

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  
**ИССЛЕДОВАНИЕ ОТКЛИКА УСТАНОВКИ ПРИЗМА-32 ПРИ  
РЕГИСТРАЦИИ ШИРОКИХ АТМОСФЕРНЫХ ЛИВНЕЙ**

Руководитель НИР,  
к.ф.-м.н.  
НОЦ НЕВОД

\_\_\_\_\_ Д. М. Громушкин

Студент

\_\_\_\_\_ А. Д. Почестнев

Москва 2022

# СОДЕРЖАНИЕ

<b>1 Введение</b>	<b>2</b>
<b>2 Описание установки ПРИЗМА-32</b>	<b>4</b>
1 Введение . . . . .	4
2 Эн-детектор . . . . .	4
3 Система регистрации . . . . .	6
4 Методика регистрации электронной и нейтронной компонент шал . . . . .	7
5 Программное обеспечение . . . . .	8
<b>3 Настройка детекторов</b>	<b>9</b>
1 Контроль работы установки ПРИЗМА-32 . . . . .	9
2 Параметры настройки . . . . .	12
3 Темновой ток ФЭУ с детекторов . . . . .	13
4 Настройка детекторов первого кластера . . . . .	14
5 Настройка детекторов второго кластера . . . . .	16
<b>4 Работа с данными</b>	<b>18</b>
1 Подготовка данных к обработке . . . . .	18
2 База данных . . . . .	19
2.1 Структура базы данных . . . . .	19
2.2 Объединение событий, зарегистрированных одновременно обоими кластерами . . . . .	21
2.3 Корректность работы детекторов в установке . . . . .	22
<b>5 Временное распределение нейтронов и спектр энерговыделений ШАЛ</b>	<b>27</b>
1 Временное распределение нейтронов . . . . .	27
2 Спектр энерговыделения ШАЛ . . . . .	29
<b>6 Заключение</b>	<b>31</b>
<b>Список использованных источников</b>	<b>32</b>

# 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-мишениями 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.

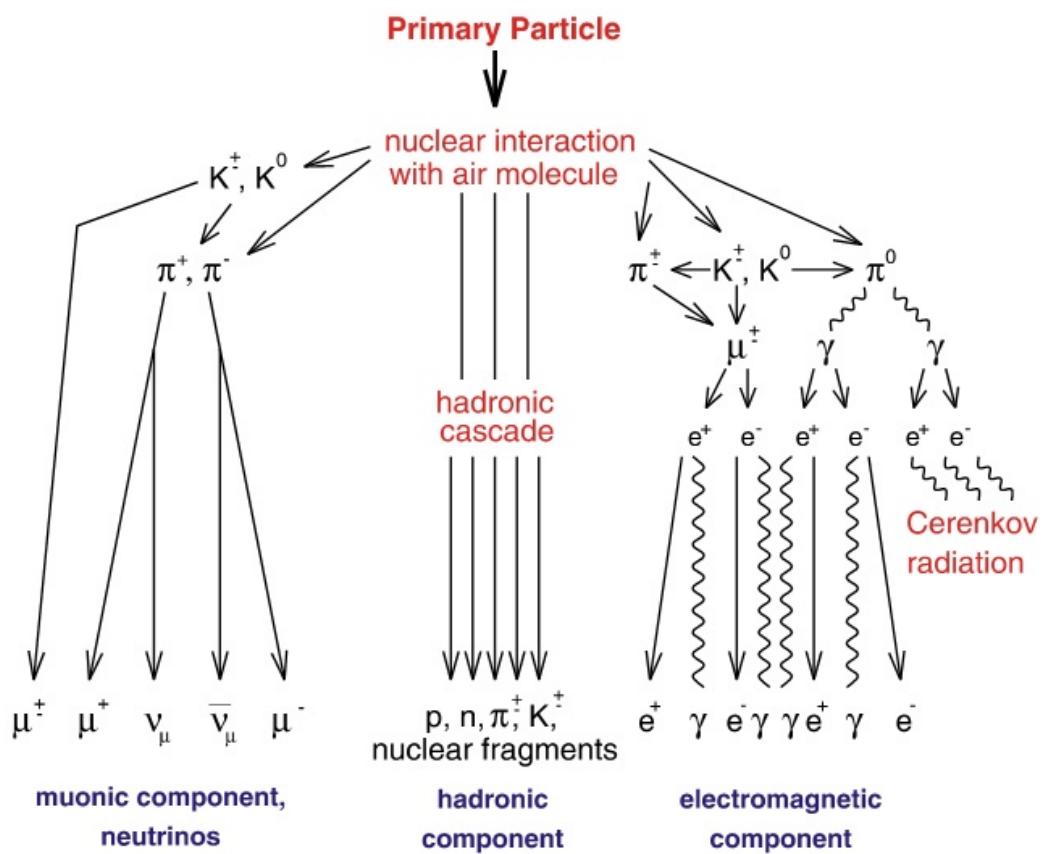


Рисунок 1.1 — Схематический график компонент ШАЛ

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-TOP, KASCADE и

KASCADE-Grande, Tibet-AS $\gamma$  и ARGO-YBJ, AGASA, Telescope Array.

Непосредственное изучение адронов ШАЛ проводилось в 1970-1980-е годы в широкомасштабных экспериментах CHACKALTAYA, 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 основные свойства ШАЛ формируются адронной компонентой. 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 раз渲ала 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 2013-2021гг.

## 2 ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ ПРИЗМА-32

### 1 ВВЕДЕНИЕ

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»  $3 \times 10^{15}$  эВ посредством анализа нейтронной компоненты ШАЛ.

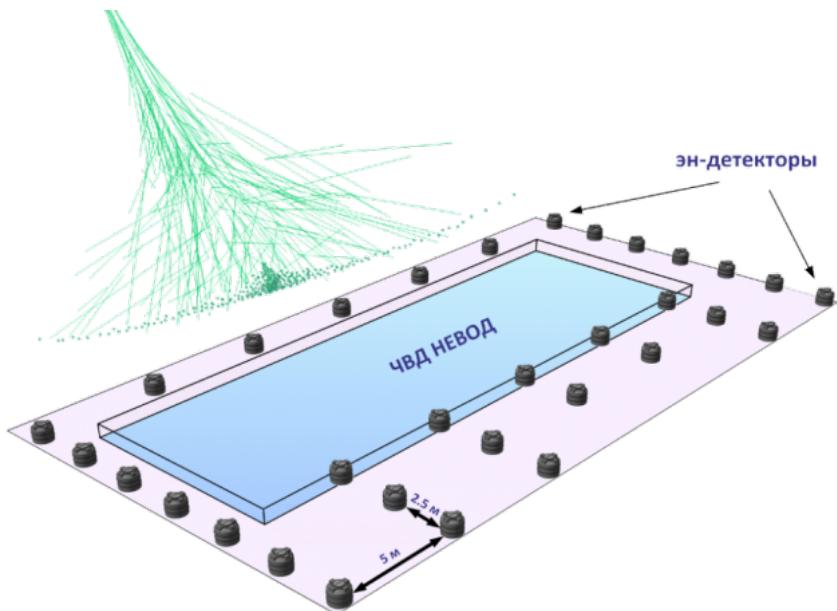


Рисунок 2.1 — Экспериментальная установка ПРИЗМА-32

### 2 ЭН-ДЕТЕКТОР

В качестве регистрирующего элемента установки используются эн-детекторы, способные зарегистрировать сразу две компоненты ливней: адронную, через тепловые нейтроны ( $n$ ), и электромагнитную, по групповому прохождению заряженных частиц, в основном электронов ( $\epsilon$ ).

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 ZnS(Ag) с добавкой  ${}^6\text{LiF}$  в виде тонкого слоя ( $\sim 30 \text{ мг}/\text{см}^2$ ). Эффективная площадь сцинтиллятора в таком детекторе составляет  $\sim 0.36 \text{ м}^2$ .

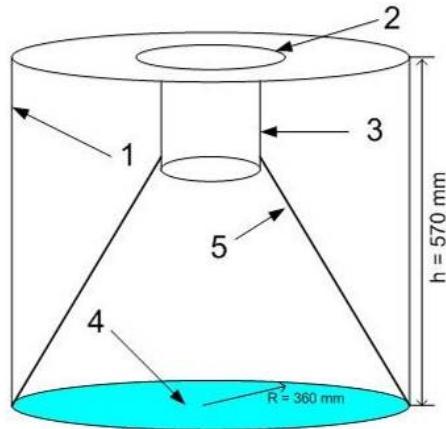
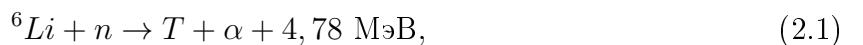


Рисунок 2.2 — Конструкция нейтронного детектора. 1 - светозащитный корпус детектора; 2 – крышка с подвеской; 3 - ФЭУ-200; 4 - сцинтиллятор ZnS(Ag)+ ${}^6\text{Li}$ ; 5 – светоотражающий конус.

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



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

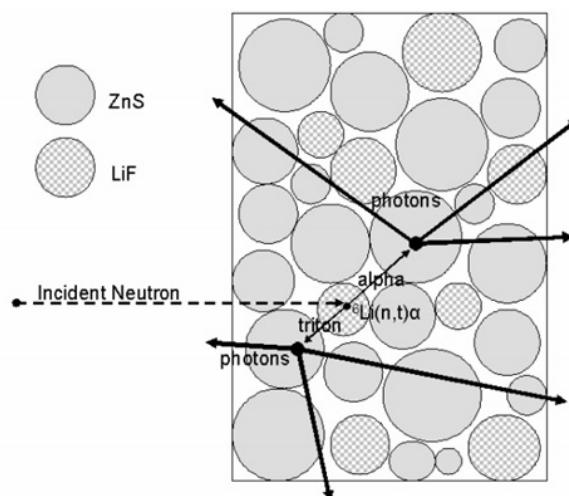


Рисунок 2.3 — Регистрация тепловых нейтронов на сцинтилляторе ZnS(Ag) с добавкой LiF

### 3 СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ

Схема подключения детекторов показана на рисунке 2.4. ФЭУ детекторов подключаются к высоковольтному источнику питания, сбор информации осуществляется с двух динодов делителя ФЭУ 12-го и 7-го, это связано с тем, что 12-й динод при регистрации мощного ШАЛ приходит в насыщение, а 7-й динод имеет коэффициент усиления в 60-80 раз меньше, что позволяет расширить диапазон энергий регистрируемых ШАЛ.

Аналоговый сигнал с 12-го динода поступает на дискриминатор-интегратор-усилитель (ДИУ), который питается от низковольтного источника. На ДИУ импульсы интегрируются с постоянным временем 1 мкс. В ДИУ также реализована возможность изменения постоянной интегрирования с помощью перемычек от 1 до 10 мкс. ДИУ при превышении порога вырабатывает триггерный импульс, который поступает на триггерный блок, который может вырабатывать сигнал запуска (TTL) для АЦП при одновременном срабатывании двух и более любых детекторов, кроме этого сигнал вырабатывается от любого детектора на каждое шестнадцатиное срабатывание триггера. Также на вход быстрого АЦП, соединенного с компьютером идет интегрированный аналоговый сигнал.

Аналоговый сигнал с 7-го динода поступает на предусилитель, у которого есть возможность изменения коэффициента усиления, а постоянная времени интегрирования такая же, как и для ДИУ. Сигнал далее идет на АЦП, который также соединен с компьютером. АЦП позволяет обрабатывать сигналы до одного вольта с шагом 1.95 мВ.

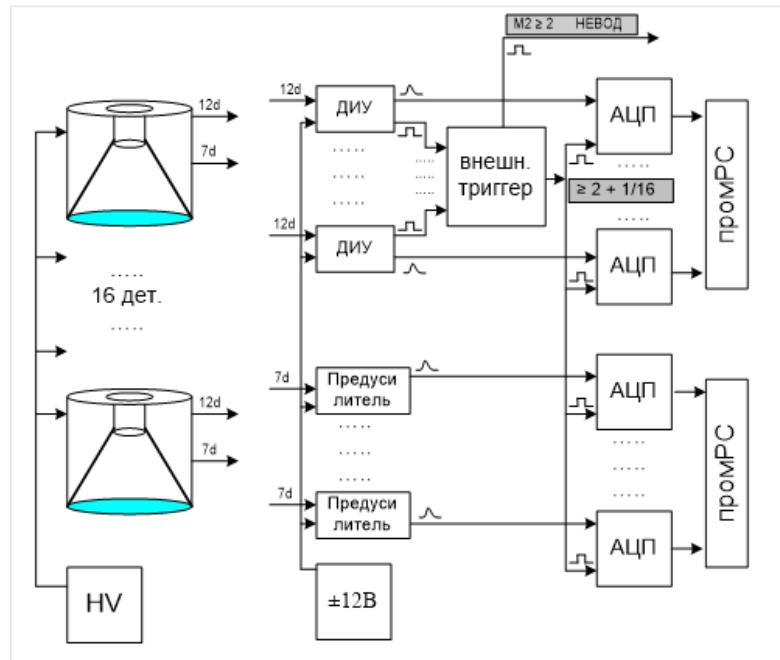


Рисунок 2.4 — Схема подключения детекторов

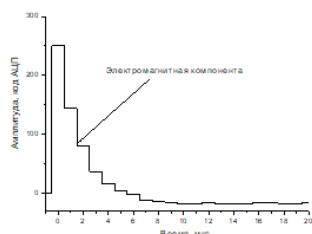
У каждого кластера есть свой пункт сбора информации. Каждый кластер работает независимо друг от друга.

Каждый пункт управления и сбора информации состоит из:

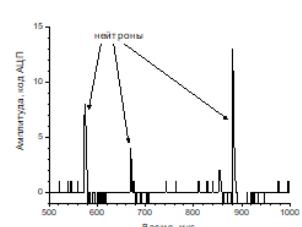
- двух промышленных компьютеров;
- 8 АЦП по четыре на каждый компьютер;
- монитора и блока переключения между компьютерами;
- источника высокого напряжения - 1800 В;
- распределительного блока для поканальной регулировки высокого напряжения;
- источника низковольтного питания  $\pm 12$  В и распределительного блока;
- триггерного блока;

## 4 МЕТОДИКА РЕГИСТРАЦИИ ЭЛЕКТРОННОЙ И НЕЙТРОННОЙ КОМПОНЕНТ ШАЛ

Установка ПРИЗМА-32 может одновременно регистрировать две основные компоненты широких атмосферных ливней адронную (нейтронную) и электромагнитную. При этом, в случае прохождения ШАЛ через детектор, детекторы сначала, в пределах 1 мкс, срабатывают от электромагнитной компоненты, показанной на рисунке 2.5а, затем в течение 20 мс осуществляют регистрацию запаздывающих тепловых нейтронов, сопровождающих ливень. Начиная с 100 мкс каждый пик от четырех кодов АЦП распознается установкой, как нейtron, что показано на рисунке 2.5б. Пример полной осциллограммы при регистрации ШАЛ (20000 мкс) представлен на рисунке 2.5. Как видно из рисунков, зарегистрированные нейтроны хорошо разделяются во времени; также можно определить энерговыделение от электромагнитной компоненты.



(а) Электромагнитная компонента



(б) Нейтроны

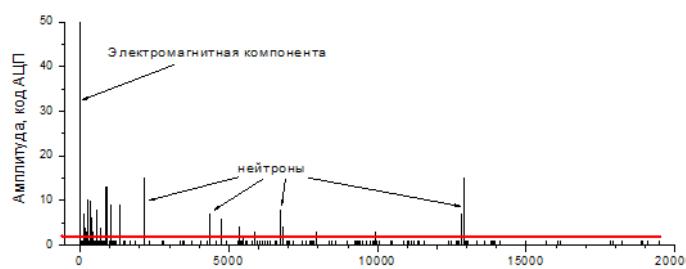


Рисунок 2.5 — Осциллограмма зарегистрированного ШАЛ

## 5 ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Для первичной обработки информации, используются специализированные онлайн программы, которые при срабатывании триггера опрашивают все каналы АЦП.

Основные задачи, выполняемые программами:

- определение амплитуд энерговыделения электромагнитной компоненты;
- определение для каждого детектора числа нейтронов, зарегистрированных в течение 20 мс после прихода ливня, и сохранение их временного распределения с шагом 100 мкс;
- присвоение значения программного триггера, основанного на слове мастеров;
- запись основных параметров работы установки (каждые 5 минут записывается информация о “мертвом времени”, темпе счета тепловых нейтронов и “заряженных частиц”, один раз в сутки производится запись распределения по числу нейтронов в событиях и спектра энерговыделений для каждого детектора);
- сохранение осциллографов мощных событий
- метка события абсолютным временем, которое дальше используется для сшивки данных разных кластеров.

Примеры записи первичных экспериментальных данных представлены на рисунке 2.6



Рисунок 2.6 — Пример записи файла с основными параметрами зарегистрированных событий.

# 3 НАСТРОЙКА ДЕТЕКТОРОВ

## 1 КОНТРОЛЬ РАБОТЫ УСТАНОВКИ ПРИЗМА-32

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 2.6. 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.

Используемые графики:

- Продолжительность работы кластера

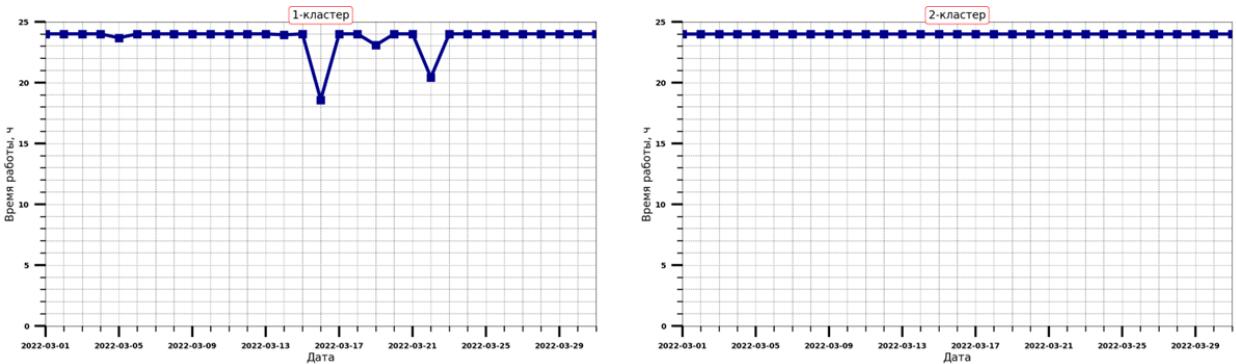


Рисунок 3.1 — Продолжительность работы кластера

- Скорость счета событий с характеристиками электромагнитной компоненты  $Fr \geq 4$ ,  $A_9 \geq 5$ . ( $Fr$  - кратность срабатывания детекторов,  $A$  - амплитуда события в кодах АЦП.)

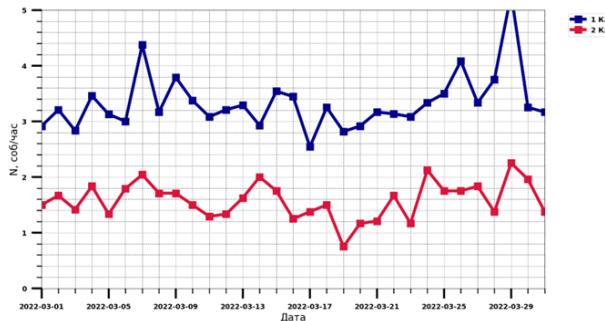


Рисунок 3.2 — Скорость счета событий  $Fr \geq 4$ ,  $A_9 \geq 5$

- Среднее число событий, отобранных как нейтрон, при самозапуске кластера

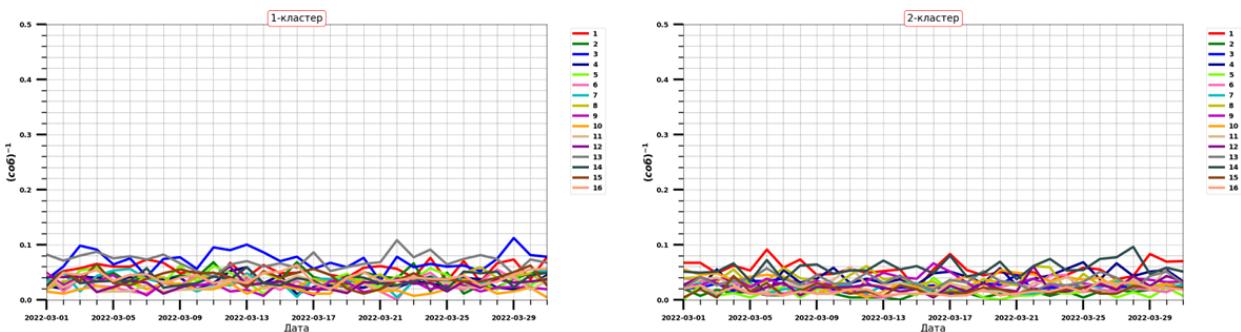


Рисунок 3.3 — Среднее число событий, отобранных как нейтрон, при самозапуске кластера

- Скорость счета событий с характеристиками электромагнитной компоненты  $Fr \geq 2$ ,  $A_9 > 5$

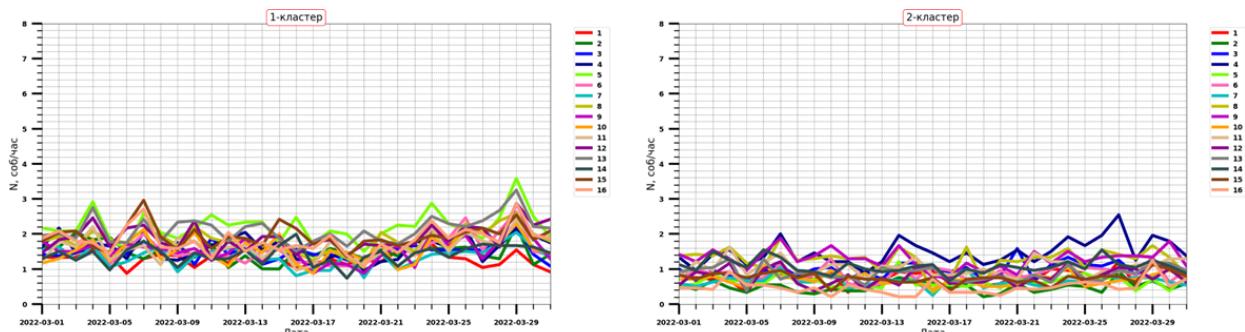


Рисунок 3.4 — Скорость счета событий  $Fr \geq 2$ ,  $A_9 \geq 5$

- Скорость счета событий с характеристиками электромагнитной компоненты  $Fr \geq 1, A_9 > 10$

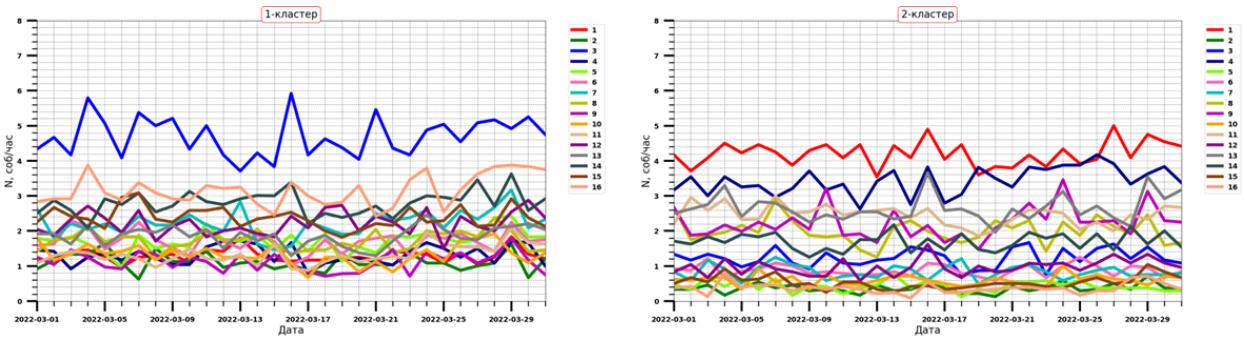


Рисунок 3.5 — Скорость счета событий  $Fr \geq 1, A_9 \geq 10$

- Амплитудное распределение сигналов от событий с характеристиками электромагнитной компоненты  $Fr \geq 2$  и  $A_9 > 5$

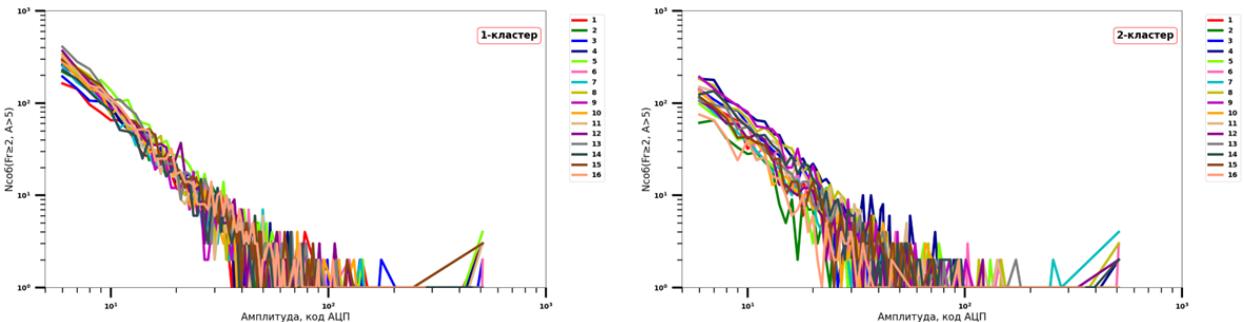


Рисунок 3.6 — Амплитудное распределение сигналов  $Fr \geq 2, A_9 \geq 5$

Используемые таблицы:

- 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 времениостоя, количестве поломок с их причинами и описанием.
  - Сводная таблица темпов счета событий и сигналов, отобранных как нейтрон кластеров установки ПРИЗМА-32
- Статистические таблицы к графикам
  - Значения среднего числа и стандартного отклонения нейтронов ( $N_n$ ) для детекторов установки ПРИЗМА-32 за месяц работы, нормированное на количество событий ( $N_s$ ). (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.

## 2 ПАРАМЕТРЫ НАСТРОЙКИ

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 превышало  $0.1 \text{ соб}^{-1}$ , что связано с плохими контактами или неисправностью ФЭУ
- Скорость счета событий с характеристиками электромагнитной компоненты  $Fr \geq 2, A_9 > 5$  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  $Fr \geq 2, A_9 > 5$  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 отбракованы либо из-за большого темнового тока, либо из-за неподходящего напряжения.

Далее детекторы 1-го кластера - Р1, детекторы 2-го кластера - Р2.

### 3 ТЕМНОВОЙ ТОК ФЭУ С ДЕТЕКТОРОВ

Также была получена 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 табл. 3.1

Таблица 3.1 – Изменения в темновом токе у каждого ФЭУ

№ 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

## 4 НАСТРОЙКА ДЕТЕКТОРОВ ПЕРВОГО КЛАСТЕРА

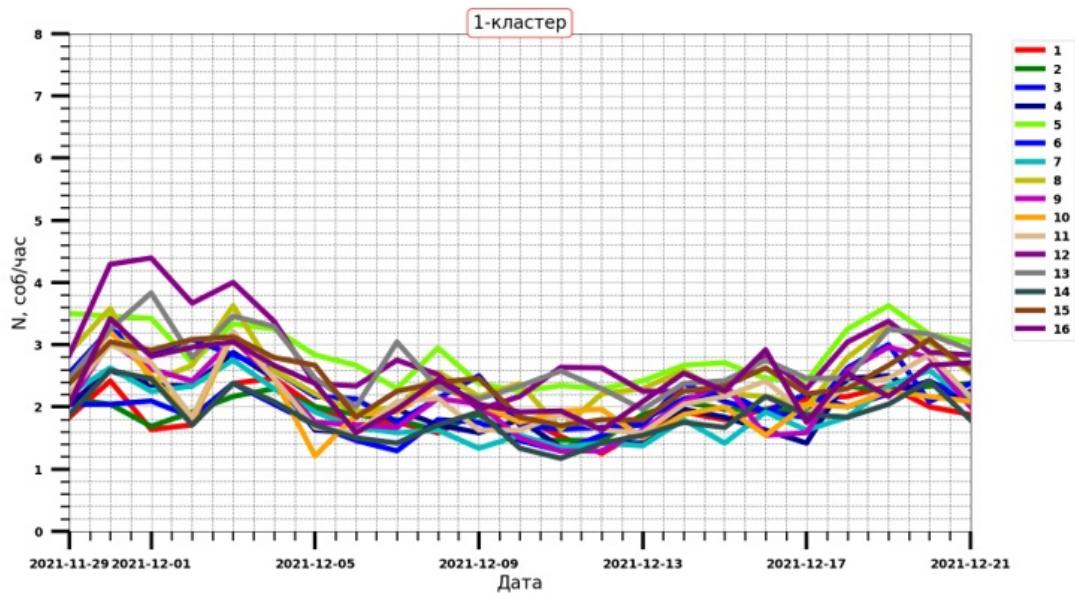


Рисунок 3.7 — Скорость счета событий с  $Fr \geq 2$ ,  $A_9 > 5$  у детекторов в 1-м кластере за 29.11.21-21.12.21

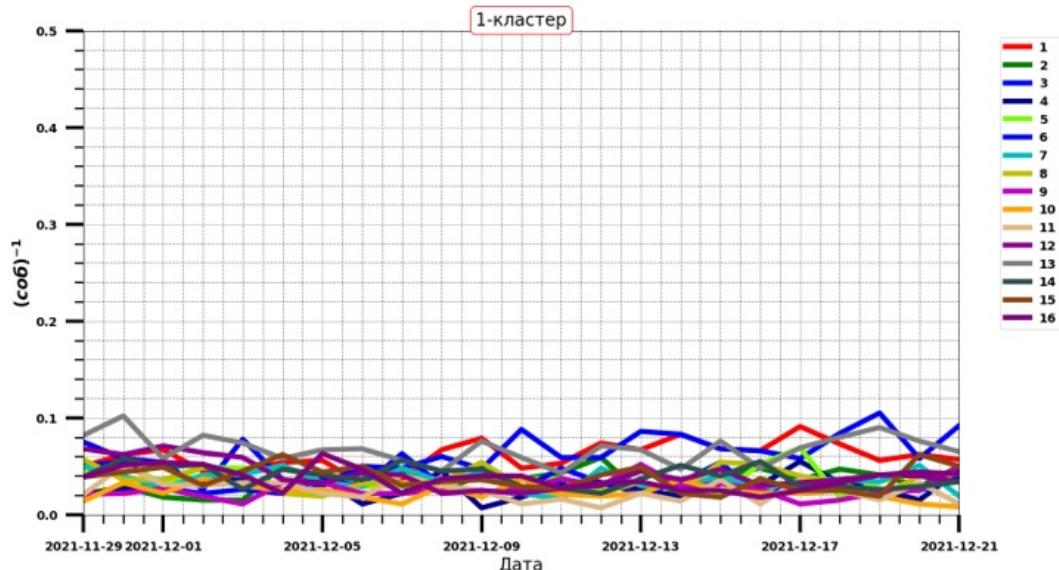


Рисунок 3.8 — Число событий, отобранных как нейтрон, при самозапуске 1-го кластера за 29.11.21-21.12.21

Список проведенных работ:

- У всех детекторов с большим темновым током (P1-12, P1-02) заменены ФЭУ.

- P1-01 устраниены 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.

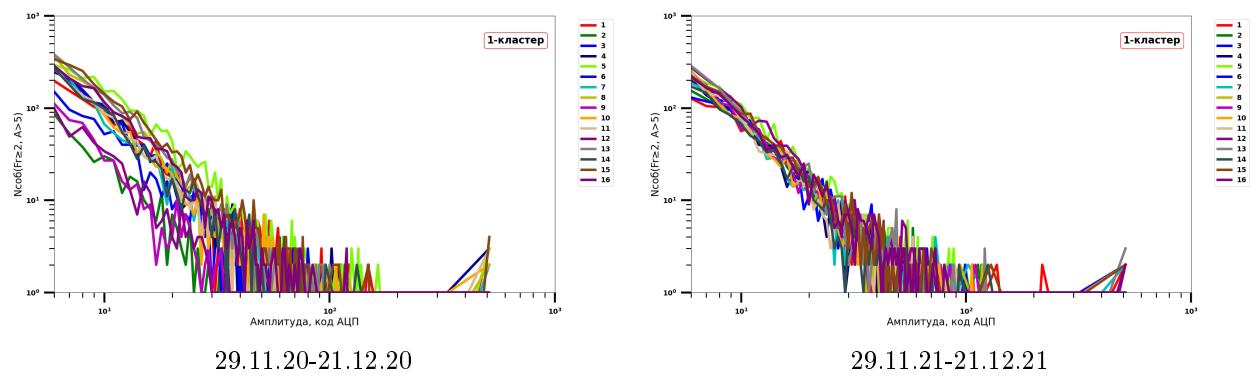


Рисунок 3.9 — Амплитудное распределение сигналов от событий с характеристиками электромагнитной компоненты  $Fr \geq 2$  и  $A_s > 5$ , 1-й кластер

## 5 НАСТРОЙКА ДЕТЕКТОРОВ ВТОРОГО КЛАСТЕРА

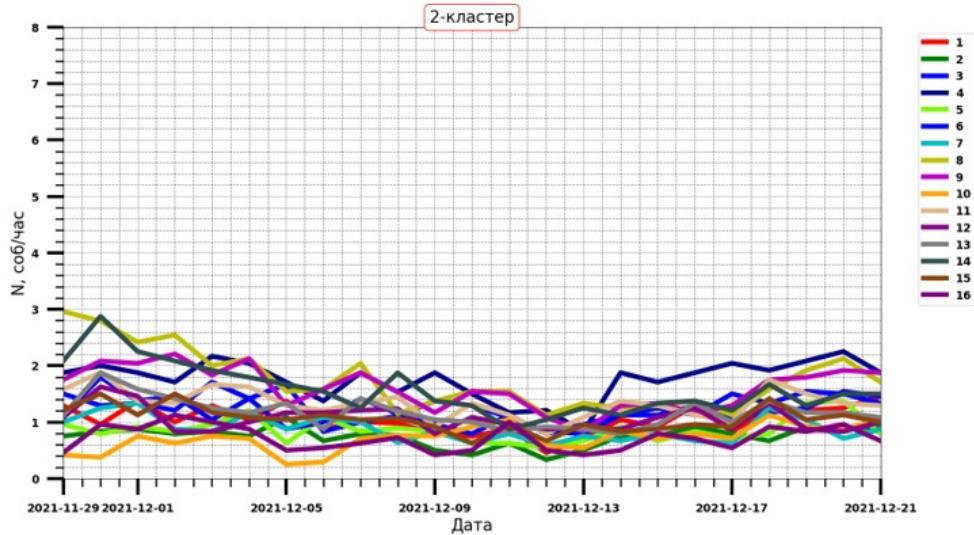


Рисунок 3.10 — Скорость счета событий с  $Fr \geq 2$ ,  $A_9 > 5$  у детекторов в 2-м кластере за 29.11.21-21.12.21

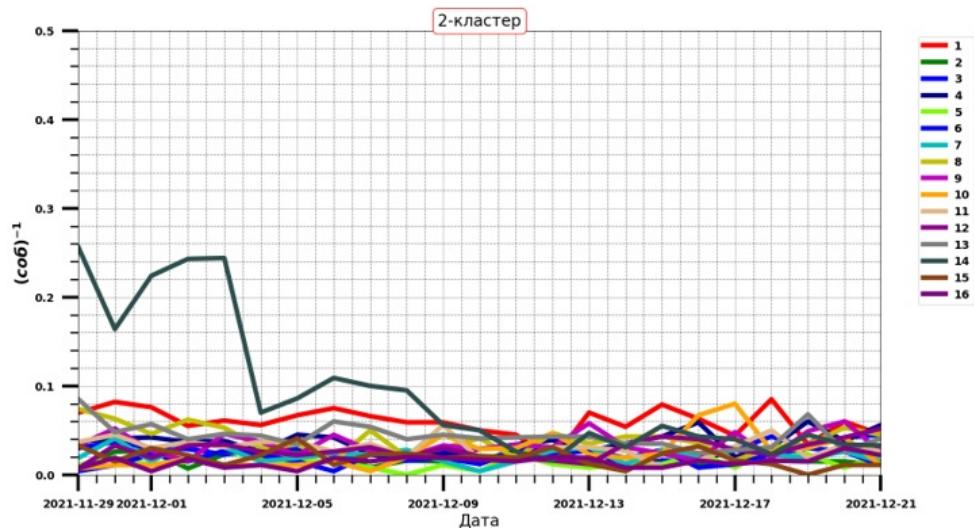


Рисунок 3.11 — Число событий, отобранных как нейтрон, при самозапуске 2-го кластера за 29.11.21-21.12.21

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.
- На P2-14, P2-08 уменьшено напряжение питания делителя ФЭУ. За счет чего уменьшены шумы P2-14

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

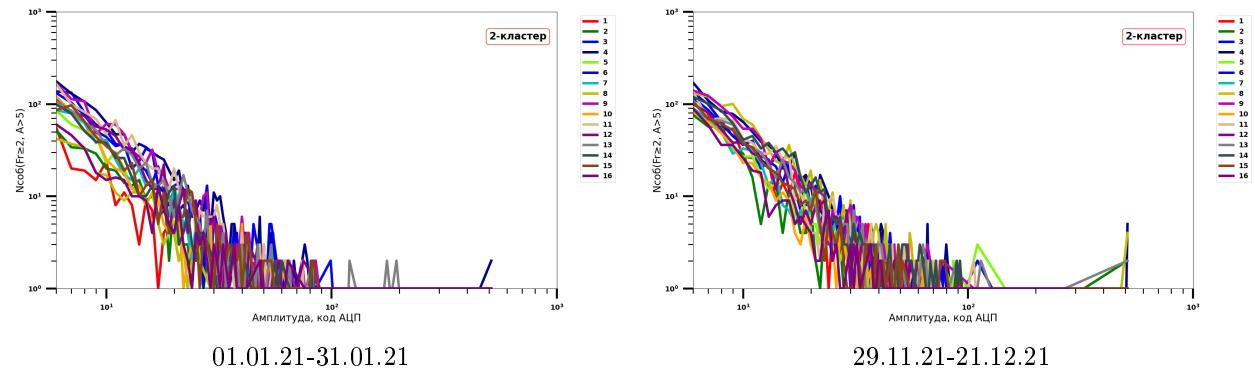


Рисунок 3.12 — Амплитудное распределение сигналов от событий с характеристиками электромагнитной компоненты  $Fr \geq 2$  и  $A_9 > 5$ , 2-й кластер

# 4 РАБОТА С ДАННЫМИ

## 1 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 перебоях 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(БД) ПРИЗМА-32 с первичным ключом времени регистрации события, в которую автоматически заносилась бы следующая информация:
  - данные основных файлов ПРИЗМА-32;
  - данные 7-го динода ПРИЗМА-32;
  - данные о числе нейтронов, зарегистрированных в течение 20 мс после прихода ливня и об их временном распределении с шагом 100 мкс;
  - данные о событиях, зарегистрированных одновременно обоими кластерами;
  - данные о корректности работы детекторов в установке;

База данных может работать на сервере автономно, а дополнительное программное обеспечение автоматически заполнять ее. Пользователям нужно будет лишь запросом получить данные с нужными им критериями отбора для физической обработки. Кроме этого есть возможность создать единую БД с другими установками, что позволит получить полную информацию о ШАЛ.

В настоящее время схема подготовки данных к обработке выглядит, так как показано на рис. 4.1

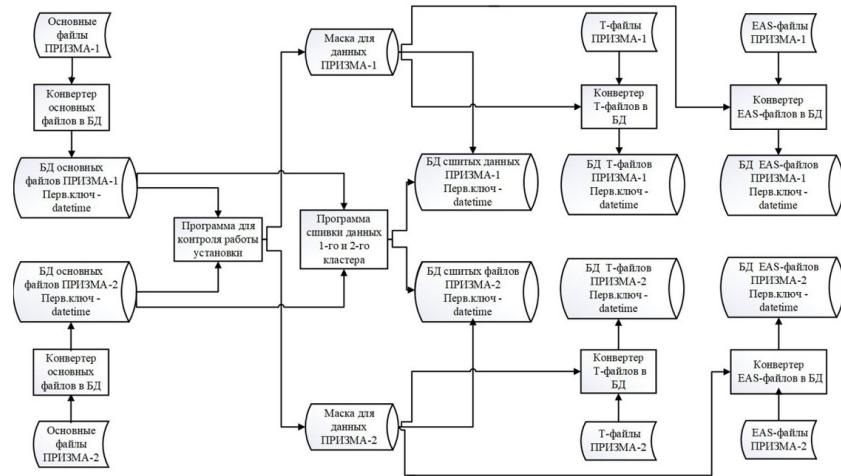


Рисунок 4.1 — Схемы подготовки данных к обработке к концу года

## 2 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.

### 2.1 СТРУКТУРА БАЗЫ ДАННЫХ

Структура БД представлена на 4.2. В каждой таблице первичным ключом является время события, а связь между таблицами осуществлена отношением один-ко-одному.

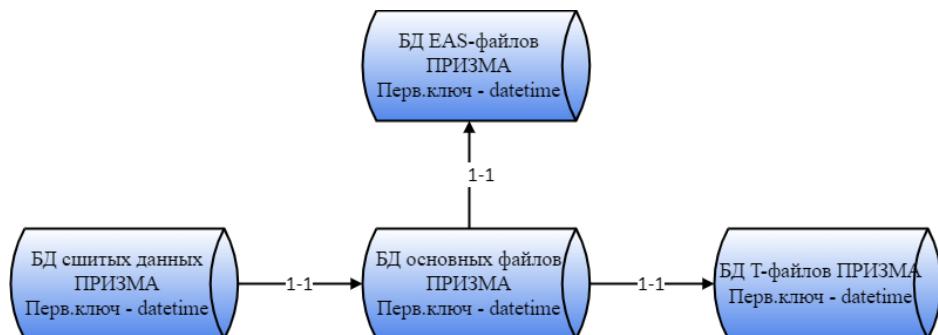


Рисунок 4.2 — Упрощенная структура базы данных

Далее представлены структуры таблиц БД ПРИЗМА-32:

- Структура таблицы файлов 12-го динода с основными параметрами зарегистрированных событий

Имя поля	Назначение	Тип данных
<i>datetime</i>	Дата и время регистрации события (уникальный идентификатор записи, первичный ключ)	DateTime
<i>trigger</i>	Вид условия, по которому квалифицируются события	Integer
<i>sum_n</i>	Суммарное количество нейтронов, зарегистрированных кластером за одно событие	Integer
<i>Amp(i) i=1..16</i>	Энерговыделение от электромагнитной компоненты ШАЛ в одном детекторе	Integer
<i>Nn(i) i=1..16</i>	Число зарегистрированных нейтронов за 20 мс в одном детекторе	Integer

- Структура таблицы файлов, содержащих данные о времени регистрации нейтронов после прихода ШАЛ

Имя поля	Назначение	Тип данных
<i>datetime</i>	Дата и время регистрации события (уникальный идентификатор записи, первичный ключ)	DateTime
<i>trigger</i>	Вид условия, по которому квалифицируется событие	Integer
<i>sum_n</i>	Суммарное количество нейтронов, зарегистрированных кластером за одно событие	Integer
<i>time_delay</i>	Список с временем запаздывания для каждого зарегистрированного нейтрона	Text
<i>detector</i>	Список с номерами детекторов, зарегистрировавших нейтроны в событии	Text
<i>n_per_registration</i>	Список количества нейтронов, зарегистрированных детектором за один шаг в 100 мкс	Text

- Структура таблицы файлов 7-го динода с основными параметрами зарегистрированных событий

Имя поля	Назначение	Тип данных
<i>datetime</i>	Дата и время регистрации события (уникальный идентификатор записи, первичный ключ)	DateTime
<i>trigger</i>	Вид условия, по которому квалифицируется событие	Integer
<i>Amp(i) i=1..16</i>	Энерговыделение от электромагнитной компоненты ШАЛ в одном детекторе	Integer

- Структура таблицы с данными о корректности работы детекторов в установке

Имя поля	Назначение	Тип данных
<i>date</i>	Дата работы установки (уникальный идентификатор записи, первичный ключ)	Date
<i>Amp{i}-mask</i>	Число, описывающее состояние детектора при регистрации энерговыделения от электромагнитной компоненты ШАЛ. 1 – функционирует правильно, 0-не функционирует, либо функционирует неправильно	Integer
<i>N{n}-mask</i>	Число, описывающее состояние детектора при регистрации нейтронов. 1 – функционирует правильно, 0-не функционирует, либо функционирует неправильно	Integer

## 2.2 ОБЪЕДИНЕНИЕ СОБЫТИЙ, ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ ОДНОВРЕМЕННО ОБОИМИ КЛАСТЕРАМИ

Для возможности обработки событий, зарегистрированных двумя кластерами, был создан алгоритм сшивки, в котором учитывались события, не внесенные в маску, с  $Fr \geq 4$  и  $A_9 > 5$ . Также необходимо было определить временные ворота ( $\Delta t$ ) для совмещения данных двух кластеров. Исходя из обработанных данных за 2013-2021 год,  $\Delta t$  был принят равным 0.1 с.

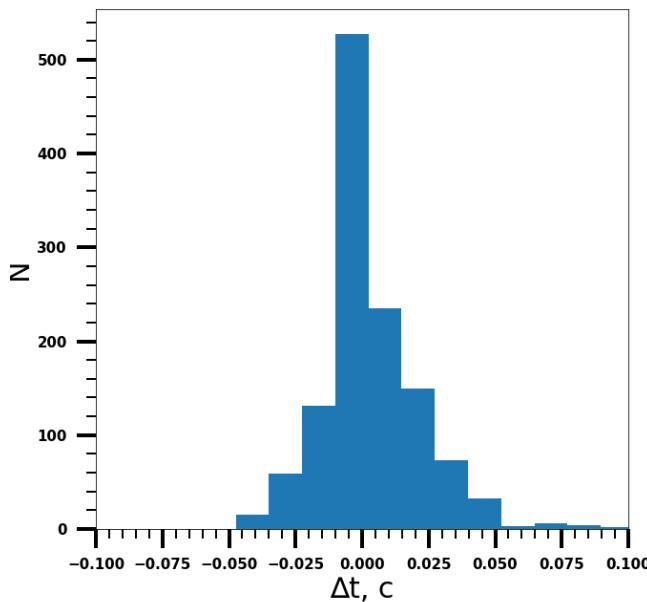


Рисунок 4.3 — Разницы времени регистрации события двумя кластерами

Для проверки правильности выбора  $\Delta t$  был построен для каждого общего события с  $Fr \geq 1$  и  $A_9 > 100$  график показаний детекторов при регистрации события одновременно в двух кластерах, представленный на рис. 4.4. По данному графику можно оценить целостность регистрации фронта ШАЛа двумя кластерами.

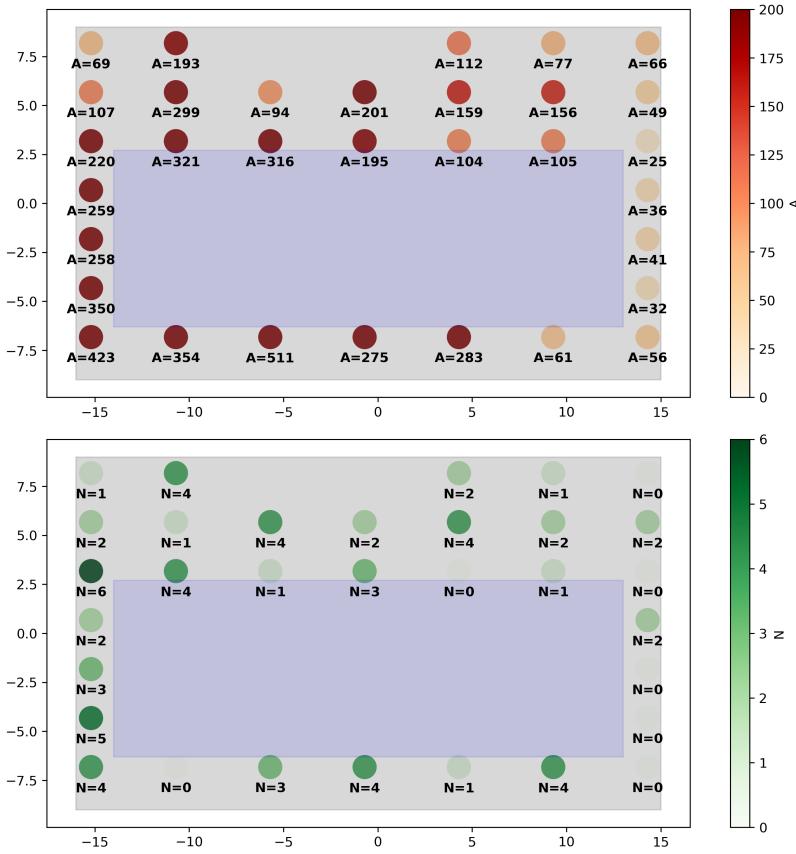


Рисунок 4.4 — Пример регистрации события одновременно в двух кластерах: заряженные частицы (сверху) и нейтроны (снизу)

## 2.3 КОРРЕКТНОСТЬ РАБОТЫ ДЕТЕКТОРОВ В УСТАНОВКЕ

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

Для оценки данной возможности используются результаты программного обеспечения для контроля работы установки:

Для ПРИЗМА-32 существует два вида оценки корректности работы детекторов:

- нейtronная;
- амплитудная;

Корректность по нейtronам определяется из числа импульсов в событии, отобранных, как нейtron, при самозапуске кластера, то есть при нулевом триггере, срабатывающем раз в 5 минут для определения уровня фона случайных совпадений. Этот параметр является ключевым для распределения времени запаздывания тепловых нейtronов. Он является нейtronным фоном, состоящим из естественного фона нейtronов и шумов фотоэлектронного умножителя.

До физической обработки не допускаются нейtronные данные детектора, если у него число импульсов, отобранных как нейtron, при самозапуске превышает одну

десятую шумового импульса на событие.

В качестве примера приведены два графика числа импульсов в событии, отобранных, как нейтрон, при самозапуске второго кластера за 2015 г. Один из них построен до фильтрации, он представлен на рисунке 4.5. Второй построен с учетом фильтрации данных, он представлен на рисунке 4.6

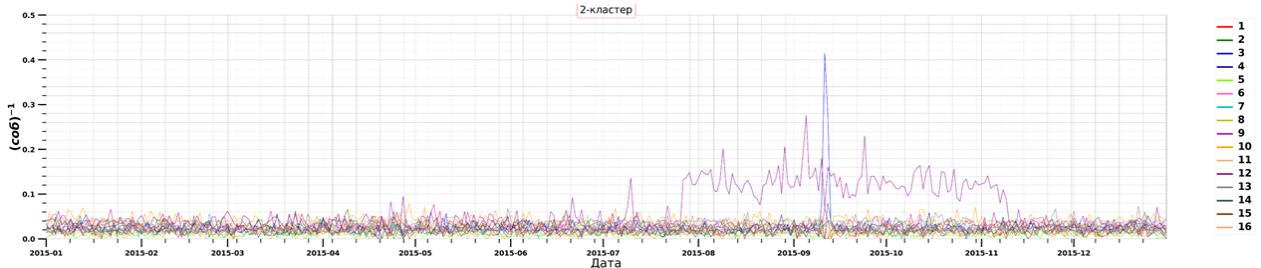


Рисунок 4.5 — График числа импульсов в событии, отобранных, как нейтрон, при самозапуске второго кластера за 2015 г. до фильтрации данных

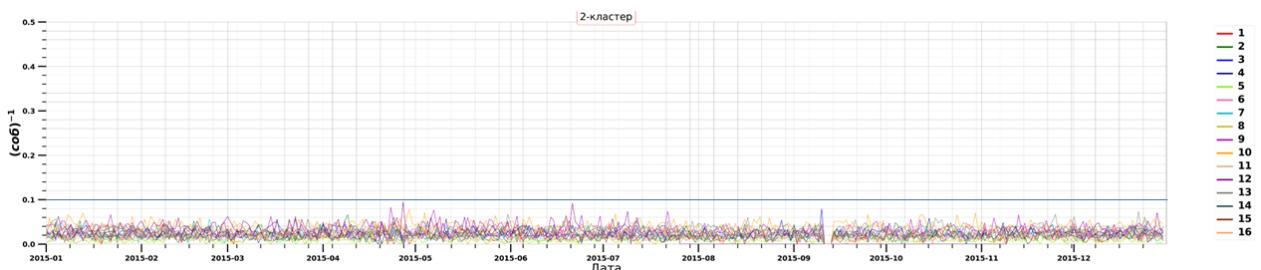


Рисунок 4.6 — График числа импульсов в событии, отобранных, как нейтрон, при самозапуске второго кластера за 2015 г. после фильтрации данных

Корректность по амплитудам определяется из скорости счета событий с  $Fr \geq 2$ ,  $A_9 > 5$  и скорости счета событий с  $Fr \geq 1$ ,  $A_9 > 10$ . Точного критерия для недопуска амплитудных данных детектора до физической обработки в данный момент не существует, так как от него сильно зависит размер выборки.

В качестве примера приведены два графика скорости счета событий с  $Fr \geq 1$ ,  $A_9 > 10$  у детекторов первого кластера за 2017 г. Один из них построен до фильтрации, он представлен на рисунке 4.7. Второй построен с учетом фильтрации данных, он представлен на рисунке 4.8

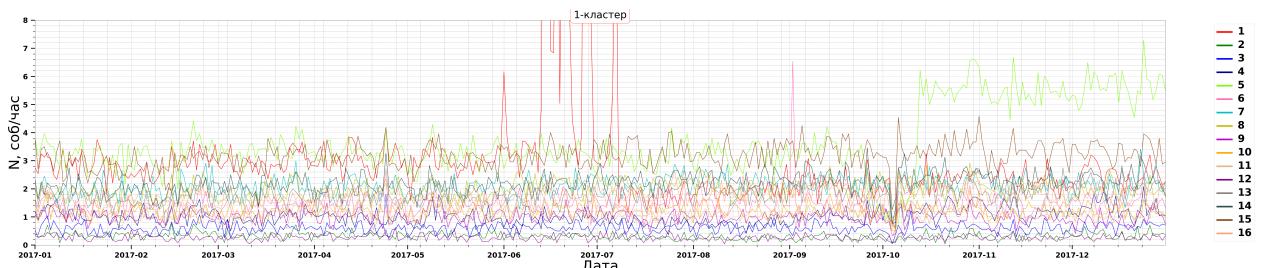


Рисунок 4.7 — Скорость счета событий с  $Fr \geq 1$ ,  $A_9 > 10$  у детекторов первого кластера за 2017 г. до фильтрации данных

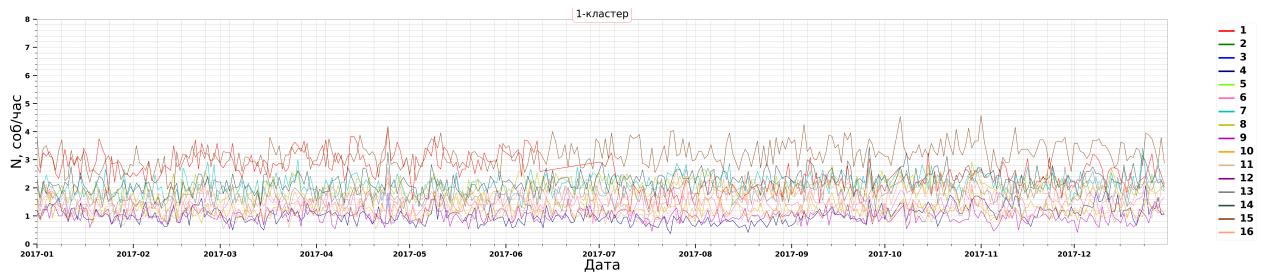


Рисунок 4.8 — Скорость счета событий с  $Fr \geq 1$ ,  $A_s > 10$  у детекторов первого кластера за 2017 г. после фильтрации данных

Основываясь на полученных данных о корректности работы детекторов были построены таблицы 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 суммарного количества исключенных дней, в которых детектор был признан нестабильным, в промежутке между 18 января 2013 г. и 31 декабря 2021 г. (3274 дня)

Таблица 4.1 — Таблица числа исключенных дней из-за фильтрации по амплитудам на детекторах первого кластера

Детектор	Кол-во исключенных дней	Доля исключенных дней, %
1	600	18.33%
2	2503	76.45%
3	1734	52.96%
4	119	3.63%
5	2923	89.28%
6	176	5.38%
7	88	2.69%
8	103	3.15%
9	1194	36.47%
10	108	3.30%
11	86	2.63%
12	2085	63.68%
13	84	2.57%
14	255	7.79%
15	204	6.23%
16	86	2.63%

Таблица 4.2 — Таблица числа исключенных дней из-за фильтрации по нейтронам на детекторах первого кластера

Детектор	Кол-во исключенных дней	Доля исключенных дней, %
1	2288	69.88%
2	58	1.77%
3	15	0.46%
4	14	0.43%
5	646	19.73%
6	13	0.40%
7	16	0.49%
8	13	0.40%
9	13	0.40%
10	12	0.37%
11	12	0.37%
12	15	0.46%
13	392	11.97%
14	23	0.70%
15	17	0.52%
16	12	0.37%

Таблица 4.3 — Таблица числа исключенных дней из-за фильтрации по амплитудам на детекторах второго кластера

Детектор	Кол-во исключенных дней	Доля исключенных дней, %
1	2330	71.17%
2	606	18.51%
3	101	3.08%
4	94	2.87%
5	1338	40.87%
6	60	1.83%
7	103	3.15%
8	1453	44.38%
9	134	4.09%
10	403	12.31%
11	55	1.68%
12	480	14.66%
13	94	2.87%
14	171	5.22%
15	105	3.21%
16	550	16.80%

Таблица 4.4 — Таблица числа исключенных дней из-за фильтрации по нейтронам на детекторах первого кластера

Детектор	Кол-во исключенных дней	Доля исключенных дней, %
1	50	1.53%
2	17	0.52%
3	18	0.55%
4	17	0.52%
5	20	0.61%
6	17	0.52%
7	17	0.52%
8	65	1.99%
9	25	0.76%
10	17	0.52%
11	17	0.52%
12	124	3.79%
13	17	0.52%
14	140	4.28%
15	17	0.52%
16	17	0.52%

# 5 ВРЕМЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НЕЙТРОНОВ И СПЕКТР ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЙ ШАЛ

## 1 ВРЕМЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НЕЙТРОНОВ

По подготовленным данным с критерием отбора событий с  $Fr \geq 4$ ,  $A_9 > 5$  код. АЦП построены графики временного распределения нейтронов для каждого детектора и для каждого кластера за 2013-2021гг, а также для событий, зарегистрированных одновременно двумя кластерами (1&2). 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.

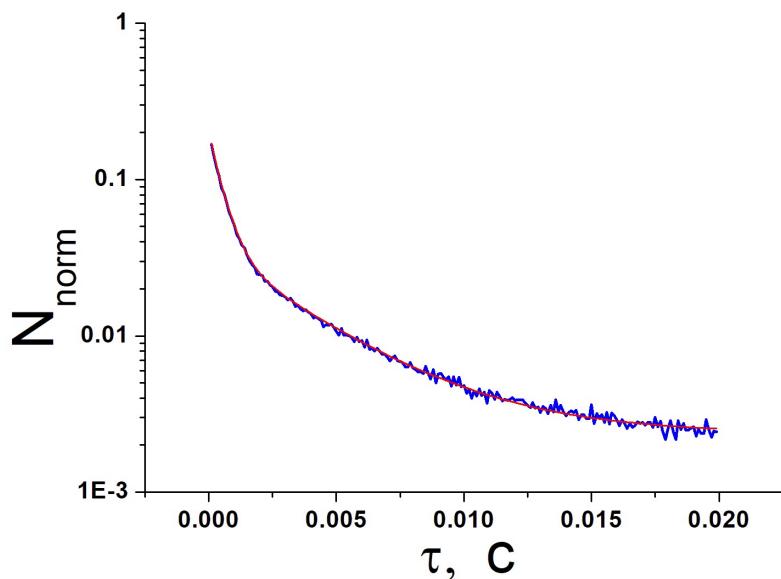


Рисунок 5.1 — Временное распределение нейтронов на 1-м кластере

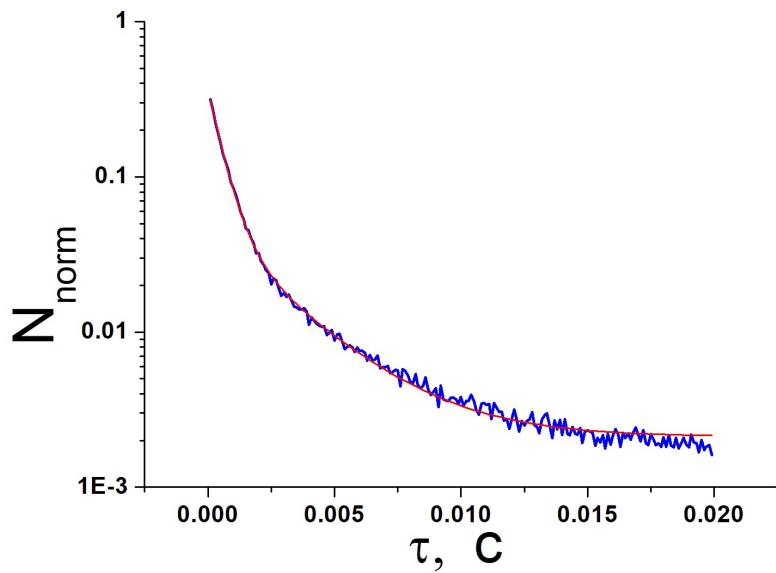


Рисунок 5.2 — Временное распределение нейтронов на 2-м кластере

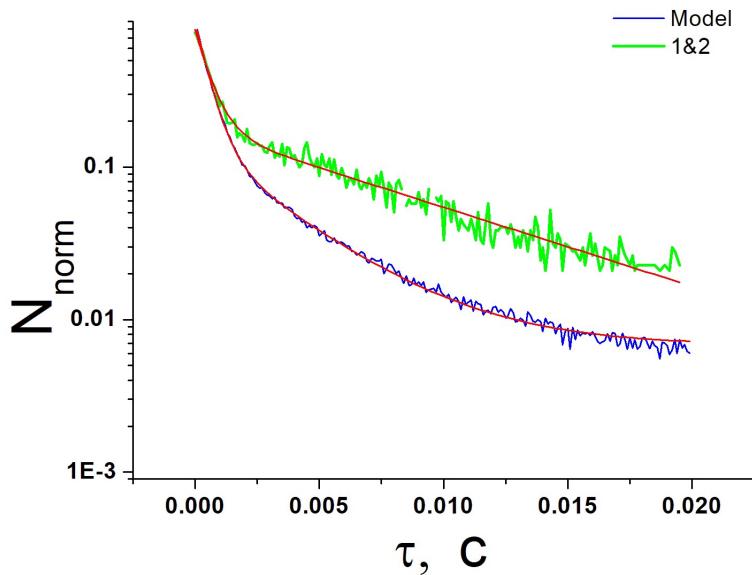


Рисунок 5.3 — Временное распределение нейтронов при регистрации одновременно двумя кластерами

Полученные распределения можно фитировать формулой:

$$y(t) = A_1 \cdot e^{-t/t_1} + A_2 \cdot e^{-t/t_2} + y_0 \quad (5.1)$$

приведенной в статье [1].

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

Для 1-го  $t_1 = 0.51 \pm 0.01$  мс и  $t_2 = 3.76 \pm 0.10$  мс.

Для 2-го  $t_1 = 0.54 \pm 0.01$  мс и  $t_2 = 2.81 \pm 0.12$  мс.

Параметр  $t_1$  связан со средним временем жизни локально рожденных нейтронов, а  $t_2$  – со средним временем жизни нейтронов, образовавшихся в крыше.

Результаты временного распределения тепловых нейтронов в ШАЛ, полученные за 2013-2021 гг., имеют хорошее согласие с результатами обработки данных временных распределений, полученных ранее. Оба параметра согласуются с временными распределениями по экспериментальными данными за 2013-2014 гг., представленными в [7]. Параметр  $t_1$  хорошо согласуется с теоретической моделью установки ПРИЗМА-32, представленной в [8]. Различия по параметру  $t_2$  могут объясняться более жесткими критериями отбора в модели (минимум 4 нейтрона должны быть зарегистрированы кластером) или тем, что в модели существует пренебрежение конструкциями внутри 4-го этажа экспериментального комплекса НЕВОД.

## 2 СПЕКТР ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЯ ШАЛ

По подготовленным данным с критерием отбора событий с  $Fr \geq 4$ ,  $A_3 > 10$  код. АЦП. Были построены графики спектра энерговыделения ШАЛ за 2013-2021 гг. На оси абсцисс находится прологарифмированное суммарное энерговыделение детекторов с 12-м динодом. На оси ординат находится количество совпадений суммарного энерговыделения в определенном логарифмическом шаге.

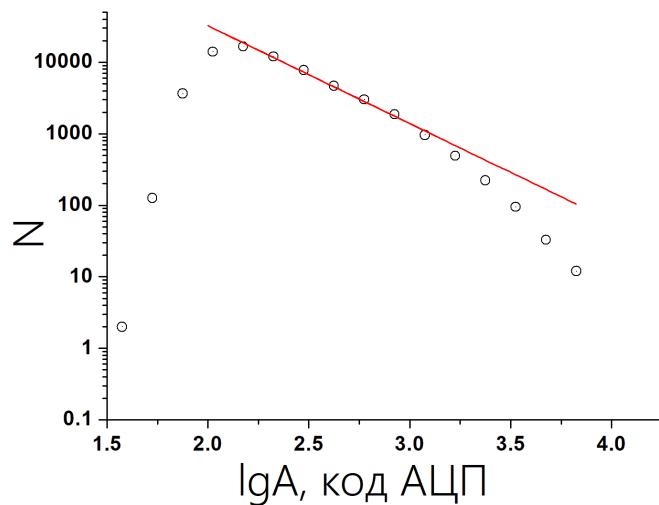


Рисунок 5.4 — Спектр энерговыделения ШАЛ на 1-м кластере

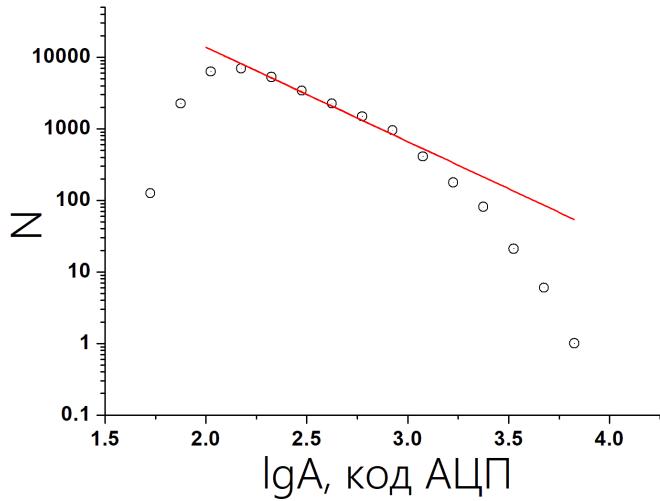


Рисунок 5.5 — Спектр энерговыделения ШАЛ на 2-м кластере

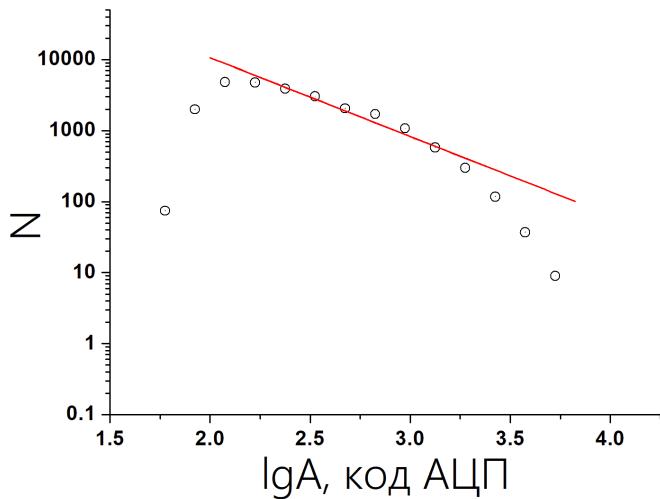


Рисунок 5.6 — Спектр энерговыделения ШАЛ при регистрации одновременно двумя кластерами

Показатель наклона спектра энерговыделений( $K$ ) по заряженной компоненте отличается для 1-го и 2-го кластера отличаются.

Для 1-го  $K = -1.37 \pm 0.05$  мс

Для 2-го  $K = -1.32 \pm 0.09$  мс

Для 1&2  $K = -1.11 \pm 0.10$  мс

Данное значение немного меньше, чем наклоны спектров, полученных на других установках ( $-1.5 \div -1.6$ ) и в работе [9]. Небольшое занижение можно объяснить более жесткими критериями отбора в данной работе. А также тем, что при обработке не использовались данные 7-го динода, то есть при больших энерговыделениях присутствует недомер.

## 6 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщая работу, можно сделать следующие выводы:

- Проанализирована работа установки ПРИЗМА-32 за 2013-2021 гг.
- Проведена фильтрация данных установки ПРИЗМА-32 за 2013-2021 гг.
- Создан массив экспериментальных данных установки ПРИЗМА-32 со стабильной работой детекторов за 2013-2021 гг.
- 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.
- Получены временные распределения нейтронов и спектры энерговыделения заряженной компоненты за длительный период времени (2013-2021 гг.) работы установки ПРИЗМА-32.
- Временные распределения нейтронов можно описать функцией с двумя экспонентами.
- Полученные параметры экспонент временных распределений нейтронов имеют хорошее согласие с результатами обработки данных временных распределений, полученных ранее [7] и согласуются с результатами моделирования по параметру  $t_1$  [8]
- Полученные коэффициенты наклона спектра энерговыделения имеют несколько большее значение, чем то, которое было получено ранее. [9]

# 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 д. Спектр кратностей Тянь-Шаньского нейтронного супермонитора HM64 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.М.Громушкин А. А. Петрухин Ю. В. С. и д. НОВЫЙ МЕТОД РЕГИСТРАЦИИ АДРОННОЙ КОМПОНЕНТЫ ШАЛ / А. А. Петрухин Д.М.Громушкин Ю. В. Стенькин и др. — ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА, 2015, том 78, № 5, с. 379-382, 2015.
8. Z.T. Izhbulyakova A.G. Bogdanov F. B. e. a. Investigation of the EAS neutron component with the URAN array: first simulation and experimental results / A.G. Bogdanov Z.T. Izhbulyakova F.A. Bogdanov et al. — J.Phys.Conf.Ser. 1690 (2020) 1, 012071.
9. D. M. Gromushkin E. A. Zadeba Y. V. S. e. a. Energy Deposit Spectrum of the EAS Electromagnetic Component at the PRISMA32 Array / E. A. Zadeba D. M. Gromushkin Yu. V. Stenkin et al. — Izv.Ross.Akad.Nauk Ser.Fiz. 79 (2015) 3, 414-416, 2015.
10. Д.Д.Джаппуев - Изв. АН СССР. Сер. физ. 1985. Т. 49. № 7. С. 1359.