

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	Описание установки ПРИЗМА-32	4
2	Работа с данными	6
1	Первичная обработка	6
2	Статистическая обработка данных	7
3	Изменения в программе	8
3.1	Модификации	8
3.2	Интерфейс	9
3.3	Данные 7-го динода	10
3	Настройка детекторов	11
1	Проблемные детекторы	11
2	Ремонтные работы	11
2.1	Ремонтные работы на первом кластере	12
2.2	Ремонтные работы на втором кластере	13
4	Заключение	15
	Список использованных источников	16

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 анализ работы установки ПРИЗМА-32, кроме того с помощью созданного программного обеспечения были выявлены детекторы с некорректными показаниями в 1-м и 2-м кластере. На них были проведены ремонтные работы: подстройка усиления, замена ФЭУ, установка сигнальных разъёмов.

1 ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ ПРИЗМА-32

Установка состоит из 32 эн-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, и электромагнитную, по групповому прохождению заряженных частиц, в основном электронов.

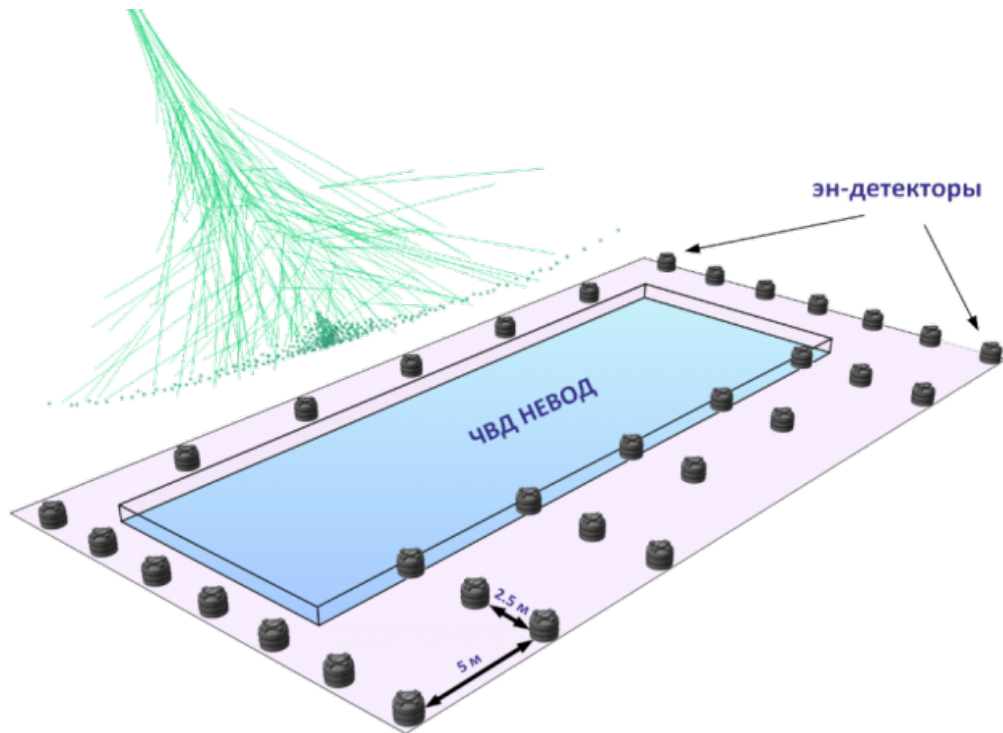


Рисунок 1.1 — Экспериментальная установка ПРИЗМА-32

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 $\sim 0.36\text{ м}^2$.

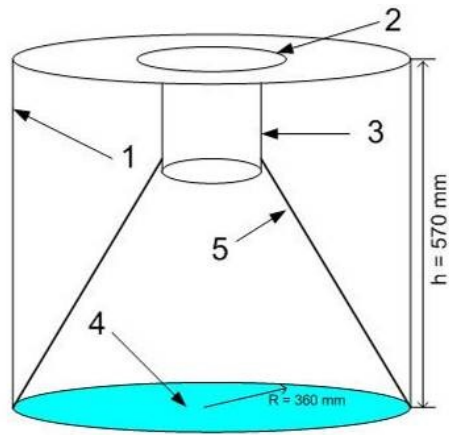
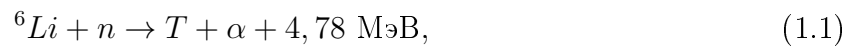


Рисунок 1.2 — Конструкция нейтронного детектора. 1 - светозащитный корпус детектора; 2 – крышка с подвеской; 3 - ФЭУ-200; 4 - сцинтиллятор $\text{ZnS}(\text{Ag}) + {}^6\text{Li}$; 5 – светоотражающий конус.

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

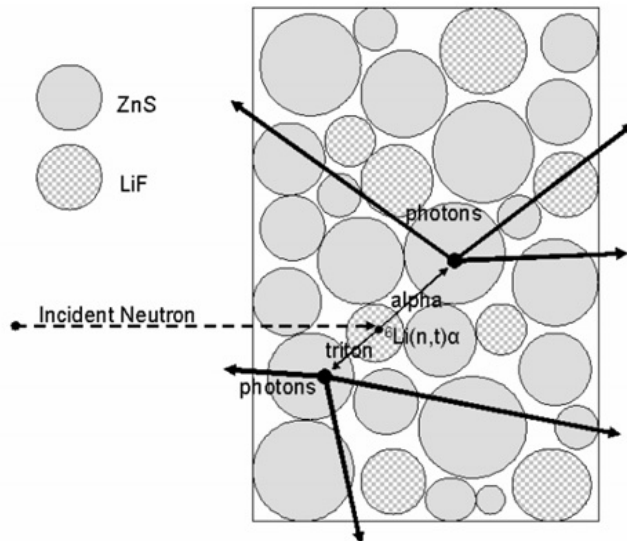


Рисунок 1.3 — Регистрация тепловых нейтронов на сцинтилляторе $\text{ZnS}(\text{Ag})$ с добавкой LiF

2 СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ

Вторичная обработка данных происходит следующим образом, в графическом интерфейсе, информация о котором будет приведена позднее, пользователь выбирает определенный временной диапазон, за который производится сбор первичной информации из файлов примеры, которых были представлены на рисунках ??, 2.1. Полученная информация, преобразуются в специальный тип данных библиотеки pandas [2] - 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 [3]). 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 $Fr \geq 4$, $A_s \geq 5$.
- Среднее число событий, отобранных как нейтрон, при самозапуске кластера
- Скорость счета событий с характеристиками электромагнитной компоненты $Fr \geq 2$, $A_s > 5$
- Амплитудное распределение сигналов от событий с характеристиками электромагнитной компоненты $Fr \geq 2$ и $A_s > 5$

Выше и далее, F_r - кратность срабатывания детекторов.

A_s измеряется в кодах АЦП.

Таблицы используемые в работе:

- Сводные таблицы:
 - o Сводная таблица времени работы установки с данными о реальном времени работы в часах и его отношении к календарному времени работы.
 - o Сводная таблица неисправностей установки ПРИЗМА-32 с данными о времени простоя, количестве поломок с их причинами и описанием.
 - o Сводная таблица темпов счета событий и сигналов, отобранных как нейтрон кластеров установки ПРИЗМА-32
- Статистические таблицы к графикам
 - o 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)
 - o Значения среднего числа и стандартного отклонения срабатываний детекторов установки ПРИЗМА-32

Результаты вторичной обработки с помощью библиотеки python-docx[4] форма-

тируются в docx-файл фиксированного вида. В итоге, пользователь получает полную информация о работе установки за определенный период, изложенную в понятном для него формате.

Все заполнение паспорта происходит автоматически, кроме примечаний к неисправностям. Это связано с сложностями технической стороны реализации данной автоматизации. Так как при каждой поломке желательно заносить каждое примечание в отдельную базу данных (БД). Делать БД лучше же не для одной установки, а для всех установок НОЦ НЕВОД. При этом она должна быть унифицированной для удобства работы с ней. В таком случае из этой БД можно будет взять унифицированные данные по характеристикам установок и полную информацию об их выходах из строя. База данных для одной ПРИЗМЫ-32 нецелесообразна, так как созданное ПО уже полностью обрабатывает данные установки, а делать такую работу только для заполнения примечаний не практично, проще на сегодняшний день ручное заполнение.

3 ИЗМЕНЕНИЯ В ПРОГРАММЕ

3.1 МОДИФИКАЦИИ

По сравнению с предыдущей версии справки о работе установки в сегодняшней была модифицирована визуальная составляющая графиков. В качестве примера, приведу график продолжительности работы на рисунках 2.2, 2.3.

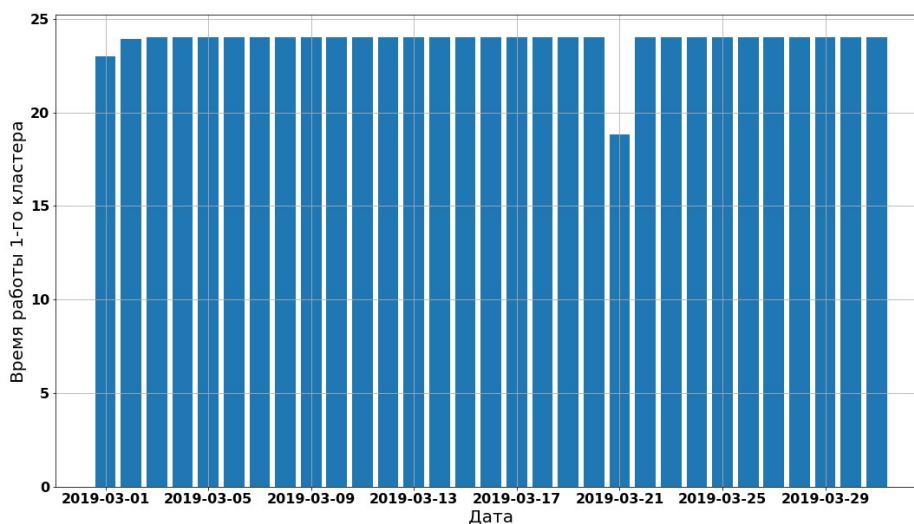


Рисунок 2.2 — Старый график продолжительности работы 1-го кластера

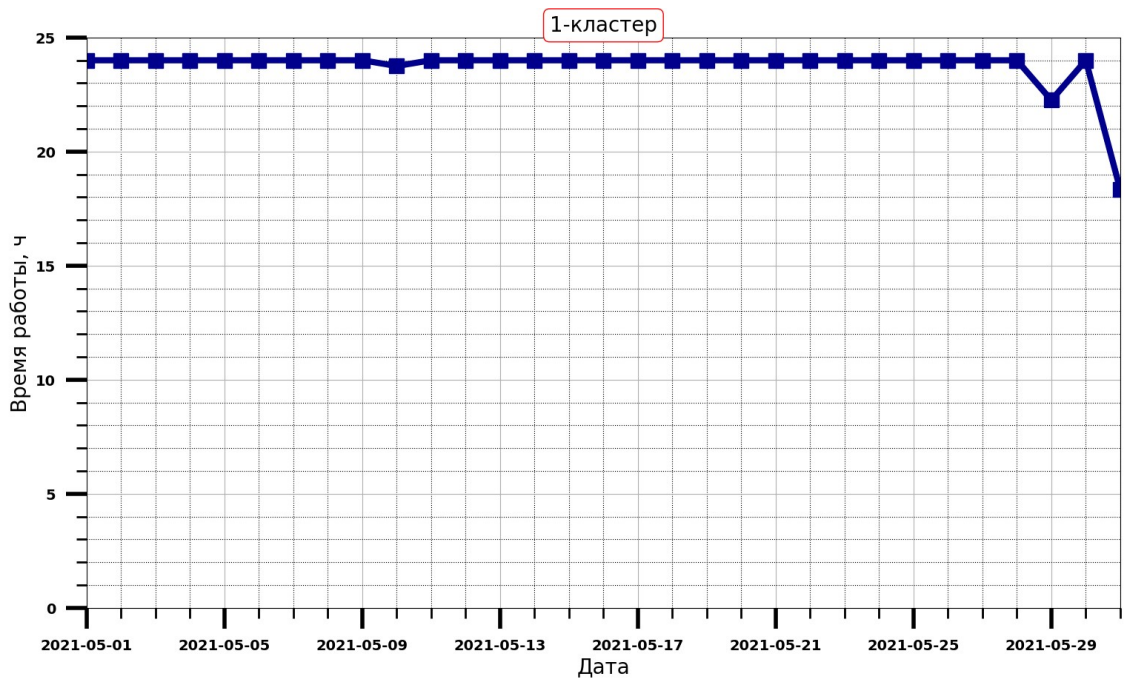


Рисунок 2.3 — Новый график продолжительности работы 1-го кластера

3.2 ИНТЕРФЕЙС

Упрощено взаимодействие пользователя с программой, так как создан графический интерфейс с помощью QtDesigner и библиотеки PyQt6, позволяющей работать с QtDesigner на python. При вызове программы запускается интерфейс, в котором можно выбрать нужный временной период, за который будет представлена справка о работе установки. Кроме этого, можно выбрать местоположение папок откуда будут браться файлы для обработки и куда будет сохраняться docx-файл результата. Также кроме основной программы можно запустить обработку данных с 7-го динода.

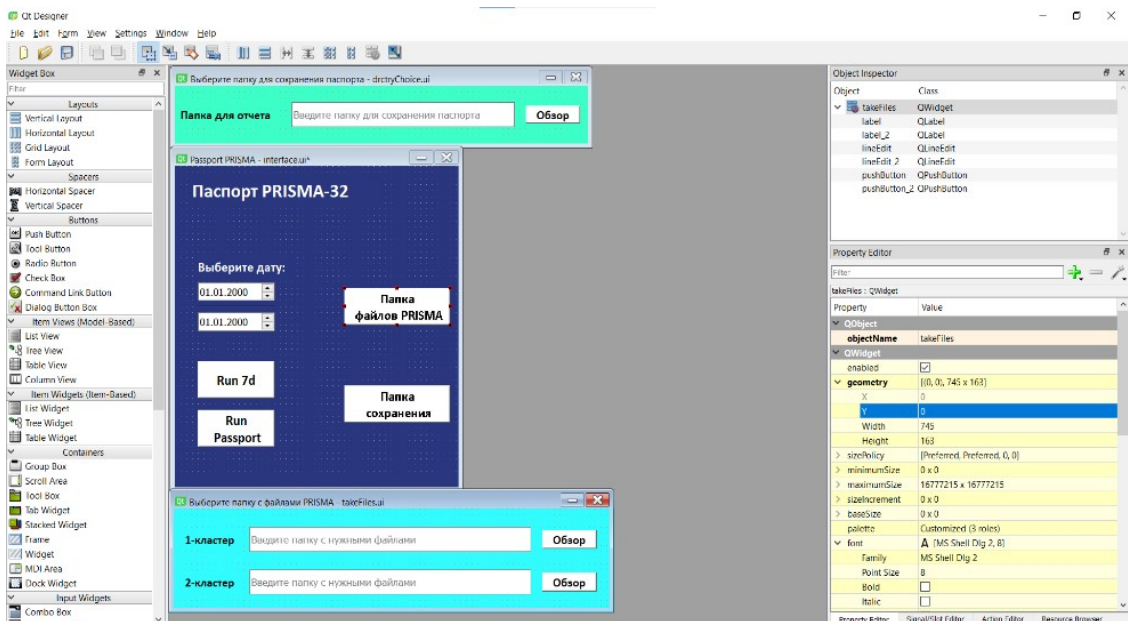


Рисунок 2.4 — Вид всех окон графического интерфейса в QtDesigner

3.3 ДАННЫЕ 7-ГО ДИНОДА

Программное обеспечение теперь может обрабатывать данные с 7-го динода ПРИЗМА-32. На выходе она будет выводить коэффициенты пересчета с 12-го динода на 7-й, т.е. во сколько раз амплитуда событий на 12-м детекторе больше, чем на 7-м. Для получения этой информации сначала был произведен отбор событий на 12-м диноде. Были взяты все события с $A_s > 50$ и $Fr \geq 1$. Была найдена dt , обозначающая промежуток времени в пределах которого события, происходящие на 7-м и 12-м динодах, считаются за одно, зарегистрированное на двух динодах. В работе $dt = 15$ мс.

С помощью dt были отфильтрованы события с 7-го динода. Из этих событий были получены значения коэффициентов пересчета для каждого детектора, если таких значений было больше двух и сумма коэффициентов превышала три для одного детектора, то значения для одного детектора усреднялись и выводились в .txt файл.

3 НАСТРОЙКА ДЕТЕКТОРОВ

1 ПРОБЛЕМНЫЕ ДЕТЕКТОРЫ

В ходе данной работы с помощью созданного программного обеспечения были выявлены проблемные детекторы в 1-м и 2-м кластере. Детекторы считались проблемными если:

- Число событий, отображенных как нейтрон, при самозапуске кластера у них было занижено, об этом же свидетельствовал высокий темновой ток у ФЭУ
- Число событий, отображенных 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

Также была доступна информация на каких детекторах у ФЭУ повышенный темновой ток. Изменение в их работе после смены фотоэлектронного умножителя можно так же отследить на графиках

2 РЕМОНТНЫЕ РАБОТЫ

После обнаружения проблем у детекторов на них производились ремонтные работы, которые хорошо отслеживаются на графиках паспорта 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 15 ФЭУ, были подготовлены и заменены 7 сборок с ФЭУ. Остальные были отброшены либо из-за большого темнового тока, либо из-за неподходящего напряжения.

Далее детекторы 1-го кластера - P1, детекторы 2-го кластера - P2.

2.1 РЕМОНТНЫЕ РАБОТЫ НА ПЕРВОМ КЛАСТЕРЕ

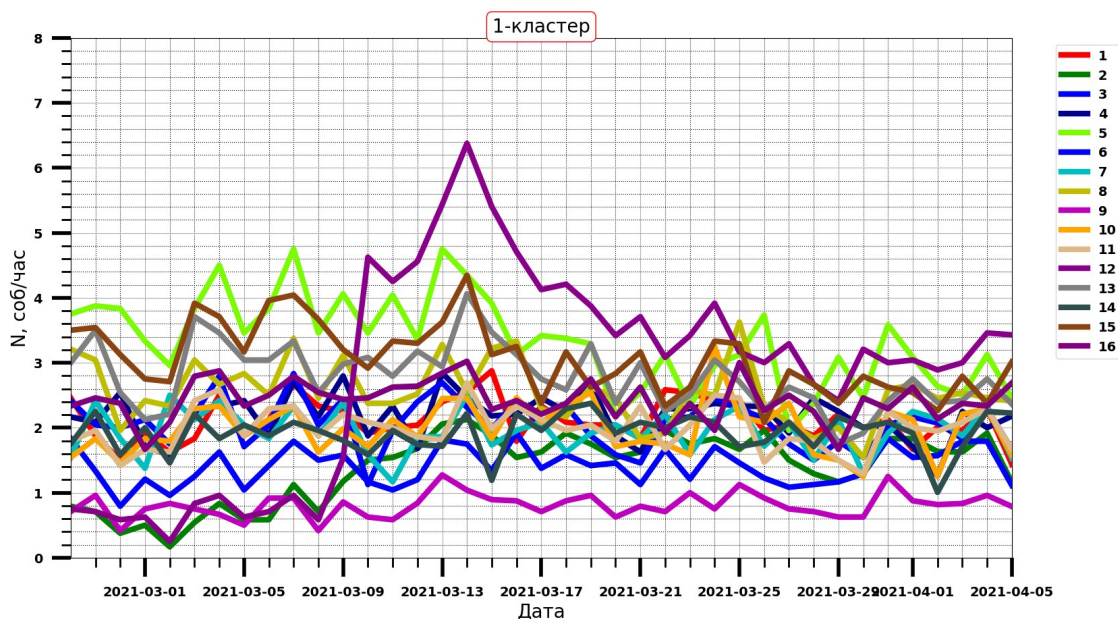


Рисунок 3.1 — Скорость счета детекторов в 1-м кластере с $Fr \geq 2$, $A_3 > 5$ за 26.02.21-05.04.21

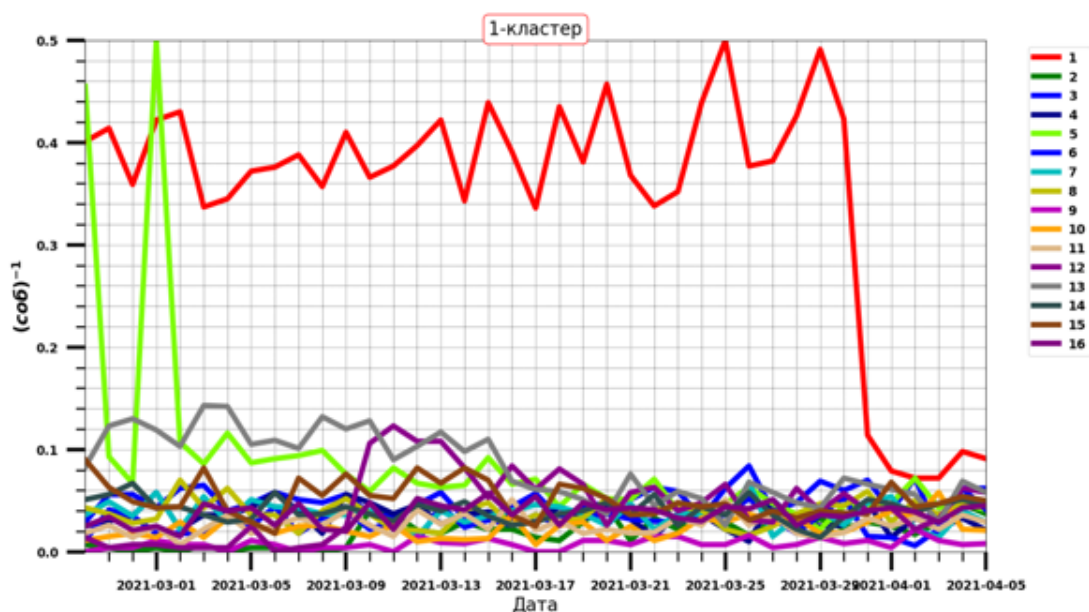


Рисунок 3.2 — Число событий, отобранных как нейтрон, при самозапуске 1-го кластера за 26.02.21-05.04.21

Список проведенных работ:

- У всех детекторов с большим темновым током (P1-12, P1-02) заменены ФЭУ. На графиках 3.1, 3.2 08.03.21 линии P1-02 и P1-12 пошли вверх. У P1-13 не было критического темного тока, но его достаточно для замены ФЭУ. Поэтому замена ФЭУ на P1-13 не сильно сказалась на приведенных графиках.

- 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. Засчет этого на графиках они вернулись к стандартному положению.
- На P1-09 увеличено напряжение питания делителя ФЭУ до предела, но показатели P1-09 на графиках 3.1, 3.2 низки по сравнению с остальными детекторами кластера. Поэтому на P1-09 будет перепаян резистор за счет этого произойдет нужное увеличение напряжения.

Лучше всего виден результат проведенных работ на графиках амплитудного распределения сигналов. Видно в мае, в отличие от апреля, все графики находятся в одном пучке в стандартном положении. Отклонение только у P1-09 по причинам, описанным выше.

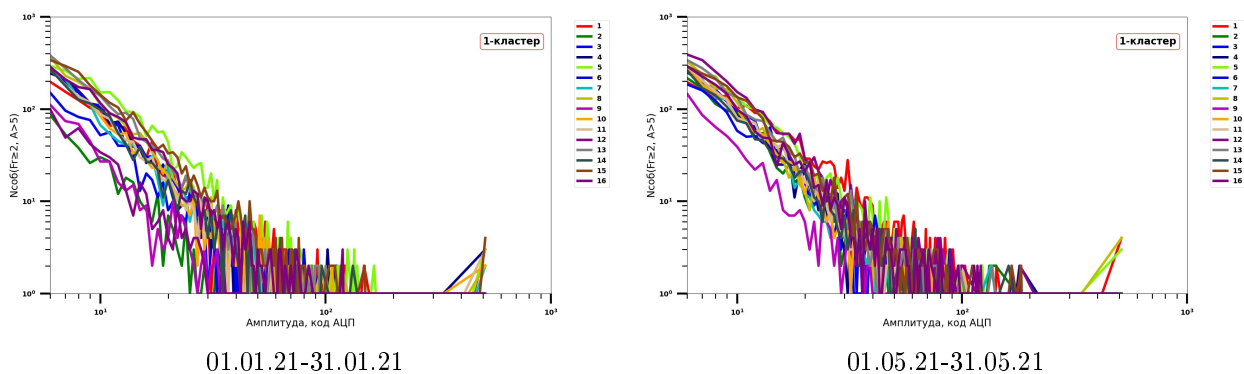


Рисунок 3.3 — Амплитудное распределение сигналов от событий с характеристиками электромагнитной компоненты $Fr \geq 2$ и $A_s > 5$, 1-й кластер

2.2 РЕМОНТНЫЕ РАБОТЫ НА ВТОРОМ КЛАСТЕРЕ

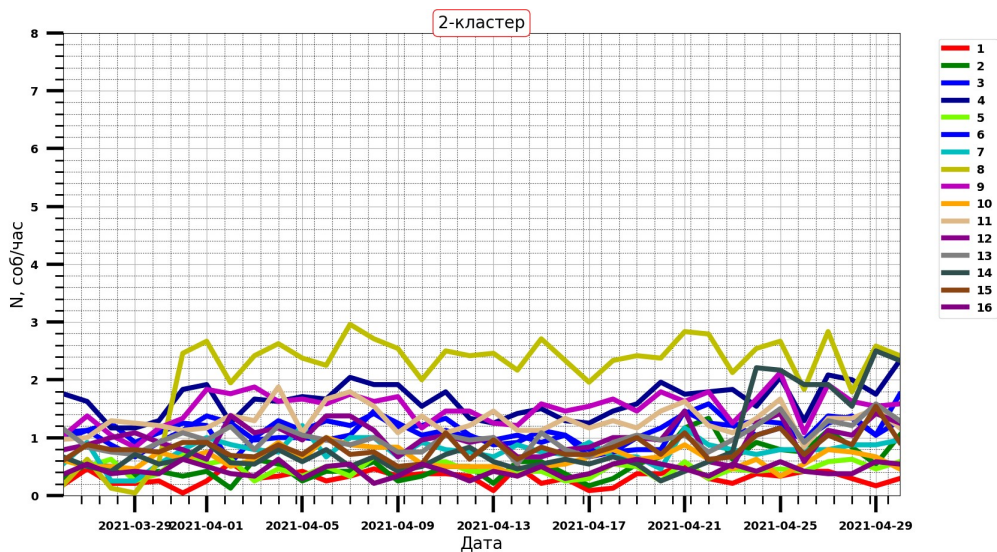


Рисунок 3.4 — Скорость счета детекторов в 2-м кластере с $Fr \geq 2$, $A_s > 5$ за 26.03.21-30.04.21

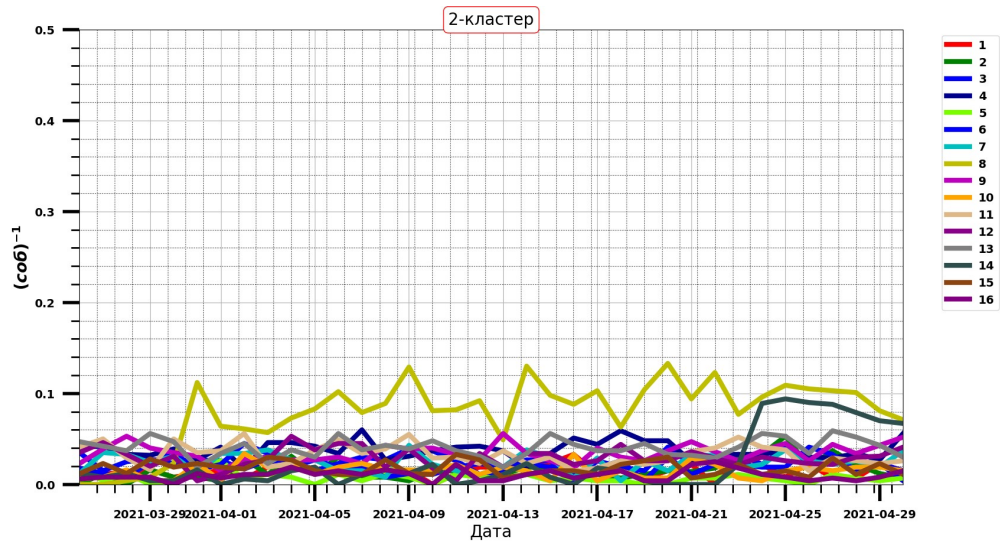


Рисунок 3.5 — Число событий, отобранных как нейтрон, при самозапуске 2-го кластера за 26.03.21-30.04.21

Список проведенных работ:

- У всех детекторов с большим темновым током (P2-08, P2-14, P2-02) заменены ФЭУ. На графиках 3.4, 3.5 29.03.21 и 23.04.21 линии P2-08 и P2-14 детектора соответственно пошли вверх. У P2-02 также пошли вверх, но более плавно.

На графиках 3.6 видно, что распределения P2-08, P2-02 и P2-14 выровнялись по сравнению с остальными. У P2-08 присутствует повышенная эффективность, поэтому ему нужно немного уменьшить напряжение делителя для возвращения к стандартному значению.

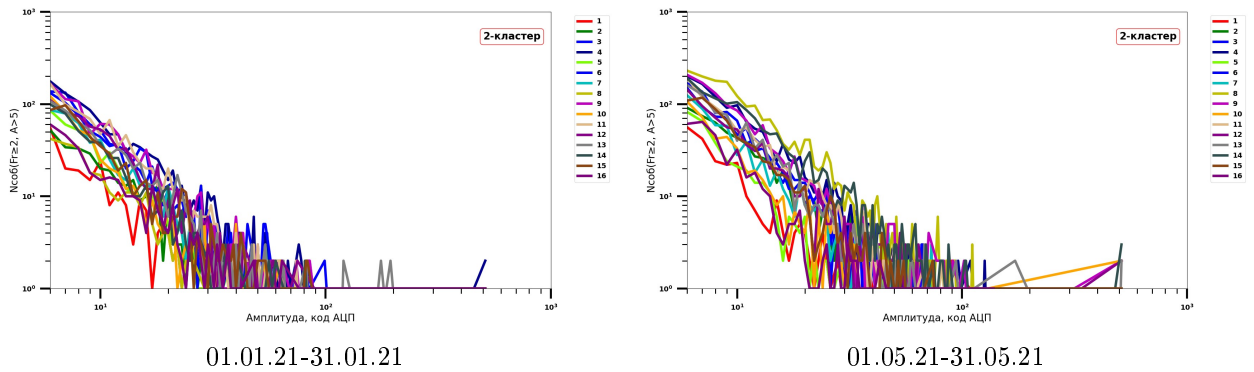


Рисунок 3.6 — Амплитудное распределение сигналов от событий с характеристиками электромагнитной компоненты $Fr \geq 2$ и $A_3 > 5$, 2-й кластер

4 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Обобщая работу предыдущего и этого семестра, получаются следующие выводы:
- Была проанализирована работа установки ПРИЗМА-32
 - Освоена работа с большим массивом данных первичном 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
 - Произведен анализ полученных паспортов, выявлены проблемные детекторы установки
 - Большая часть проблемных детекторов была починена, что также видно из полученных паспортов. Восстановление детекторов происходила с помощью данных ремонтных работ:
 - У всех детекторов с большим темновым током (P1-12, P1-02, P2-08, P2-14, P2-02) заменены ФЭУ.
 - P1-01 устранены шумы, для этого был заменен ФЭУ. Так же у P1-01 были подпаяны неисправные контакты.
 - На P1-05, P1-15, P1-12, P1-13 уменьшено напряжение питания делителя ФЭУ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Д.М.Громушкин. УСТАНОВКА ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ НЕЙТРОННОЙ КОМПОНЕНТЫ ШАЛ. Кандидатская диссертация, НИЯУ МИФИ / Д.М.Громушкин. — НИЯУ МИФИ, 2014.*
2. Мануал по библиотеке pandas. — 2021. — Дата обращения 02.06.2021. <https://pandas.pydata.org/docs/development/index.html>.
3. Мануал по библиотеке matplotlib. — 2021. — Дата обращения 02.06.2021. <https://matplotlib.org/stable/contents.html>.
4. Основные компоненты библиотеки docx. — 2021. — Дата обращения 02.06.2021. <https://python-docx.readthedocs.io/en/latest/index.html>.