Optical Telescopes. First Results / E.S. Gorbovskoy, V.M. Lipunov, V.G. Kornilov, A.A. Belinski et al //Astronomy Reports April 2013 V. 4(57) . P.233-286. DOI: [10.1134/S1063772913040033](https://doi.org/10.1134/S1063772913040033).
25. V. M. Lipunov, J. Gorosabel, M. V. Pruzhinskaya et al. The optical identification of events with poorly defined locations: the case of the Fermi GBM GRB 140801A//Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 2015. – V.455. –P.712-724. doi:[10.1093/mnras/stv2228](https://doi.org/10.1093/mnras/stv2228)
26. E.S. Gorbovskoy et al. Early polarization observations of the optical emission of gamma-ray bursts: GRB150301B and GRB150413A // Mon.Not.Roy.Astron.Soc. 2016. –V. 455. P.3312
27. Vladimir M. Lipunov, E. Gorbovskoy, V. Kornilov, V. Krushinskiy, D. Vlasenko, N. Tiurina, P. Balanutsa, A. Kuznetsov, N. Budnev et al MASTER OPTICAL POLARIZATION VARIABILITY DETECTION IN THE MICROQUASAR V404 CYG/GS 2023+33 // The Astrophysical Journal. 2016. –V. 833. – N. 2 -P.198.
28. V.M. Lipunov et al.. First Gravitational-Wave Burst GW150914: Part II. MASTER Optical Follow-Up Observations // Oxford Journals Science & Mathematics MNRAS 2016. –V. 465.- Is.3. -P. 3656-3667 DOI: [10.1093/mnras/stw2669](https://doi.org/10.1093/mnras/stw2669). e-Print: [arXiv:1605.01607](https://arxiv.org/abs/1605.01607) [astro-ph.HE]
29. B.P. Abbott , R. Abbott, T.D. Abbott, M.R. Abernathy et al. Supplement: Localization and broadband follow-up of the gravitational-wave transient GW150914 // Astrophys.J.Suppl. 2016. –V.225. No.1. –P. 8. DOI: [10.3847/0067-0049/225/1/8](https://doi.org/10.3847/0067-0049/225/1/8) e-Print: [arXiv:1604.07864](https://arxiv.org/abs/1604.07864)

[astro-ph.HE]

30. B. P. Abbott, LOCALIZATION AND BROADBAND FOLLOW-UP OF THE GRAVITATIONAL-WAVE TRANSIENT GW150914 / R. Abbott, T. D. Abbott, M. R. Abernathy et al // The Astrophysical Journal Letters, 2016 –V.826. –No.1. P.L13. doi:10.3847/2041-8205/826/1/L13 e-Print: arXiv:1602.08492 [astro-ph.HE]
31. B.P.Abbotte et al. A gravitational – wave standard siren of the Hubble constant. / R. Abbott, T. D. Abbott, M. R. Abernathy et al // Nature 2017. –V. 7678. -N. 551, -P. 85-88. doi:10.1038/nature24471
32. V. M. Lipunov First gravitational-wave burst GW150914: MASTER optical follow-up observations /V. M. Lipunov V. Kornilov, E. Gorbovskoy, D. A. H. Buckley et al //Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (MNRAS) March 01, 2017. V. 465 Is. 3 (March 01, 2017) P.3656-3667. doi: 10.1093/mnras/stw2669
33. E. Troja, Significant and variable linear polarization during the prompt optical flash of GRB 160625B / E. Troja, V. M. Lipunov, C. G. Mundell, N. R. Butler et al // Nature. 2017. - -V. 7664. –N. 547. - P. 425-427. DOI: 10.1038/nature23289
34. Hasegawa I. Tentai Kidou Ron (Determination of Orbits). – Tokio: Kouseisha Kouseikaku, 1982.-253 pages.
35. SKY2000 Star Catalog/ URL: <http://tdc-www.harvard.edu/catalogs/sky2k.html>
36. SonotaCo web site/ URL: http://sonotaco.com/e_index.html
37. Rspec web site/ URL: <http://rspec-astro.com>
38. V.V.Prosin for theTunkaCollaboration, Nuclear Physics B (Proc.Suppl) 190 (2009) 247-252
39. T.Abu-Zayyad et al. Astropart. Phys. 48 (2013) 16
40. A. Schulz for the Pierre Auger Collaboration, Proc. 33rdICRC Rio De Janeiro (2013) ID=769
41. E.Korosteleva et al. Int.J.Mod Phys. A20 (2005) 6837-6839, arXiv: astro-ph/0411216
42. E.E.Korosteleva et al. Nuclear Physics B (Proc. Supp.) 165 (2007) 74-80
43. A.Karle et al. Astropart. Phys. 3 (1995) 321
44. N.M.Budnev et al. Journal of Instrumentation 9 (2014) C09021
45. M.Tluczykont et al. Astropart. Phys. 56 (2014) 42
46. W.D.Apel et al. (KASCADE-Grande Collaboration), Astropart. Phys. 36 (2012) 183
47. M.Aglietta et al. EAS-TOP Collaboration, Astropart.Phys. 10 (1999) 1

48. A.P.Garyaka et al. *Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics* 35 (2008) 115201
49. J T.Antony et al. *Nucl. Instr. and Methods in Physics Research A* 513 (2003) 490
50. M.Amenomori et al. (Tibet Collaboration), *Astrophys. J.* 678 (2008) 1165
51. Aartsen M.G., et al., *Phys. Rev. Lett.* D 88 (2013) 042004
52. L. Sveshnikova et al. *Nuclear Physics B (Proc. Suppl.)* 256 (2014) 218-224
53. A.Erlykin,A.Wolfendale,R.Martirosov, *CERN-Courier* 21 (2011) 201
54. W.D.Apel et al. *Physics Letters B* 763 (2016) 179
55. A.Haungs, *Physics Procedia* 00 (2015) 1-10
56. R.D.Monkhoev et al. *Journal of Instrumentation* 12 6 (2017) 19
57. J N.M. Budnev The primary cosmic-ray energy spectrum measured with the Tunka-133 array
/N.M. Budnev, A. Chiavassa, O.A. Gress, T.I. Gress // *Astroparticle Physics*. 2020. –V.117.-
P.102406 <https://doi.org/10.1016/j.astropartphys.2019.102406>
58. Chantell M.C. et al. // *Phys. Rev. Lett.* 1997. V. 79. P. 1805.
59. Feldman G.J and Cousins R.D. // *Phys. Rev. D.* 1998. V. 57. 3873.
60. I.N. Jordana-Mitjans, C. G. Mundel, S. Kobayashi, R. J. Smith, C. Guidorzi, I. A. Steele, M. Shrestha, A. Gomboc, M. Marongiu, R. Martone, V. Lipunov, E. S. Gorbovskoy, D. A. H. Buckley, R. Rebolo, and N. M. Budnev Lowly Polarized Light from a Highly Magnetized Jet of GRB 190114C // *The Astrophysical Journal*, 2020 Volume 892, -P. 2 (20 pp.)
<https://doi.org/10.3847/1538-4357/ab7248>
61. 2.O.A. Ershova et al.. Early Optical Observations of Gamma-Ray Bursts Compared with Their Gamma- and X-Ray Characteristics Using a MASTER Global Network of Robotic Telescopes from Lomonosov Moscow State University / O.A. Ershova, V.M. Lipunov, E.S. Gorbovskoy, N.V. Tyurina, V.G. Kornilov, D.S. Zimnukhov, A. Gabovich, O.A. Gress, N.M. Budnev// *Astron.Rep.* 64 (2020) no.2, -P.126-158. DOI: 10.1134/S1063772920020018
62. 3. V.M. Lipunov, V.G. Kornilov, K.K. Zhirkov, E.S. Gorbovskoy, N.M. Budnev, D.A.H. Buckley, R. Rebolo, M. Serra-Ricart, R. Podesta, N. Tyurina, O. Gress, Yu. Sergienko, V. Yurkov, A. Gabovich, P. Balanutsa, I. Gorbunov, D. Vlasenko, F. Balakin, V. Topolev, A. Pozdnyakov, A. Kuznetsov, V. Vladimirov, A. Chasovnikov, D. Kuvshinov, V. Grinshpun,

- E. Minkina, V.B. Petkov, S.I. Svertilov, C. Lopez, F. Podesta, H. Levato, A. Tlatov, B. van Soelen, S. Razzaque, M. Böttcher. Optical Observations Reveal Strong Evidence for High Energy Neutrino Progenitor // *The Astrophysical Journal Letters*, 896:L19 (5pp), 2020 June 20 <https://doi.org/10.3847/2041-8213/ab96ba> e-Print: arXiv:2006.04918
63. Budnev N. TAIGA—A hybrid array for high-energy gamma astronomy and cosmic-ray physics. / N.Budnev, I.I.Astapov, P.A.Bezyazeev, A.Borodin et al // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A*: 2020. –V. 958. –P. 162113. DOI: 10.1016/j.nima.2019.04.067
64. Astapov I. Optimization of electromagnetic and hadronic extensive air shower identification using the muon detectors of the TAIGA experiment /I. Astapov, P. Bezyazeev, V. Boreyko, A. Borodin, M. Brueckner, N. Budnev et al. // *Nucl.Instrum.Meth. A*952 (2020) 161730. DOI: 10.1016/j.nima.2018.12.045
65. Kuzmichev L. Cherenkov EAS arrays in the Tunka astrophysical center: From Tunka-133 to the TAIGA gamma and cosmic ray hybrid detector / L. Kuzmichev, I. Astapov, P. Bezyazeev, A. Borodin, M. Brückner, N. Budnev et al. // *Nucl.Instrum.Meth. A*952 (2020) 161830. DOI: 10.1016/j.nima.2019.01.056
66. Budnev N.M.. The primary cosmic-ray energy spectrum measured with the Tunka-133 array /N.M. Budnev, A. Chiavassa, O.A. Gress, T.I. Gress, A.N. Dyachok et al. // *Astropart.Phys.* 117 (2020) 102406 <https://doi.org/10.1016/j.astropartphys.2019.102406>
67. Н.М. Буднев, Н.В. Волков, А.А. Лагутин, Е.Ю. Мордвин, Р.И. Райкин, А.И. Ревякин, Р. Тогоо Космический мониторинг астроклиматических условий. аймака Хувсгел (Монголия) // *Известия АлтГУ. Физика*. 2020. № 4 (114). – С.27-32. DOI 10.14258/izvasu(2020)4-04
68. 6. I. Astapov et al. An approach for identification of ultrahigh energy extensive air showers with scintillation detectors at TAIGA experiment. // *JINST* 15 (2020) no.09, C09037 DOI: 10.1088/1748-0221/15/09/C09037
69. Budnev N. TAIGA—an advanced hybrid detector complex for astroparticle physics and high energy gamma-ray astronomy in the Tunka valley /N. Budnev, I. Astapov, P. Bezyazeev, E. Bonveh // *JINST*. – 2020. -V.15. -N.09. P. C09031 DOI: 10.1088/1748-0221/15/09/C09031

70. Yaroslav Sagan et al.. TAIGA observatory: IACT fabrication and tests // Published in PoS ICRC2019 (2020) 776 DOI: 10.22323/1.358.0776
71. Nima Lubsandorzhev et al. The hybrid installation TAIGA: design, status and preliminary results // Published in PoS ICRC2019 (2020) 729 DOI: 10.22323/1.358.0729
72. D. Chernov et al.. Development of a novel wide-angle gamma-ray imaging air Cherenkov telescope with SiPM-based camera for the TAIGA hybrid installation // Published in JINST 15 (2020) no.09, C09062 DOI: 10.1088/1748-0221/15/09/C09062
73. A. Ivanova et al. Design features and data acquisition system of the TAIGA-Muon scintillation array // Published in JINST 15 (2020) no.06, C06057 DOI: 10.1088/1748-0221/15/06/C06057
74. V. Samoliga, A. Pakhorukov Correction for angular acceptance of the TAIGA-HiSCORE // JINST 15 (2020) no.07, C07010 DOI: 10.1088/1748-0221/15/07/C07010
75. N. M. Budnev, I.Astapo, P. Bezyazeev, A. Borodin et al Status of the TAIGA Experiment:From Cosmic-Ray Physics to Gamma Astronomy in Tunka Valley. // Physics of Atomic Nuclei, 2020, Vol. 83, No. 6, pp. 842–852.