

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»
(НИЯУ МИФИ)

УДК 524.1

ОТЧЁТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ
по теме
АНАЛИЗ РАБОТЫ УСТАНОВКИ ПРИЗМА-32

Руководитель НИР,

к.ф.-м.н.

НОЦ НЕВОД

_____ Д. М. Громушкин

Студент

_____ А. Д. Почестнев

Москва 2021

СОДЕРЖАНИЕ

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Введение | 2 |
| 2 | Описание установки ПРИЗМА-32 | 4 |
| 3 | Работа с данными | 6 |
| 1 | Первичная обработка | 6 |
| 2 | Подготовка данных к обработке | 7 |
| 2.1 | ПО для контроля работы установки | 8 |
| 3 | База данных | 9 |
| 3.1 | Структура базы данных | 9 |
| 3.2 | Объединение событий, зарегистрированных одновременно обоими кластерами | 10 |
| 3.3 | Корректность работы детекторов в установке | 12 |
| 4 | Настройка детекторов | 13 |
| 4.1 | Темновой ток ФЭУ с детекторов | 14 |
| 4.2 | Настройка детекторов первого кластера | 15 |
| 4.3 | Настройка детекторов второго кластера | 16 |
| 4 | Временное распределение нейтронов и спектр энергосделений ШАЛ | 18 |
| 1 | Временное распределение нейтронов | 18 |
| 2 | Спектр энергосделений ШАЛ | 20 |
| 5 | Заключение | 22 |
| | Список использованных источников | 23 |

1 ВВЕДЕНИЕ

Большая часть всех широких атмосферных ливней (ШАЛ) инициируется чрезвычайно энергичными адронами первичных космических лучей ($E > 10^{13}$), которые изотропно попадают в атмосферу из космоса, создавая большое количество вторичных частиц в серии последовательных столкновений с ядрами-мишенями атмосферы (N_2 , O_2 , Ar) вдоль их траекторий. Одна высокоэнергетическая первичная частица может создать гигантский каскад частиц и фотонов, который распространяется со световой скоростью через атмосферу и может достигать уровня моря, если событие достаточно энергично. В широком атмосферном ливне присутствуют электромагнитная, мюонная и адронная компоненты.

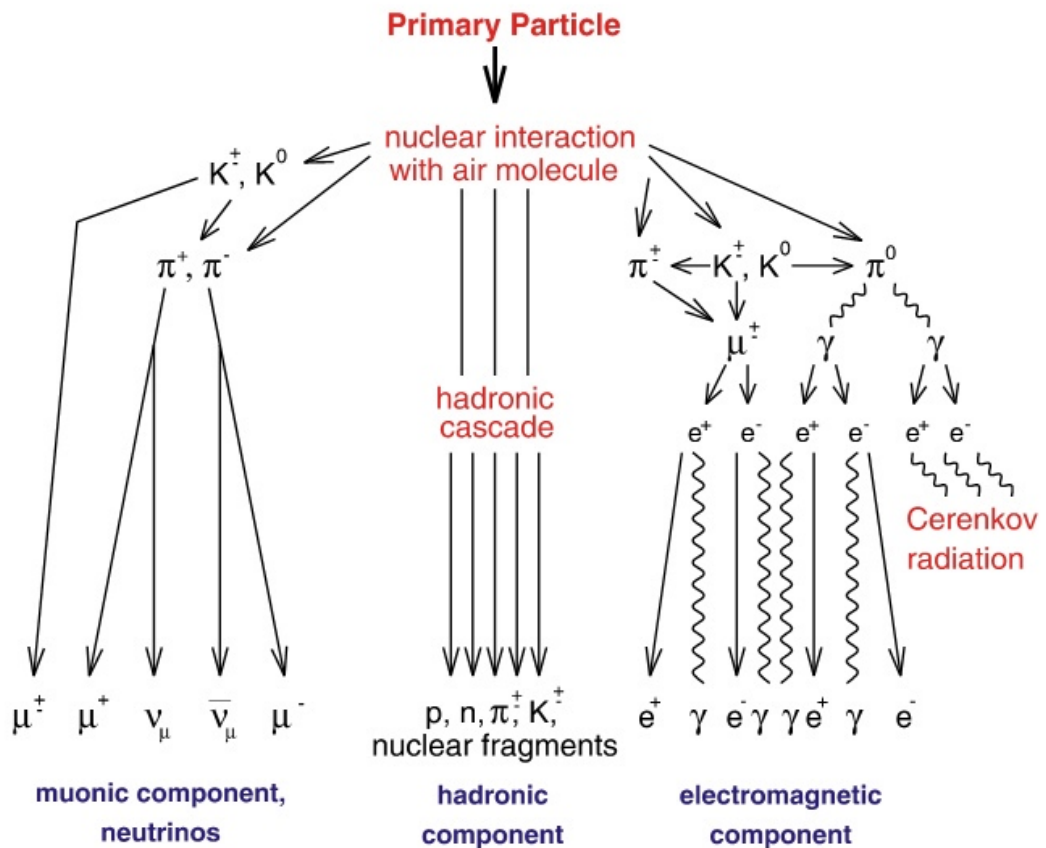


Рисунок 1.1 — Схематический график компонент ШАЛ

Электромагнитная и мюонная компоненты ШАЛ являются наибольшими по числу частиц, поэтому основная часть установок, созданных для изучения ШАЛ, измеряют именно эти компоненты. В качестве примера можно выделить следующие установки: ШАЛ МГУ, Якутскую установку, ШАЛ на Тянь-Шане, EAS-TOPO, KASCADE и

KASCADE-Grande, Tibet-AS γ и ARGO-YBJ, AGASA, Telescope Array.

Непосредственное изучение адронов ШАЛ проводилось в 1970-1980-е годы в широкомасштабных экспериментах CHACKALTAJA, PAMIR, HADRON, основанных на специализированных адронных детекторах большой площади. Эксперименты, к сожалению, были заброшены по причине высоких для настоящего времени трудоемкости и дороговизны, несмотря на то, что адронная компонента является формирующей все основные свойства ШАЛ. В то время, как электромагнитная компонента - вторичная. Получение из вторичной компоненты энергии первичной частицы требует использования математических моделей взаимодействия, которые могут исказить данные по первичной компоненте.

Альтернативным методом изучения адронной компоненты ШАЛ является регистрация её нейтронной компоненты [1] на поверхности Земли. Связь адронной компоненты ШАЛ и испарительных нейтронов, образующихся при взаимодействии энергичных адронов ШАЛ с ядрами мишени-поглотителя, была изучена на Тянь-Шаньском нейтронном мониторе и нейтронном мониторе г. Мехико. В работах [2], [3] были получены временные зависимости интенсивности тепловых нейтронов, а также получена корреляционная зависимость между кратностью нейтронов и мощностью ливня. Нейтронная компонента образуется при взаимодействии высокоэнергичных адронов ливня с ядрами атомов атмосферы и поверхностного слоя грунта Земли. В процессе развития ливня в атмосфере нейтроны рождаются до сих пор, пока энергия частиц больше порога рождения нуклонов. Стоит отметить, что большую часть вторичных частиц, появляющихся в каскадном процессе, составляют более легкие пионы и каоны, а доля самих нейтронов мала.

При энергиях ниже порога рождения нуклонов преобладает процесс рождения нейтронов в результате развала ядер среды под действием развивающегося ливня.

Нейтронная компонента ШАЛ в настоящее время является малоизученной. Хотя она может нести в себе важнейшую информацию о спектре и составе космических лучей.

В последнее время интерес к нейтронам в ШАЛ возрос, появились установки для их изучения (УРАН, LHAASO, Тянь-Шаньский супермонитор и др). В числе их есть и ПРИЗМА-32 [1], созданная в совместном проекте НИЯУ МИФИ с ИЯИ РАН на базе экспериментального комплекса НЕВОД создана ПРИЗМА-32, являющаяся прототипом установок для регистрации нейтронной компоненты ШАЛ.

Целью данной работы является автоматизация подготовки данных ПРИЗМА-32 к обработке и физическая обработка данных за 2020-2021гг.

2 ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ ПРИЗМА-32

Установка состоит из 32 детекторов, расположенных с шагом $5\text{ м} \times 2.5\text{ м}$, разбитых на два кластера по 16 детекторов, занимающих площадь $\sim 450\text{ м}^2$.

Основной целью исследований на установке является изучение спектра и состава космических лучей в области «излома» $3 \times 10^{15}\text{ эВ}$ посредством анализа нейтронной компоненты ШАЛ.

В качестве регистрирующего элемента используются эн-детекторы, способные регистрировать сразу две компоненты ливней: адронную, через тепловые нейтроны (н), и электромагнитную, по групповому прохождению заряженных частиц, в основном электронов (э).

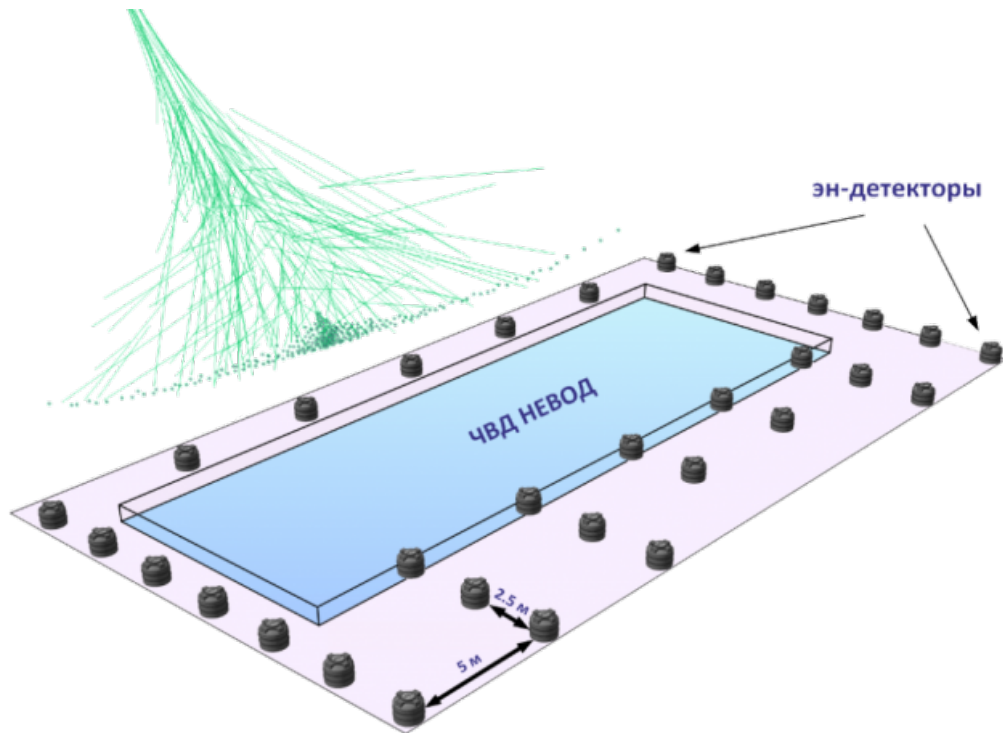


Рисунок 2.1 — Экспериментальная установка ПРИЗМА-32

В качестве корпуса эн-детектора была использована стандартная светонепроницаемая полиэтиленовая бочка черного цвета (объемом 200 л с высотой 570 мм и диаметром 740 мм) с установленным в ней диффузно-отражающим конусом. В верхнюю часть конуса устанавливается ФЭУ-200, который закреплен на крышке бочки специальной подвеской. В основании светонепроницаемого корпуса расположен специализированный неорганический сцинтиллятор $\text{ZnS}(\text{Ag})$ с добавкой ${}^6\text{LiF}$ в виде тонкого слоя ($\sim 30\text{ мг/см}^2$). Эффективная площадь сцинтиллятора в таком детекторе составляет $\sim 0.36\text{ м}^2$.

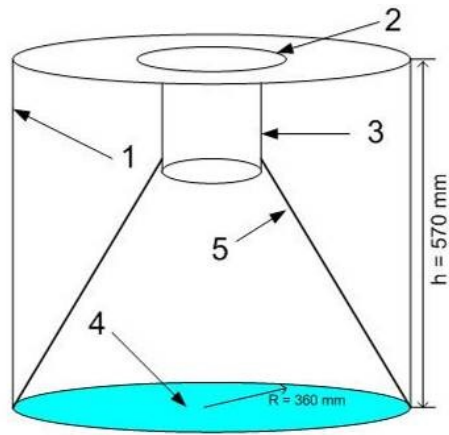
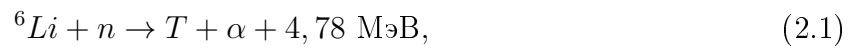


Рисунок 2.2 — Конструкция нейтронного детектора. 1 - светозащитный корпус детектора; 2 – крышка с подвеской; 3 - ФЭУ-200; 4 - сцинтиллятор $\text{ZnS}(\text{Ag}) + {}^6\text{Li}$; 5 – светоотражающий конус.

Регистрация тепловых нейтронов происходит следующим образом: используется сплав $\text{ZnS}(\text{Ag})$ и LiF , обогащенного ${}^6\text{Li}$, который и захватывает нейтрон:



где образовавшиеся α частица и ядро трития вызывают свечение $\text{ZnS}(\text{Ag})$ в видимом диапазоне волн. Схема регистрации тепловых нейтронов в сцинтилляторе $\text{ZnS}(\text{Ag})$ с добавкой LiF показана на рисунке 2.3

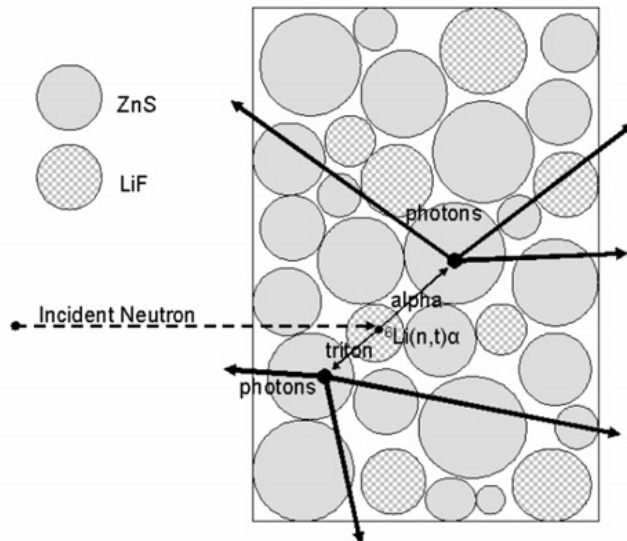


Рисунок 2.3 — Регистрация тепловых нейтронов на сцинтилляторе $\text{ZnS}(\text{Ag})$ с добавкой LiF

2 ПОДГОТОВКА ДАННЫХ К ОБРАБОТКЕ

Первичные данные дают множество разрозненных файлов для 1-го и 2-го кластера, которые необходимо подготовить для физической обработки. Отсеять данные нестабильно работающих детекторов, если такие имеются. Отсеять данные при перебоих работы установки. Уметь определять события, зарегистрированные одновременно обоими кластерами. Для выполнения данных задач были приняты следующие решения:

- для определения нестабильно работающих детекторов и перебоев работы установки использовать программное обеспечение, созданное мною в предыдущих семестрах для контроля работы установки
- спроектировать базу данных ПРИЗМА-32 с первичным ключом времени регистрации события, в которую автоматически заносились бы следующие данные
 - данные основных файлов ПРИЗМА-32;
 - данные о числе нейтронов, зарегистрированных в течение 20 мс после прихода ливня и об их временном распределении с шагом 100 мкс, т.е. данные t-файлов установки ПРИЗМА-32;
 - данные о событиях, зарегистрированных одновременно обоими кластерами;
 - данные работы программного обеспечения для контроля работы установки, то есть данные об информации, которую можно считать достоверной;

База данных может работать на сервере автономно, а дополнительное программное обеспечение автоматически заполнять ее. Пользователям нужно будет лишь скачать уже подготовленные данные для физической обработки. В настоящее время схема подготовки данных к обработке выглядит, так как показано на рис. 3.2

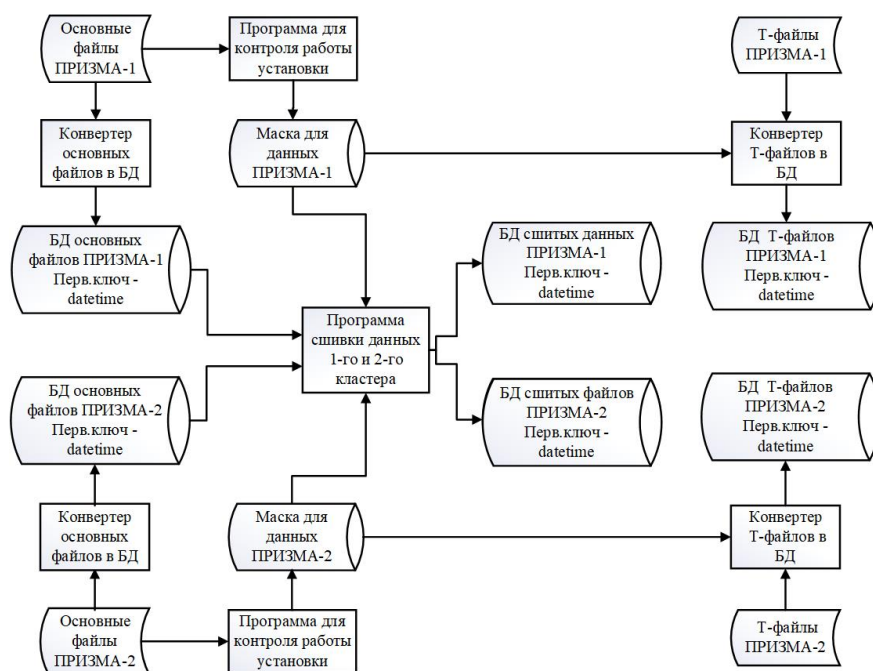


Рисунок 3.2 — Схемы подготовки данных к обработке

В дальнейшем планируется добавить в базу данных информацию из EAS-файлов и из файлов 7-го динода и сделать программу контроля установки периодической и сделать программу контроля установки периодическим процессом на сервере с помощью celery task queue. Схема обработки к концу года будет выглядеть, как на рис. 3.3

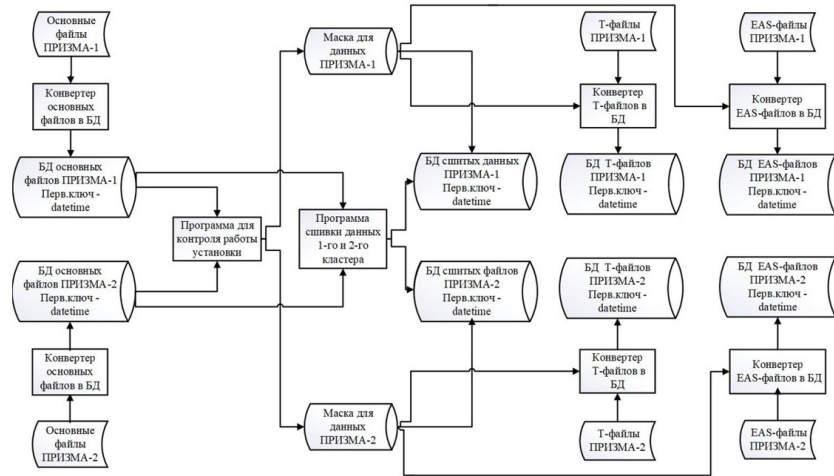


Рисунок 3.3 — Схемы подготовки данных к обработке к концу года

2.1 ПО ДЛЯ КОНТРОЛЯ РАБОТЫ УСТАНОВКИ

Для определения полезной информации нужно проводить вторичную обработку полученных первичных данных. Она происходит следующим образом, в графическом интерфейсе программы для контроля работы установки пользователь выбирает определенный временной диапазон, за который производится сбор первичной информации из файлов примеры, которых были представлены на рисунках 3.1. Полученная информация, преобразуются в специальный тип данных библиотеки pandas [4] - Датафрейм. Данные, представленные в виде Датафрейма гораздо легче обрабатывать и визуализировать, для них доступен весь спектр функций различных библиотек python, специализирующихся на этих задачах (pandas, numpy, scipy, matplotlib [5]). В итоге, первичная информация фильтруется и систематизируется под нужные таблицы и графики. Перечислю графики и таблицы, составляющие справку о работе установки, подробнее о них можно узнать в отчете предыдущего семестра.

Графики, используемые в работе:

- Продолжительность работы кластера
- Скорость счета событий с характеристиками электромагнитной компоненты $Fr \geq 4$, $A_3 \geq 5$.
- Среднее число событий, отобранных как нейтрон, при самозапуске кластера
- Скорость счета событий с характеристиками электромагнитной компоненты $Fr \geq 2$, $A_3 > 5$
- Амплитудное распределение сигналов от событий с характеристиками электромагнитной компоненты $Fr \geq 2$ и $A_3 > 5$

Выше и далее, Fg - кратность срабатывания детекторов, A - амплитуда события в кодах АЦП.

A_s измеряется в кодах АЦП.

Таблицы используемые в работе:

- Сводные таблицы:
 - Сводная таблица времени работы установки с данными о реальном времени работы в часах и его отношении к календарному времени работы.
 - Сводная таблица неисправностей установки ПРИЗМА-32 с данными о времени простоя, количестве поломок с их причинами и описанием.
 - Сводная таблица темпов счета событий и сигналов, отображенных как нейтрон кластеров установки ПРИЗМА-32
- Статистические таблицы к графикам
 - Значения среднего числа и стандартного отклонения нейтронов (Nn) для детекторов установки ПРИЗМА-32 за месяц работы, нормированное на количество событий (Ns). (при самозапуске)
 - Значения среднего числа и стандартного отклонения срабатываний детекторов установки ПРИЗМА-32

Результаты вторичной обработки с помощью библиотеки `python-docx`[6] формируются в `docx`-файл фиксированного вида. В итоге, пользователь получает полную информация о работе установки за определенный период и может определить период нестабильной работы каждого детектора в 2-х кластерах ПРИЗМА-32.

3 БАЗА ДАННЫХ

В качестве объектно-реляционной системы управления базами данных был выбран `postgreSQL`. Таблицы создавались и заполнялись при помощи `python` и его библиотеки `SQLAlchemy`. В качестве программы для работы с `postgreSQL` серверами используется `pgAdmin 4`.

Для заполнения каждой базы данных (далее БД) создавался конвертер для преобразования внешних данных из файлов в вид, подходящий для заполнения в ячейку БД.

3.1 СТРУКТУРА БАЗЫ ДАННЫХ

Структура БД представлена на 3.4. В каждой БД первичным ключом является время события, а связь между БД осуществлена отношением один-к-одному.

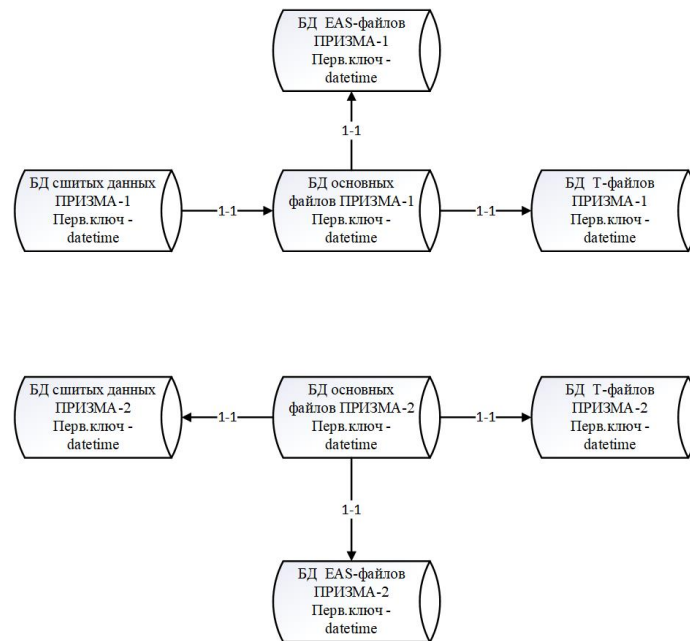


Рисунок 3.4 — Упрощенная структура базы данных

3.2 ОБЪЕДИНЕНИЕ СОБЫТИЙ, ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ ОДНОВРЕМЕННО ОБОИМИ КЛАСТЕРАМИ

Для таблицы событий, зарегистрированных одновременно обоими кластерами был задан критерий отбора. Учитывались события, не внесенные в маску, с $Fr \geq 4$ и $A_3 > 5$. Также необходимо было определить временные ворота (Δt) для совмещения данных двух кластеров. Исходя из обработанных данных за 2020-2021 год, Δt был принят равным 0.1 с.

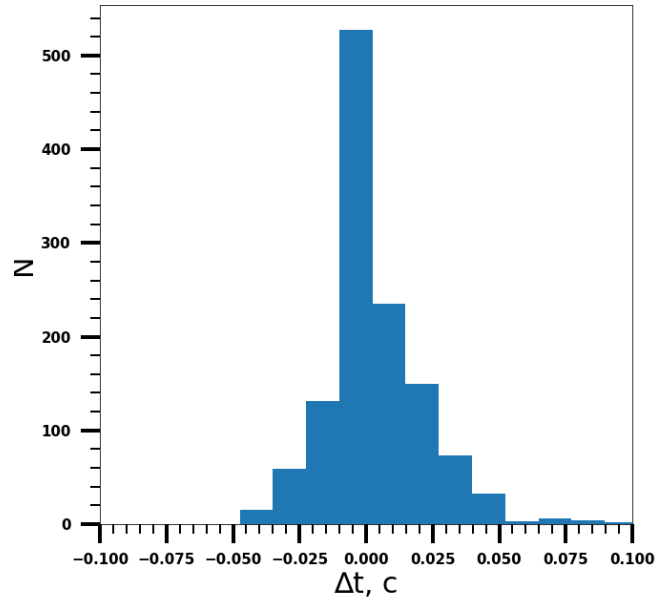


Рисунок 3.5 — Разницы времени регистрации события двумя кластерами

Для проверки правильности выбора Δt был построен для каждого общего события с $Fr \geq 1$ и $A_3 > 100$ график показаний детекторов при регистрации события одновременно в двух кластерах, представленный на рис. 3.6. По данному графику можно оценить целостность регистрации фронта ШАЛа двумя кластерами.

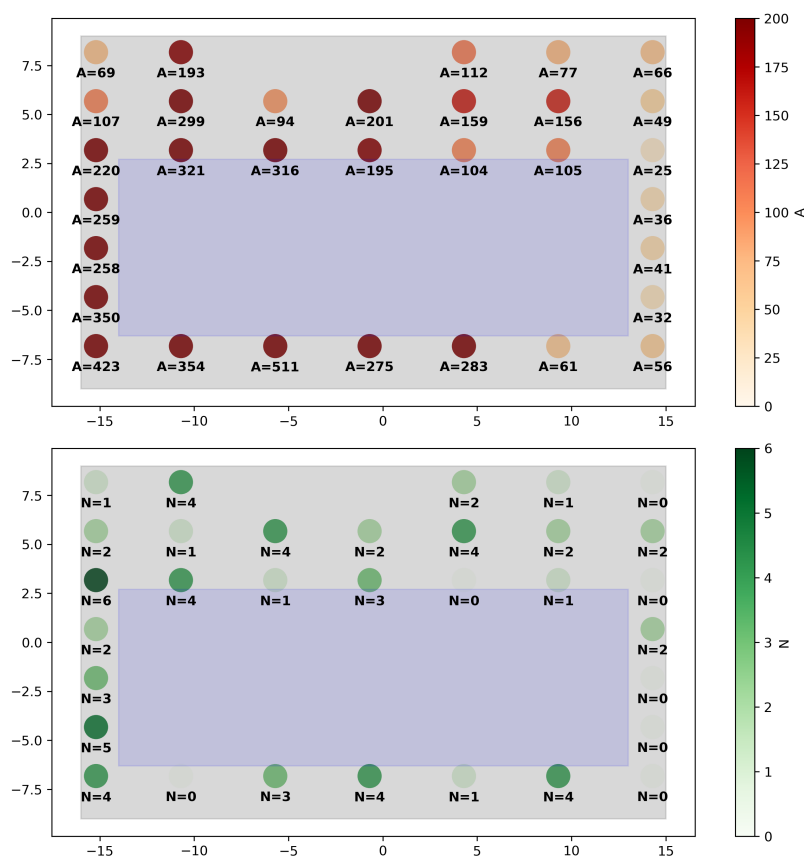


Рисунок 3.6 — Показание детекторов при регистрации события одновременно в двух кластерах: заряженные частицы (сверху) и нейтроны (снизу)

После просмотра данных графиков за первые 6 месяцев 2020 г. никаких отклонений в фронте ШАЛ не обнаружено.

3.3 КОРРЕКТНОСТЬ РАБОТЫ ДЕТЕКТОРОВ В УСТАНОВКЕ

Для удобства отбора событий была создана таблица с данными о корректности работы детектора. Таблица представляет собой бинарную оценку возможности брать данные детектора по нейтронам или по амплитудам для физической обработки.

Для оценки данной возможности используются результаты ПО для контроля работы установки:

- Число событий, отобранных как нейтрон, при самозапуске кластера.
- Скорость счета событий с характеристиками электромагнитной компоненты $Fr \geq 2$, $A_3 > 5$.

Нельзя с детектора брать данные по нейтронам, если у него число событий, отобранных как нейтрон, при самозапуске кластера больше 0.1 шумового импульса на событие.

Нельзя с детектора брать данные по амплитудам, если отклонение скорости счета событий у него превышает среднее арифметическое по всем детекторам кластера в 1.5 раза.

Часть таблицы с данными о корректности работы детектора представлена на 3.7

```
select * from mask_1_params;
```

| n2_mask integer | amp3_mask integer | n3_mask integer | amp4_mask integer | n4_mask integer | amp5_mask integer | n5_mask integer | amp6_mask integer | n6_mask integer |
|--------------------|----------------------|--------------------|----------------------|--------------------|----------------------|--------------------|----------------------|--------------------|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |

Рисунок 3.7 — Часть таблицы с данными о корректности работы детектора

4 НАСТРОЙКА ДЕТЕКТОРОВ

В ходе данной работы и работы предыдущих семестров с помощью программы контроля установки были выявлены проблемные детекторы в 1-м и 2-м кластере. Детекторы считались проблемными если:

- Число событий, отобранных как нейтрон, при самозапуске кластера у них было занижено, об этом же свидетельствовал высокий темновой ток у ФЭУ
- Число событий, отобранных как нейтрон, при самозапуске кластера у них было завышено, что связано с плохими контактами или неисправностью ФЭУ
- Скорость счета событий с характеристиками электромагнитной компоненты $Fr \geq 2$, $A_3 > 5$ занижена, что свидетельствовало о недостаточном напряжении в делителе ФЭУ. Также об этом же свидетельствовал высокий темновой ток у ФЭУ
- Скорость счета событий с характеристиками электромагнитной компоненты $Fr \geq 2$, $A_3 > 5$ завышена, что свидетельствовало о чрезмерном напряжении в делителе ФЭУ

После обнаружения проблем у детекторов на них производились ремонтные работы, которые хорошо отслеживаются на графиках справки о работе установки. Далее будут приведены графики с описанием работ, которые производились.

Временные периоды на графиках выбран так, чтобы изменения были лучше всего видны. Последние справки показывают, что после внесенных изменений у исправленных детекторов характеристики никак не изменились.

Для проведения ремонтных работ было протестировано 35 ФЭУ, были подготовлены и заменены 9 сборок с ФЭУ. Остальные были отброшены либо из-за большого темнового тока, либо из-за неподходящего напряжения.

Далее детекторы 1-го кластера - Р1, детекторы 2-го кластера - Р2. Приведенные далее графики отображают ситуацию на последний день. Графики с ситуацией прошлого года находятся в отчете прошлого года.

4.1 ТЕМНОВОЙ ТОК ФЭУ С ДЕТЕКТОРОВ

Также была доступна информация на каких детекторах у ФЭУ повышенный темновой ток. Кроме того, после ремонта большинства детекторов темновой ток был измерен заново у всех ФЭУ, что можно оценить на рис. 3.8

| № дет. | Значение темнового тока (дата измерения), мкА | | | |
|--------|---|-------------|-------------|-------------|
| | 1-й кластер | | 2-й кластер | |
| | 28.01. 2021 | 13.07. 2021 | 28.01. 2021 | 13.07. 2021 |
| 1 | 0.029 | 0.085 | 12.456 | 0.290 |
| 2 | 17.641 | 0.003 | 33.282 | 0.105 |
| 3 | 0.001 | 0.001 | 0.011 | 0.011 |
| 4 | 0.078 | 0.058 | 0.175 | 0.220 |
| 5 | 0.104 | 0.071 | 4.491 | 5.725 |
| 6 | 0.071 | 0.074 | 0.028 | 0.028 |
| 7 | 0.006 | 0.003 | 0.075 | 0.087 |
| 8 | 0.402 | 0.425 | 23.944 | 0.009 |
| 9 | 0.155 | 0.193 | 0.084 | 0.101 |
| 10 | 0.004 | 0.005 | 0.656 | 0.719 |
| 11 | 0.004 | 0.004 | 0.142 | 0.166 |
| 12 | 12.528 | 0.136 | 0.058 | 0.058 |
| 13 | 1.145 | 0.998 | 0.058 | 0.001 |
| 14 | 0.016 | 0.022 | 16.681 | 0.003 |
| 15 | 0.026 | 0.023 | 0.451 | 0.524 |
| 16 | 0.002 | 0.001 | 3.129 | 4.496 |

Рисунок 3.8 — Изменения в темновом токе у каждого ФЭУ

4.2 НАСТРОЙКА ДЕТЕКТОРОВ ПЕРВОГО КЛАСТЕРА

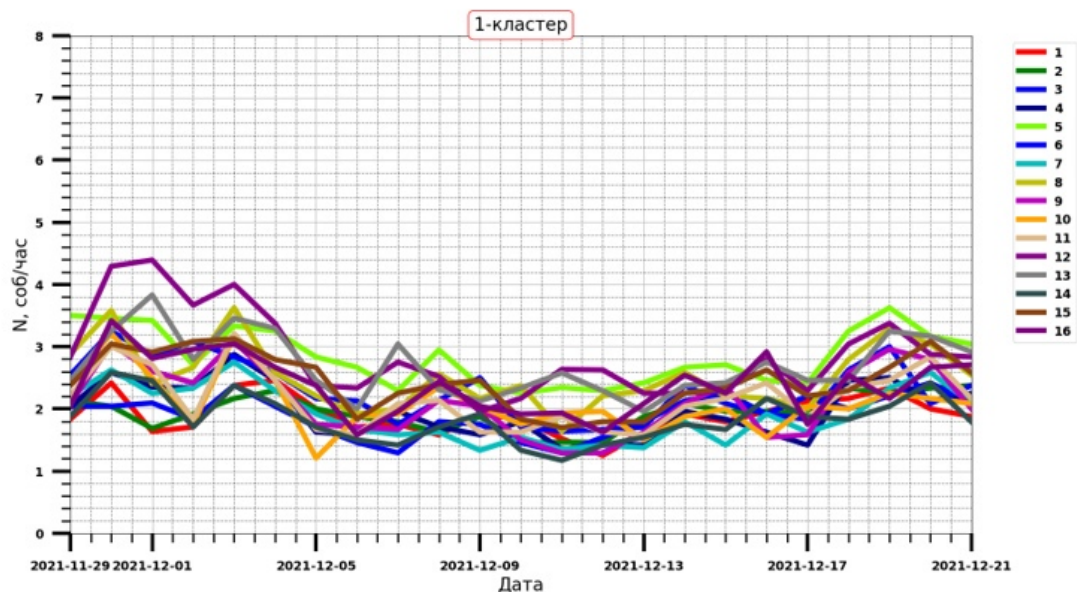


Рисунок 3.9 — Скорость счета детекторов в 1-м кластере с $Fr \geq 2$, $A_3 > 5$ за 29.11.21-21.12.21

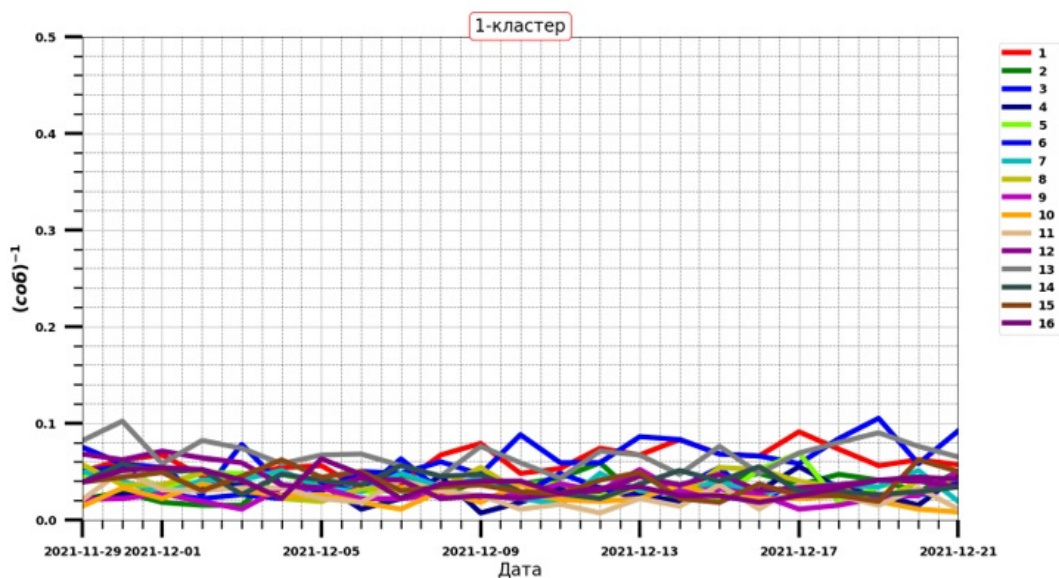


Рисунок 3.10 — Число событий, отобранных как нейтрон, при самозапуске 1-го кластера за 29.11.21-21.12.21

Список проведенных работ:

- У всех детекторов с большим темновым током (P1-12, P1-02) заменены ФЭУ.
- P1-01 устранены шумы, для этого был заменен ФЭУ, у него в ходе тестировки для стенде был зафиксирован повышенный темновой ток. Так же у P1-01 были подпаяны неисправные контакты. Засчет этого у P1-01 были убраны шумы.

- На P1-05, P1-15, P1-12, P1-13 уменьшено напряжение питания делителя ФЭУ.
- На P1-09 была заменена сборка
- На P1-01, P1-02, P1-03 увеличено напряжение питания делителя ФЭУ, так же на P1-03 убран понижающий напряжение резистор.

За счет ремонтных работ никаких шумов и отклонений нет было выявлено на графиках, начиная с 10.12.2021.

Лучше всего виден результат проведенных работ на графиках амплитудного распределения сигналов. Видно в настоящий момент все детекторы находятся в одном пучке.

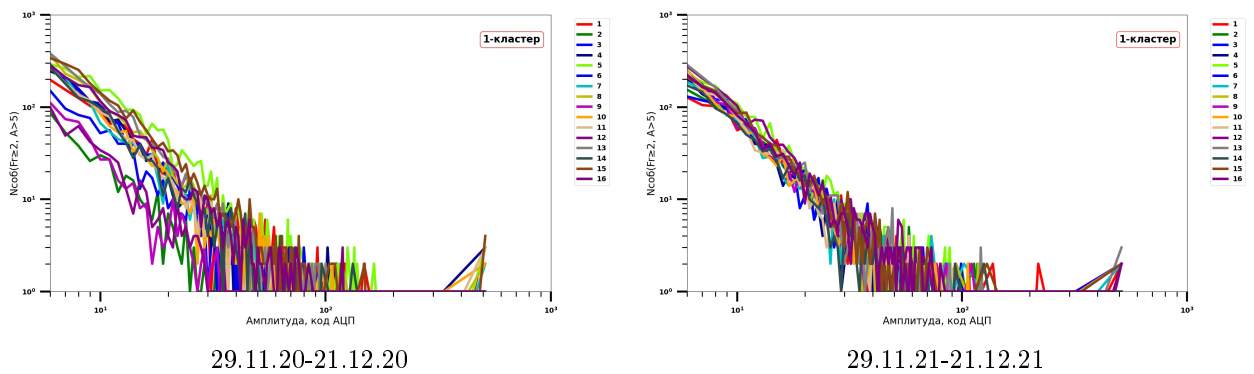


Рисунок 3.11 — Амплитудное распределение сигналов от событий с характеристиками электромагнитной компоненты $Fr \geq 2$ и $A_s > 5$, 1-й кластер

4.3 НАСТРОЙКА ДЕТЕКТОРОВ ВТОРОГО КЛАСТЕРА

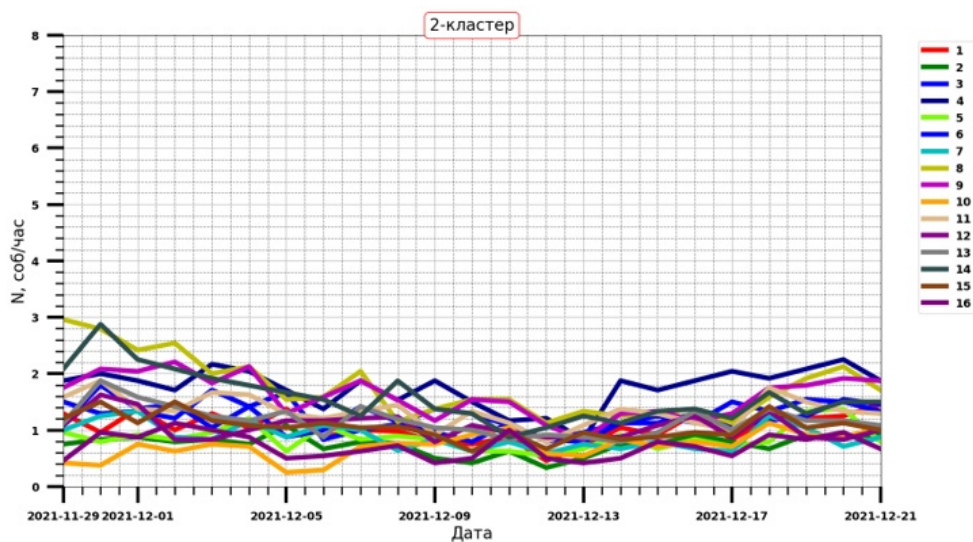


Рисунок 3.12 — Скорость счета детекторов в 2-м кластере с $Fr \geq 2$, $A_s > 5$ за 29.11.21-21.12.21

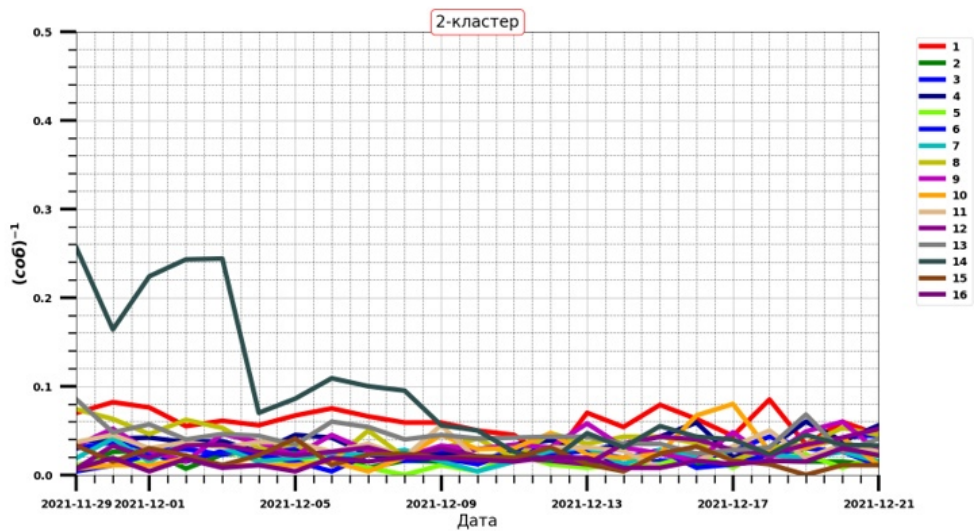


Рисунок 3.13 — Число событий, отобранных как нейтрон, при самозапуске 2-го кластера за 29.11.21-21.12.21

Список проведенных работ:

- У всех детекторов с большим темновым током (P2-01, P2-08, P2-14, P2-02) заменены ФЭУ.
- На P2-10 увеличено напряжение питания делителя ФЭУ, так же на P2-10 убран понижающий напряжение резистор.
- На P2-14, P2-08 уменьшено напряжение питания делителя ФЭУ. За счет чего убраны шумы P2-14

На амплитудном распределении видно, что в настоящий момент все детектора находятся в одном пучке.

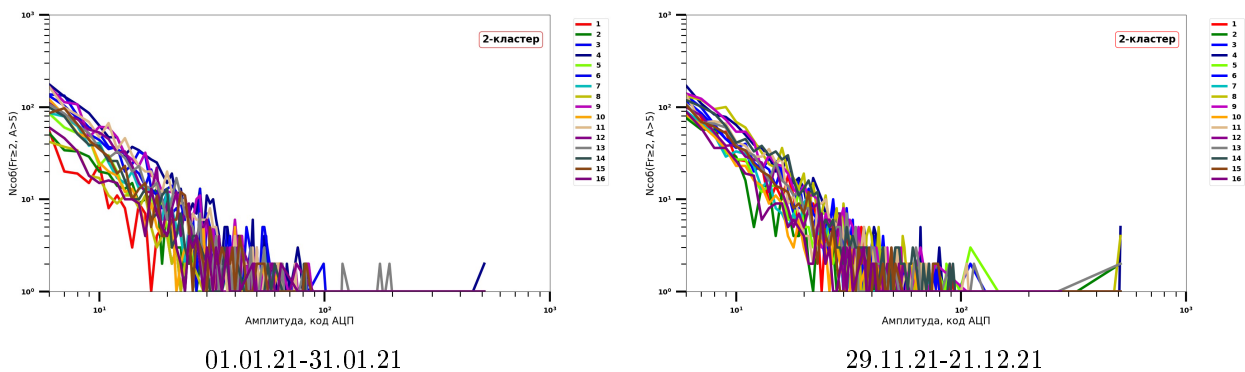


Рисунок 3.14 — Амплитудное распределение сигналов от событий с характеристиками электромагнитной компоненты $Fr \geq 2$ и $A_s > 5$, 2-й кластер

4 ВРЕМЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НЕЙТРОНОВ И СПЕКТР ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЙ ШАЛ

1 ВРЕМЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НЕЙТРОНОВ

По подготовленным данным были построены графики временного распределения нейтронов для каждого детектора и для каждого кластера за 2020-2021гг. На оси абсцисс находится время запаздывания тепловых нейтронов в секундах. На оси ординат находится нормированное на общее количество нейтронов количество совпадений тепловых нейтронов с равным параметром времени запаздывания.

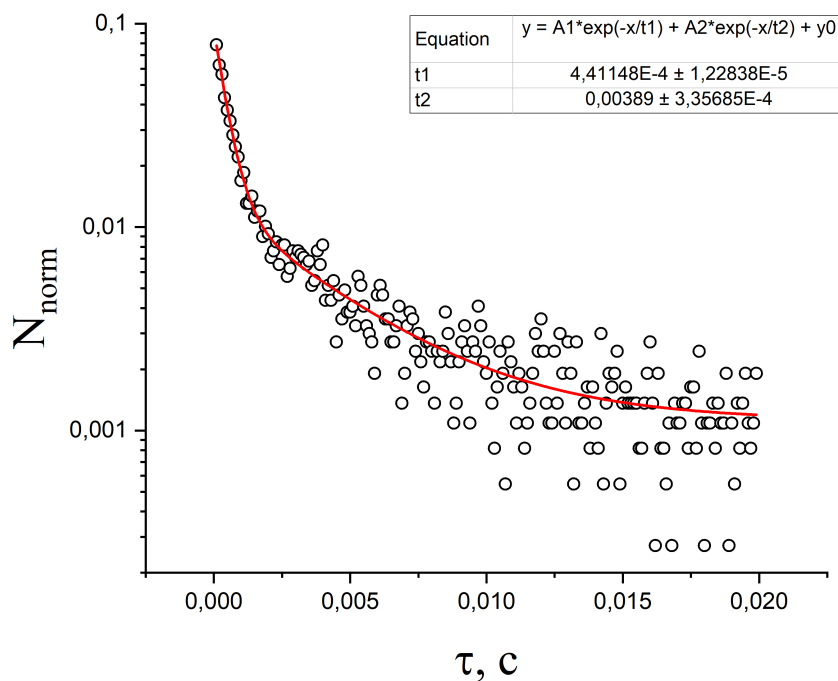


Рисунок 4.1 — Временное распределение нейтронов на 16-м детекторе 1-го кластера

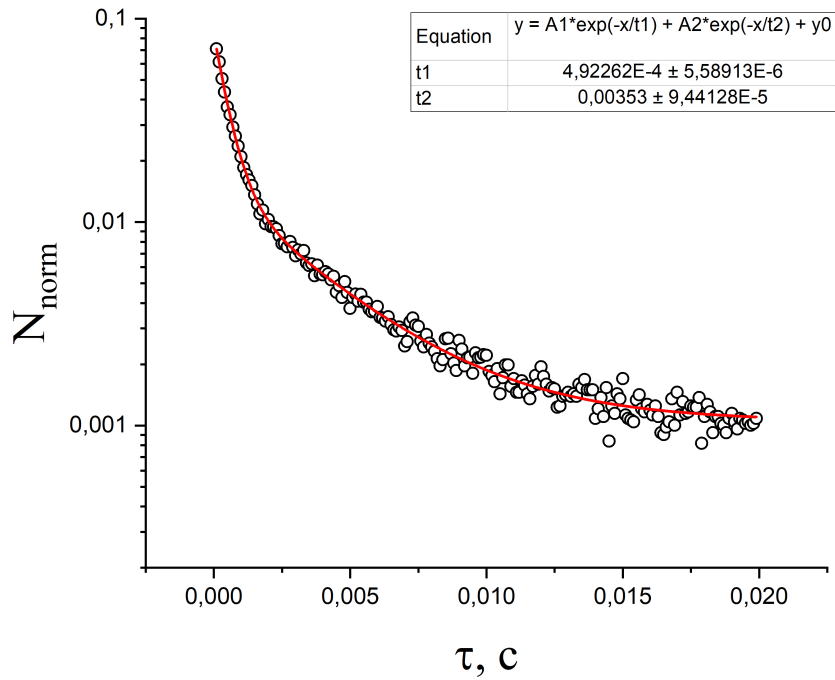


Рисунок 4.2 — Временное распределение нейтронов на 1-м кластере

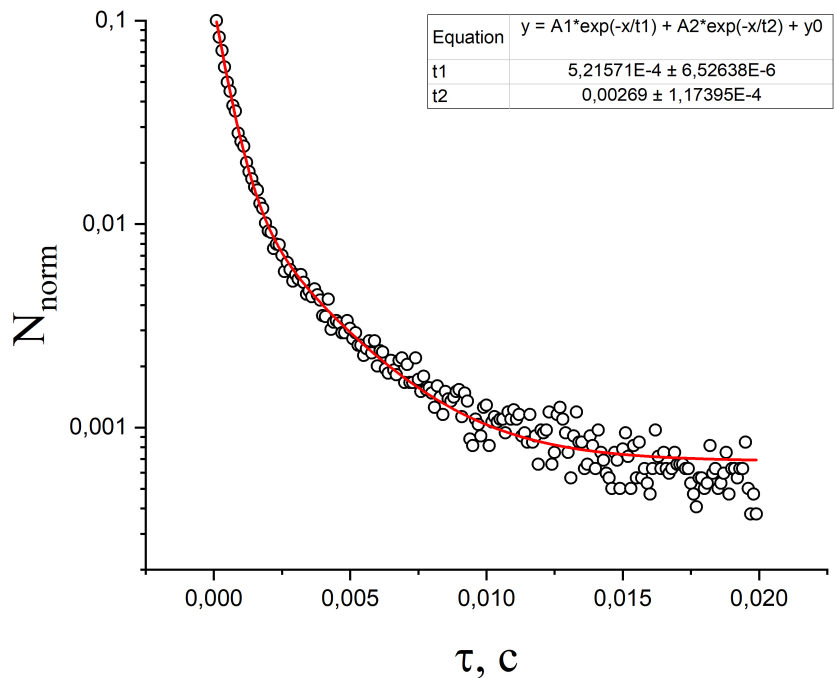


Рисунок 4.3 — Временное распределение нейтронов на 2-м кластере

Полученные распределения можно фитировать формулой:

$$y(t) = A_1 \cdot e^{-t/t_1} + A_2 \cdot e^{-t/t_2} + y_0 \quad (4.1)$$

приведенной в статье [1].

Параметры для 1-го и 2-го кластера отличаются.

Для 1-го $t_1 = 0.49 \pm 0.01$ мс и $t_2 = 3.53 \pm 0.10$ мс.

Для 2-го $t_1 = 0.52 \pm 0.01$ мс и $t_2 = 2.69 \pm 0.12$ мс.

Результаты временного распределения тепловых нейтронов в ШАЛ, полученные за 2020-2021гг., согласуются с результатами, полученными в начале работы установки.

2 СПЕКТР ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЯ ШАЛ

Были построены графики спектра энерговыделения ШАЛ и для каждого кластера за 2020-2021гг. Спектр строился для событий, зарегистрированных одновременно двумя кластерами, то есть для событий с $Fr \geq 4$ и $A_3 > 5$.

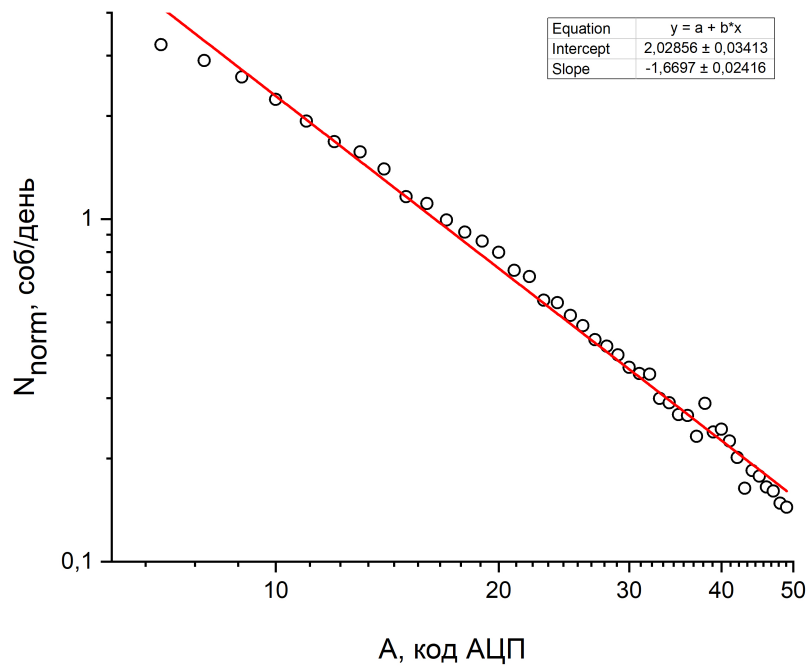


Рисунок 4.4 — Спектр энерговыделения ШАЛ на 1-м кластере

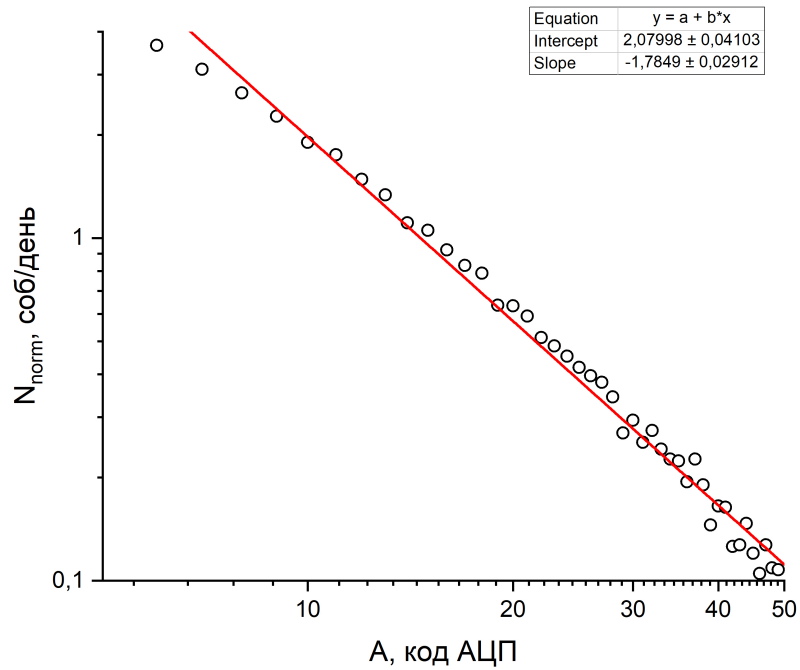


Рисунок 4.5 — Спектр энерговыделения ШАЛ на 2-м кластере

Показатель наклона спектра энерговыделений по заряженной компоненте составляет около -1.7. Данное значение немного больше, чем наклоны спектров, полученных на других установках (-1.5÷-1.6). Небольшое завышение можно объяснить тем, что при обработке не использовались данные 7-го диода, то есть при больших энерговыделениях присутствует недомер, что делает спектр более крутым.

5 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщая работу этого семестра и предыдущих, можно сделать следующие выводы:

- Проанализирована работа установки ПРИЗМА-32 за 2020-2021 гг.
- Освоена работа с большим массивом данных первичной информации.
- Создано программное обеспечение, управляемое графическим интерфейсом, позволяющее обрабатывать данные установки ПРИЗМА-32 и автоматически создавать её паспорт за любой выбранный срок работы. Кроме этого, созданная программа способна обрабатывать данные с 7-го динода установки ПРИЗМА-32 и выводить, полученные коэффициенты пересчета с 12-го динода на 7-й в txt-файл.
- Спроектирована база данных ПРИЗМА-32 способная работать на сервере автономно. Кроме этого, создан автоматический цикл подготовки данных к физической обработке.
- Произведен анализ полученных паспортов, выявлены проблемные детекторы установки.
- Все проблемные детекторы были починены. Были обновлены данные по темновому току у ФЭУ каждого детектора.
- Произведена физическая обработка данных за 2020-2021 гг., построены графики временного распределения нейтронов и графики спектра энерговыделения. Измеренные спектры энерговыделений и временные распределения хорошо согласуются с результатами других работ. Этот результат подтверждает правильность использованной данной методики регистрации ШАЛ, в том числе и для изучения электромагнитной компоненты ШАЛ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Д.М.Громушкин. УСТАНОВКА ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ НЕЙТРОННОЙ КОМПОНЕНТЫ ШАЛ. Кандидатская диссертация, НИЯУ МИФИ / Д.М.Громушкин. — НИЯУ МИФИ, 2014.*
2. *Чубенко А. П. Щепетов А. Л. П. В. В. и др. Спектр кратностей Тянь-Шаньского нейтронного супермонитора НМ64 и его связь с энергетическим спектром адронной компоненты на горах / Щепетов А. Л. Чубенко А. П. Пискаль В. В. и др. — Изв. РАН Сер.физ. — 1997. —Т. 61. — № 3. — С. 488–492.*
3. *Yu.V. Stenkin J. V.-G. e. a. Study of "neutron bursts" with Mexico City neutron monitor. / Yu.V. Stenkin J.F. Valdes-Galicia et al. — Astroparticle Phys. 2001. V.16(2). P. 157-168.*
4. *Мануал по библиотеке pandas. — 2021. — Дата обращения 26.12.2021. <https://pandas.pydata.org>*
5. *Мануал по библиотеке matplotlib. — 2021. — Дата обращения 26.12.2021. <https://matplotlib.org>*
6. *Основные компоненты библиотеки docx. — 2021. — Дата обращения 26.12.2021. <https://python-docx.readthedocs.io/en/latest/index.html>.*
7. *Д.Д.Джаппуев - Изв. АН СССР. Сер. физ. 1985. Т. 49. № 7. С. 1359.*