

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
**ОПТИМИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОГРАММЫ
ПАСПОРТИЗАЦИИ УСТАНОВКИ ПРИЗМА-32**

Руководитель НИР,
к.ф.-м.н.
НОЦ НЕВОД

_____ Д. М. Громушкин

Студент

_____ А. Д. Почестнев

Москва 2020

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	2
1 Описание установки ПРИЗМА-32	4
2 Работа с данными	6
3 Подготовка паспорта ПРИЗМА-32	8
1 Сводная информация	8
2 Данные о продолжительности работы	9
3 Скорость счета	9
4 Амплитудное распределение	12
4 Заключение	14
Список использованных источников	15

ВВЕДЕНИЕ

Изучение энергетического спектра космических лучей высоких и сверхвысоких энергий на сегодняшний день является весьма важной задачей. Над данной проблемой работают многие коллаборации с множеством установок, направленных на изучение состава и спектра космических лучей.

Одним из важных направлений в изучении ШАЛ (широких атмосферных ливней), является изучение адронов в ШАЛ. Адронная компонента так важна вследствие того, что она является формирующей все основные свойства ШАЛ. В то время, как электромагнитная компонента – вторичная. Получение из нее 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. 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 (проект PRISMA 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 установки для регистрации нейтронной компоненты ШАЛ.

Исследования нейтронного компонента привели к интересным результатам, на установке ПРИЗМА-32 было получено временное распределение тепловых нейтронов в ШАЛ. Его можно профитировать двойной экспоненциальной функцией

$$y(t) = A_1 \cdot e^{-t/t_1} + A_2 \cdot e^{-t/t_2} + y_0 \quad (1)$$

с параметрами $t_1 = 0.49 \pm 0.01$ мс и $t_2 = 3.44 \pm 0.125$ мс. Первый параметр t_1 связан со средним временем жизни нейтронов, выходящих из-под детектора, т. е. локально

рожденных. Второй параметр t_2 может быть связан с временем жизни тепловых нейтронов в воздухе (атмосферные нейтроны) или с нейтронами, замедленными в стенах и потолке здания.

Целью данной работы является оптимизация и автоматизация программы паспортизации установки ПРИЗМА-32. Созданное ПО позволит быстро получать данные установки за любой срок работы. Информация, представленная в паспорте, позволит контролировать работу установки, вовремя выявлять неисправности и устранять их.

1 ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ ПРИЗМА-32

Установка состоит из 32 п-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 п-детекторы, способные регистрировать сразу две компоненты ливней: адронную, через тепловые нейтроны, и электромагнитную, по групповому прохождению заряженных частиц, в основном электронов.

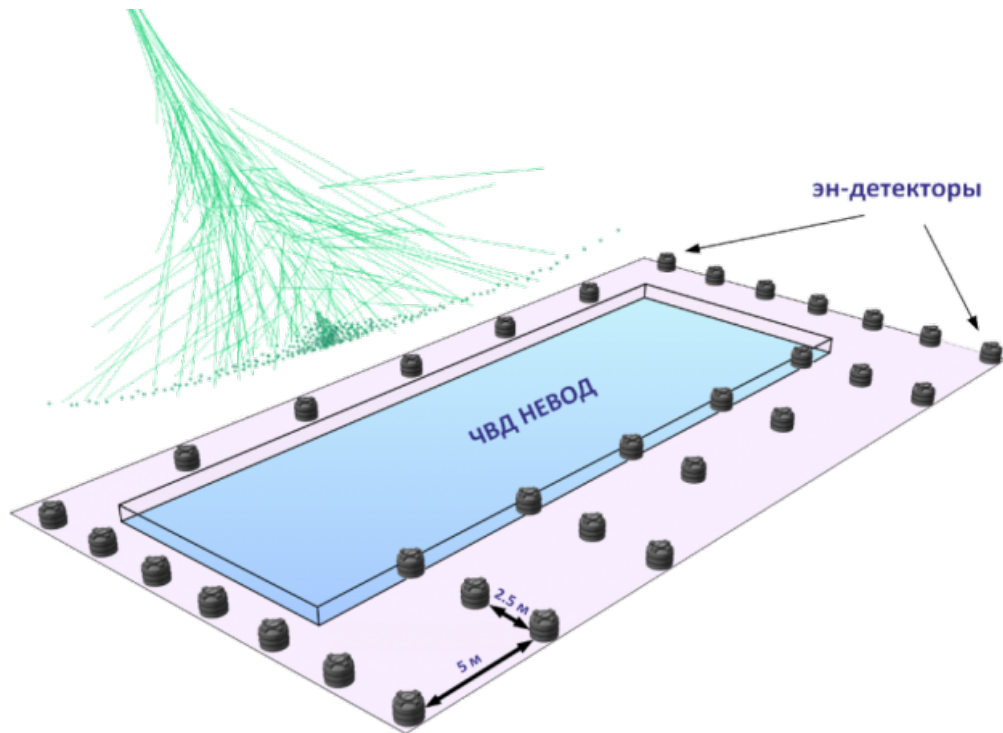


Рисунок 1.1 — Экспериментальная установка ПРИЗМА-32

В качестве корпуса п-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 $\sim 0.36\text{ м}^2$.

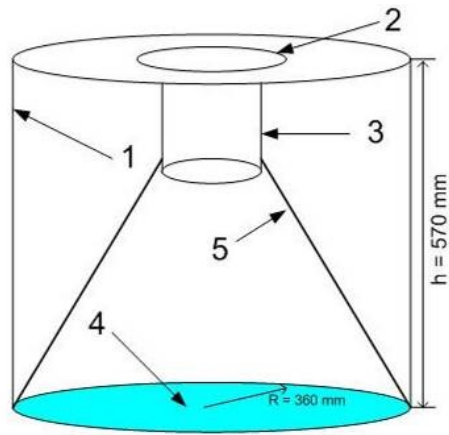
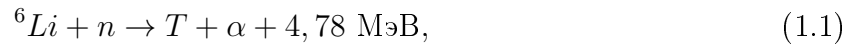


Рисунок 1.2 — Конструкция нейтронного детектора. 1 - светозащитный корпус детектора; 2 - крышка с подвеской; 3 - ФЭУ-200; 4 - сцинтиллятор $\text{ZnS}(\text{Ag}) + {}^6\text{Li}$; 5 - светоотражающий конус.

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 волны. Схема регистрации тепловых нейтронов в сцинтилляторе $\text{ZnS}(\text{Ag})$ с добавкой LiF показана на рисунке 1.3

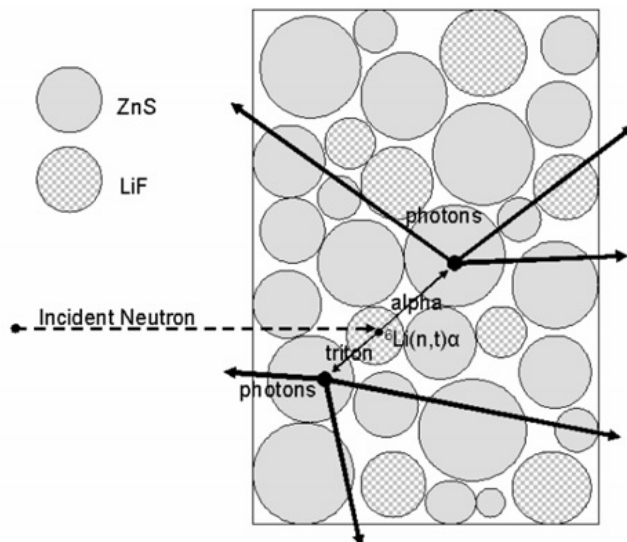


Рисунок 1.3 — Регистрация тепловых нейтронов на сцинтилляторе $\text{ZnS}(\text{Ag})$ с добавкой LiF

2 РАБОТА С ДАННЫМИ

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 зарегистрированных ШАЛ;
- 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 осциллограмм мощных событий
- метка события абсолютным временем, которое дальше используется для сшивки данных разных кластеров.

В данной работе были проанализированы экспериментальные данные ПРИЗМА-32 за март 2019 года

Примеры записи экспериментальных данных представлены на рисунках 2.1 2.2

Номер RUN от начала суток	Имя файла	Число зарегистрированных нейтронов	Число зарегистрированных заряженных частиц
1	034	1.15	0 1 1 1 2 0 0 0 0 0 1 0 0 1 2
2	035	1.15	1 0 2 0 1 0 0 0 1 1 0 0 1 0 2 0 2 1 10 4 6 16 9 6
3	033	1.12	1 1 2 0 1 0 0 0 1 1 0 1 1 1 0 2
4	034	1.13	1 3 1 0 3 1 2 0 0 0 1 0 2 0 1 0 18 15 6 3 9 5 8 10 11 6 8 4 12 10 11 6
5	034	1.14	1 2 3 1 2 0 0 0 3 0 0 1 0 0 1 1 19 11 7 4 13 6 6 3 10 6 5 6 8 11 11 8
6	033	1.1	1 1 0 1 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 2 0 11 13 9 5 11 7 14 3 9 1 11 15 10 10 8
7	033	1.1	2 1 2 2 0 0 0 1 1 1 1 0 0 1 0 13 8 2 7 12 4 10 9 9 2 6 5 7 9 7 8
8	033	1.1	1 0 1 1 1 2 2 1 0 0 0 0 0 0 0 15 11 5 7 18 5 13 3 15 4 5 4 10 7 12 7
9	035	1.17	1 1 3 2 1 0 0 1 0 0 1 0 2 0 0 0 9 8 6 3 15 4 6 5 8 4 10 5 8 9 15 7
10	034	1.15	2 2 1 0 3 0 1 0 0 1 1 0 1 0 1 0 2 1 10 4 7 14 3 12 8 8 3 3 4 4 13 8 6
11	036	1.14	2 0 1 0 3 0 1 1 0 0 1 0 1 2 4 0 13 11 6 3 12 10 7 7 10 9 8 3 7 6 13 6
12	036	1.2	0 0 0 0 1 1 1 0 1 0 1 0 0 1 0 13 9 7 4 12 9 12 9 12 7 4 6 10 9 13 3
13	034	1.13	0 2 1 3 5 0 0 1 1 1 0 0 0 1 0 0 15 15 6 5 17 2 10 3 13 6 10 4 12 5 15 5

Рисунок 2.1 — Пример записи файла, содержащего данные о времени, числе запусков АЦП, темпе счета тепловых нейтронов и заряженных частиц.



Рисунок 2.2 — Пример записи файла с основными параметрами зарегистрированных событий.

Данные из файлов, записанных установкой, были обработаны изначально с помощью C++ и программы Borland C++. [2] Получившиеся файлы, содержащие информацию и скоростях счета и др. были переведены в формат .csv. Так как для дальнейшей работы с данными был использован Python и библиотека pandas [3], которая хорошо совместима с этим форматом.

Также для обработки данных и построения графиков использовались библиотеки matplotlib [4] и numpy. Вывод готового паспорта в формат .docx происходил с помощью python-docx. [5]

3 ПОДГОТОВКА ПАСПОРТА ПРИЗМА-32

1 СВОДНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

На первой странице паспорта представлены три таблицы, в которых представлена основная информация про работу первого и второго кластера установки за установленный в паспорте срок времени.

- 1) Сводная таблица времени работы установки с данными о реальном времени работы в часах и его отношении к календарному времени работы. (Таблица 3.1)
- 2) Сводная таблица неисправностей установки ПРИЗМА-32 с данными о времени простоя, количестве поломок с их причинами и описанием.
- 3) Сводная таблица темпов счета событий и сигналов, отобранных как нейтрон, с данными о числе событий с амплитудой электромагнитной компоненты больше 5 кодов АЦП (далее – $A_s \geq 5$) и числом сработавших детекторов большим, чем 2 в час. ($N_{\text{соб}}/\text{ч}$) (Таблица 3.2)

А также с данными о числе нейтронов по нулевому мастеру на событие. ($n_0/N_{\text{соб}}$)

«Нулевой мастер» - случайный программный триггер, используется для определения фона тепловых нейтронов, запускается каждые 5 минут.

Таблица 3.1 – Сводная таблица времени работы установки.

№ кластера	Экспозиция, ч.	Календарное, ч.	Экспозиция, %
1	737,75	768	96.1
2	768,00	768	100
1&2	737,75	768	96.1

Таблица 3.2 – Сводная таблица неисправностей установки ПРИЗМА-32.

Счет/кластер	Объединенные по времени	Кл1	Кл2
События, $N_{\text{соб}}/\text{ч}$	10.02	13.62	6.42
Нейтроны, ($n_0/N_{\text{соб}}$)	8.05	9.40	6.61

2 ДАННЫЕ О ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ РАБОТЫ

Далее идут графики с продолжительностью работы 1-го и 2-го кластеров в сутки. Один из них представлен на рисунке 3.1 Данные о времени работы из этих графиков, будут потом использоваться для нормировки графиков скорости счета сигналов.

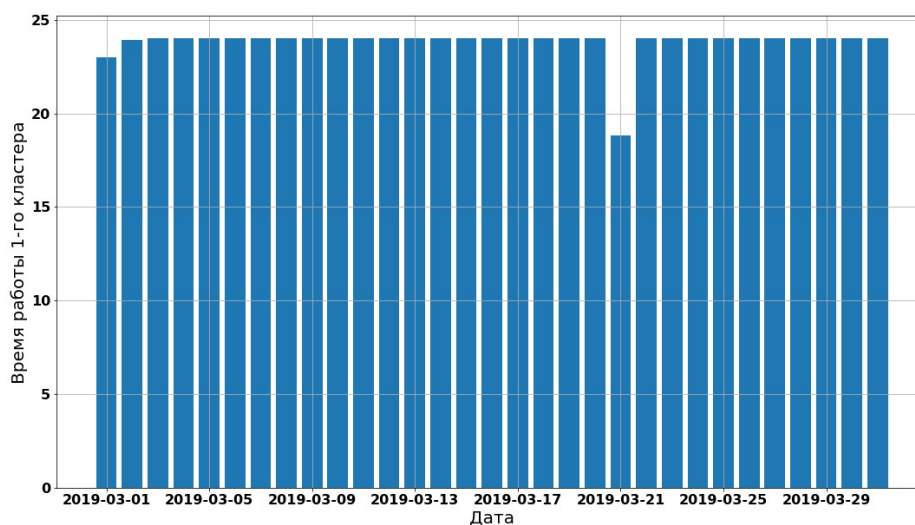


Рисунок 3.1 — Продолжительность работы 1-го кластера в сутки

3 СКОРОСТЬ СЧЕТА

На рисунках 3.2 и 3.3 представлены графики скорости счета импульсов отобранных, как нейтрон, при самозапуске 1-го кластера и 2-го кластера в час соответственно. Они показывают насколько шумит каждый детектор кластера. Так как самозапуск детектора применяется для измерения фона тепловых нейтронов.

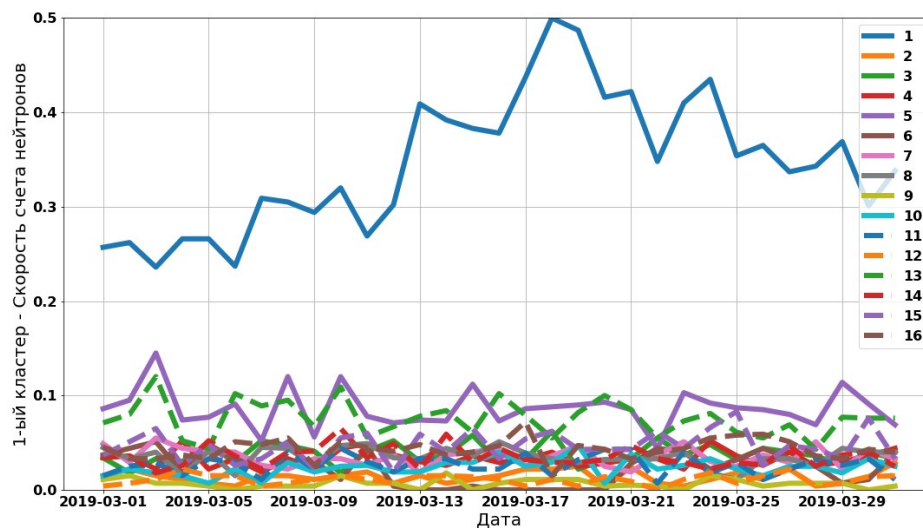


Рисунок 3.2 — Скорость счета импульсов отобранных, как нейтрон, при самозапуске кластер 1

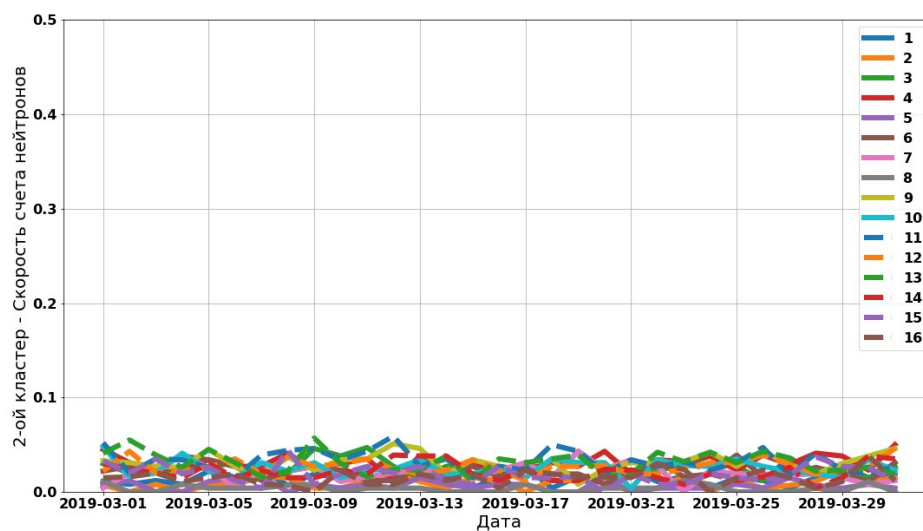


Рисунок 3.3 — Скорость счета импульсов отобранных, как нейтрон, при самозапуске кластер 2

Из этих графиков видно, что шум детекторов 2-го кластера на уровне нормы, в отличие от 5-го, 16-го, и в особенности 1-го детектора 1-го кластера.

Стоит отметить, что после каждого графика скорости счета идет таблица, представленная на рисунке 3.4 с необходимыми статистическими данными подобного вида (специально для рисунков 3.2 и 3.3)

№	Стат-ка	№ детектора															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	mean	34.73	1.38	3.77	3.31	8.62	2.26	3.5	3.49	0.68	2.36	2.65	1.09	7.56	3.55	4.67	4.32
	std	7.26	0.69	1.11	0.88	2.1	1.77	1.02	1.02	0.49	0.92	1.06	0.54	1.91	1.14	1.61	1.14
2	mean	1.42	0.91	2.64	3.08	0.66	2.24	2.03	0.36	3.13	2.54	3.25	2.71	3.11	2.12	1.93	1.55
	std	0.63	0.61	0.91	0.88	0.51	0.83	0.95	0.38	0.99	0.91	1.16	0.77	1.14	0.94	1.01	0.83

Рисунок 3.4 — Таблица, показывающая среднее число нейтронов (Nn) для детекторов установки ПРИЗМА-32 за месяц работы, нормированное на количество событий (Ns).(при самозапуске), (имп/соб)*100

Далее на рисунках 3.5 и 3.6 представлены графики скорости счета сигналов кластеров с $A_3 \geq 5$ в час, хотя бы на одном детекторе, то есть кратность больше или равна единице.(далее – кр. ≥ 1)

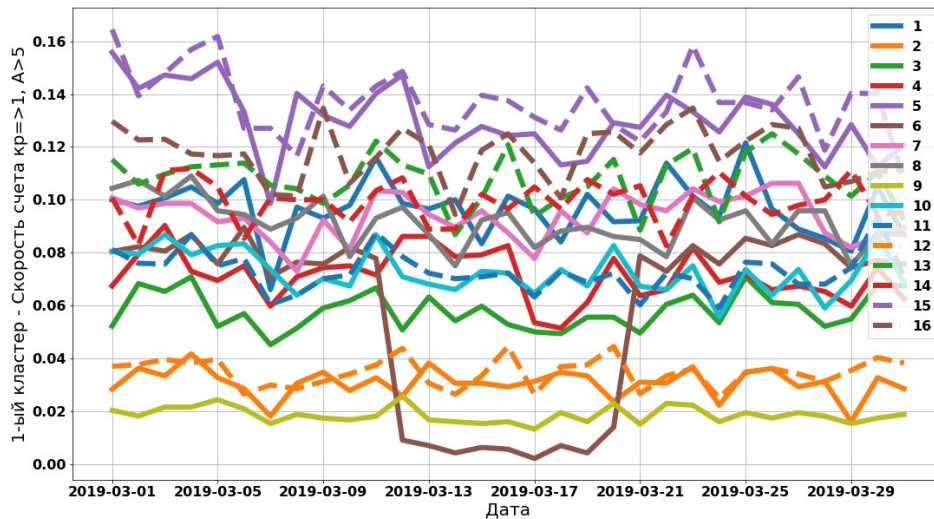


Рисунок 3.5 — Скорость счета сигналов детекторов $A_3 \geq 5$ кластер 1

На графике видно, что 6-й детектор в середине марта был нестабилен, и в отличие от стандартных показателей регистрировал значительно меньше событий с заданной амплитудой. А детекторы под номерами 12,9,2 регистрировали значительно меньше событий, чем остальные детекторы 1-го кластера.

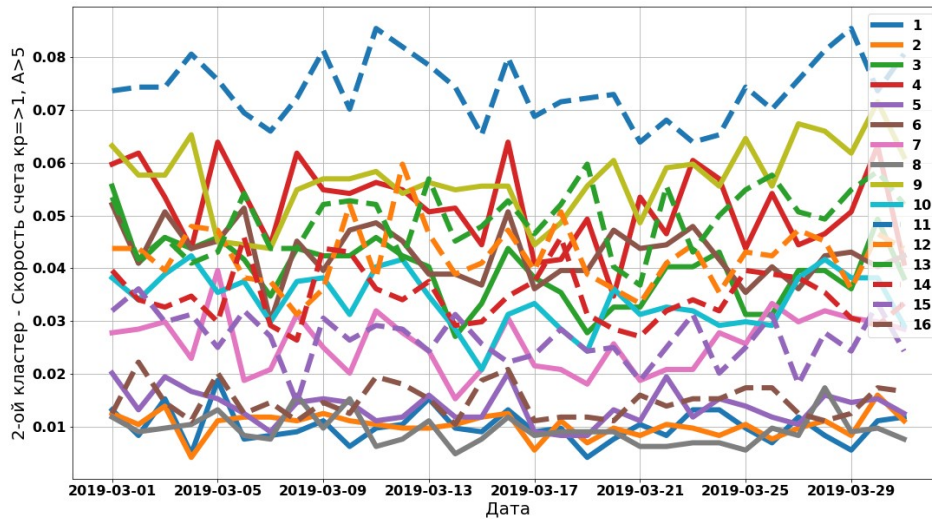


Рисунок 3.6 — Скорость счета сигналов детекторов $A_3 \geq 5$ кластер 2

На графике видно, что 11-й детектор регистрировал значительно больше событий с заданной амплитудой, чем детекторы 2-го кластера. А остальные детекторы разделяются на два пучка.

4 АМПЛИТУДНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ

Для паспорта были сделаны графики амплитудного распределения сигналов от детекторов, при регистрации заряженной компоненты ШАЛ с нормировкой на время работы кластера, представленные на рисунках 3.7 и 3.8 Амплитудное распределение строится для событий с $A_3 \geq 5$ и $кр. \geq 2$.

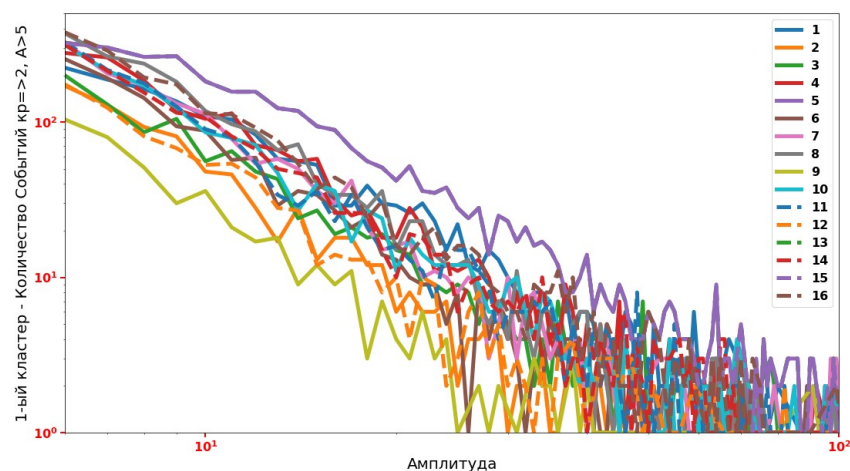


Рисунок 3.7 — Амплитудное распределение сигналов от детекторов, кластер 1 ($A_3 \geq 5$ и $кр. \geq 2$)

На графике видно, что детекторы 2,9,12 показывают меньшее количество событий, чем основное количество 1-го кластера, в то время как 5-ый детектор регистрирует большее количество событий с высокой амплитудой электромагнитной компоненты.

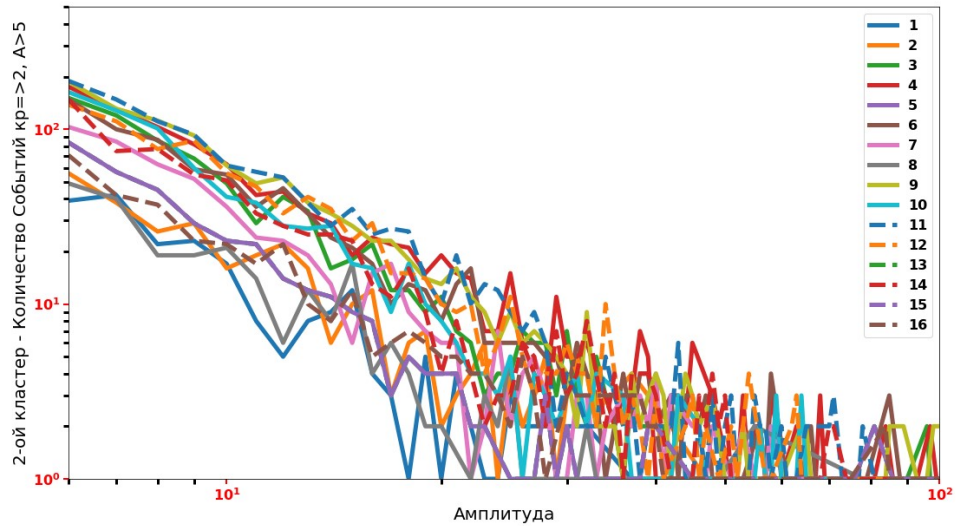


Рисунок 3.8 — Амплитудное распределение сигналов от детекторов, кластер 2 ($A_3 \geq 5$ и $кр. \geq 2$)

Во втором кластере детекторы так же, как и на графике скорости счета ранее разделились на два пучка. Стоит отметить, что первый кластер, в целом регистрирует в 2 раза больше событий с $A_3 \geq 5$. (все это на момент марта 2019 года) Что хорошо согласуется с реальностью, если посмотреть на расположение детекторов 1-го и 2-го кластера. 1-ый располагается кучнее 2-го и вероятность поймать такой сигнал, хотя бы двумя детекторами, у него больше.

Далее исходя из тех данных, которые мы получили и записали в паспорт, и тех данных, которые были у детекторов изначально, можно контролировать работу установки и выявлять неисправности детектора. Для этого в паспорте есть примечание, где описывается каждое отклонение, чтобы потом его исправить. Ранее были описаны полученные отклонения за март 2019г.

4 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работы были получены следующие результаты:

- Освоена работа с большим массивом данных
- Создано программное обеспечение, позволяющее обрабатывать данные с 2-х кластеров установки ПРИЗМА-32 и автоматически создавать её паспорт за любой срок работы
- С помощью нового ПО создан паспорт установки

В процессе было показано (с помощью обработанных данных работы установки в марте 2019г.) что, информация, указанная в паспорте, позволяет контролировать работу установки и своевременно выявлять неисправности и устранять их.

В будущем планируется:

- Упростить взаимодействие с программой при создании паспорта, создав графический интерфейс
- Автоматизировать запись неисправностей

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Д.М.Громушкин*. УСТАНОВКА ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ НЕЙТРОННОЙ КОМПОНЕНТЫ ШАЛ. Кандидатская диссертация, НИЯУ МИФИ / Д.М.Громушкин. — НИЯУ МИФИ, 2014.
2. *В.В.Подбельский*. Язык C++. — М.: Финансы и статистика, 2001.
3. Мануал по библиотеке pandas. — 2020. — Дата обращения 22.12.2020. <https://pandas.pydata.org/>
4. Мануал по библиотеке matplotlib. — 2020. — Дата обращения 22.12.2020. <https://matplotlib.org/>
5. Основные компоненты библиотеки docx. — 2020. — Дата обращения 22.12.2020. <https://python-docx.readthedocs.io/en/latest/index.html>.