

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Институт ядерной физики и технологий
Кафедра физики элементарных частиц №40

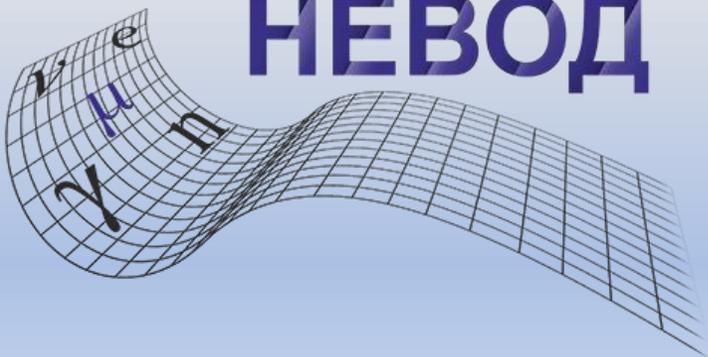


Работа выполнена в экспериментальном комплексе НЕВОД

Исследование нейтронов от широких атмосферных ливней по данным установки ПРИЗМА-32

Научно-образовательный центр

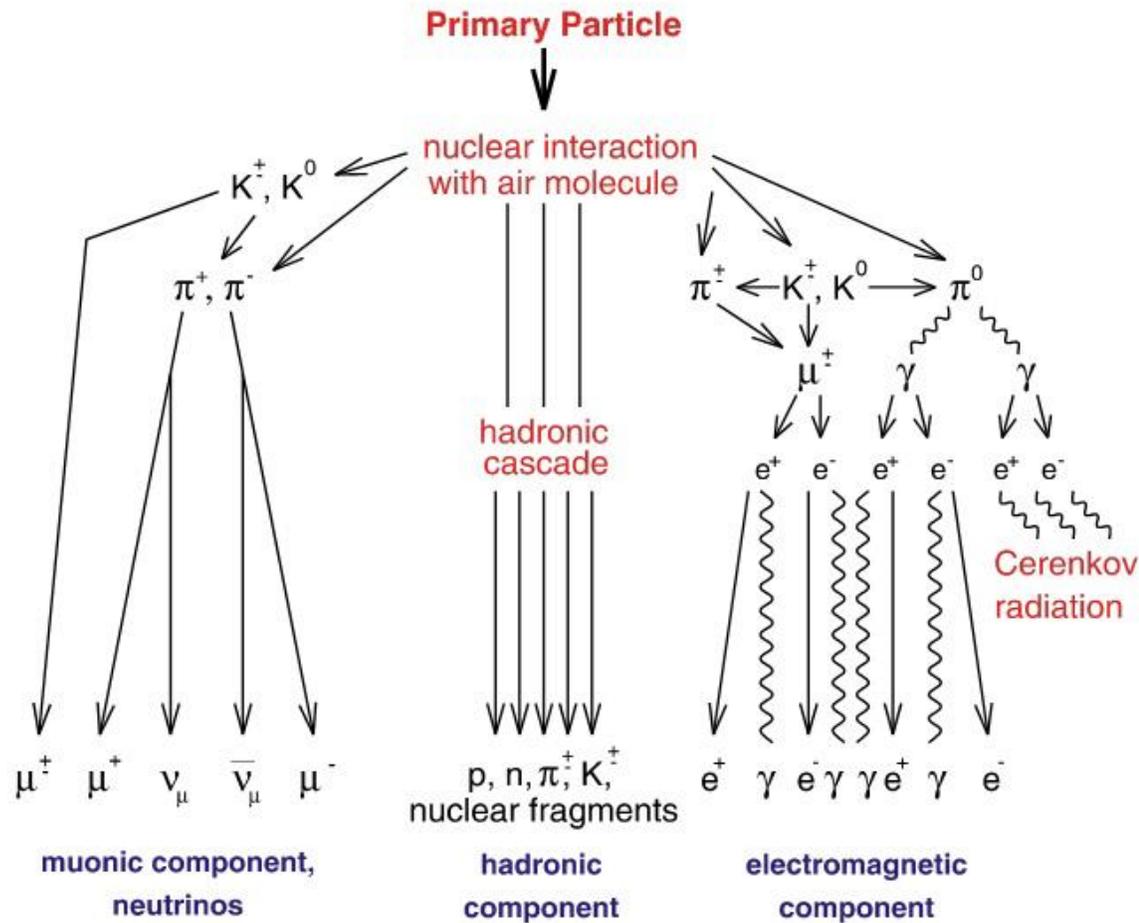
НЕВОД



Работу выполнил: студент бакалавриата Почестнев А.Д.
Научный руководитель: к.ф.-м.н. Громушкин Д.М.

30 июня 2022

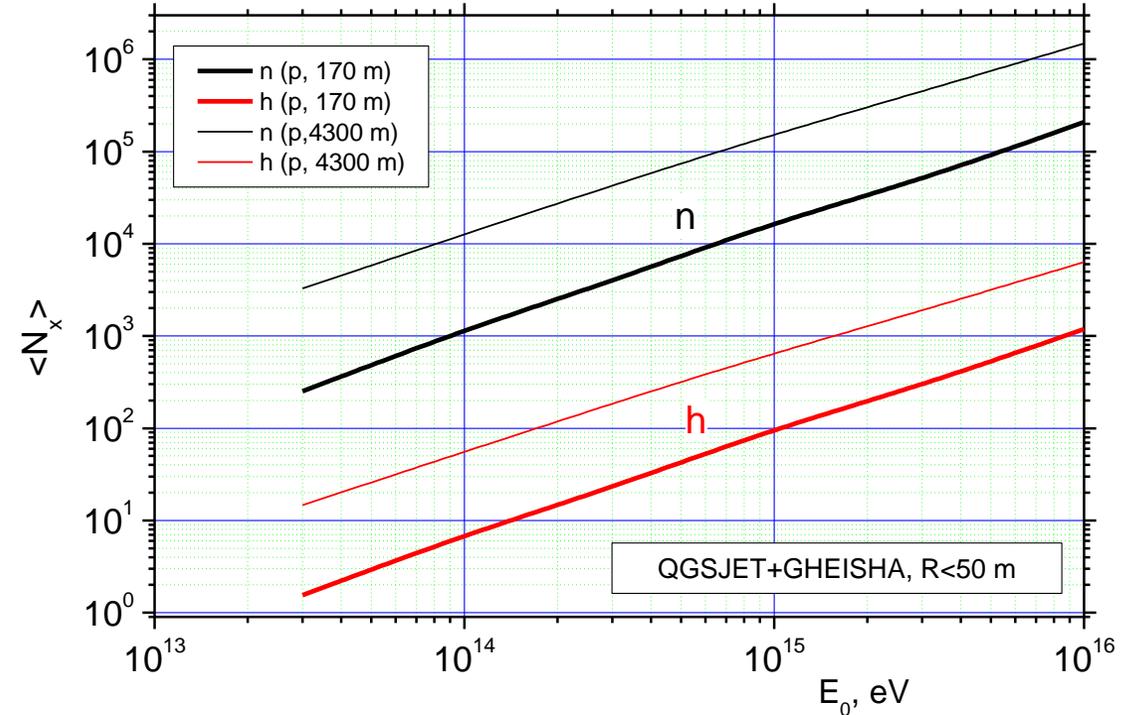
Введение



Широкий атмосферный ливень (ШАЛ) образуется в результате множественных каскадных реакций, происходящих в земной атмосфере, при попадании в нее первичной частицы из космоса.

Основные свойства ШАЛ формируются адронной компонентой.

Yu.V. Stenkin, V.V. Alekseenko, et al. Chinese Physics C, v. 37, No 1, (2013)



Для изучения нейтронов, сопровождающих ШАЛ, в 2012 г. в экспериментальном комплексе НЕВОД (НИЯУ МИФИ) была создана установка ПРИЗМА-32.

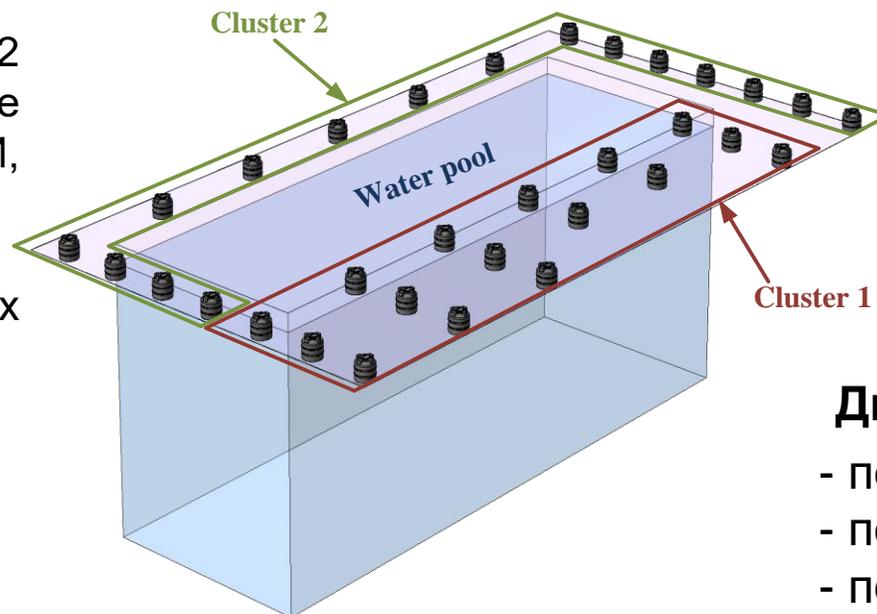
В работе исследован отклик установки ПРИЗМА-32 при регистрации широких атмосферных ливней за 2012-2021 гг.

Установка ПРИЗМА-32 для регистрации нейтронной компоненты ШАЛ

Установка ПРИЗМА-32 расположена на 4-м этаже здания ЭК НЕВОД (НИЯУ МИФИ, 170 м над уровнем моря).

Установка состоит из двух кластеров по 16 эн-детекторов.

Эн-детектор способен одновременно регистрировать электромагнитную компоненту и адронную, через регистрацию тепловых нейтронов.



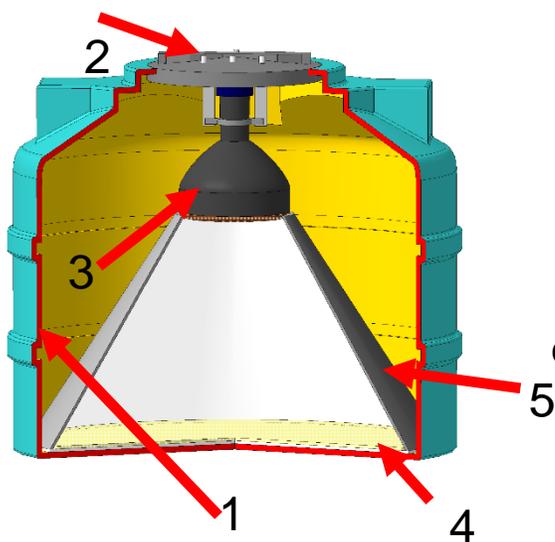
Характеристики:

- площадь эн-детектора: 0.36 м²;
- число эн-детекторов: 32;
- расположение: 2.5 × 5 м;
- охватываемая площадь: ~ 500 м².

Диапазон измерений:

- по заряженным частицам: 20 - 75000/дет.;
- по нейтронам: 1 - 1000/дет.;
- по первичной энергии: (0.3 – 30 ПэВ).

Эн-детектор



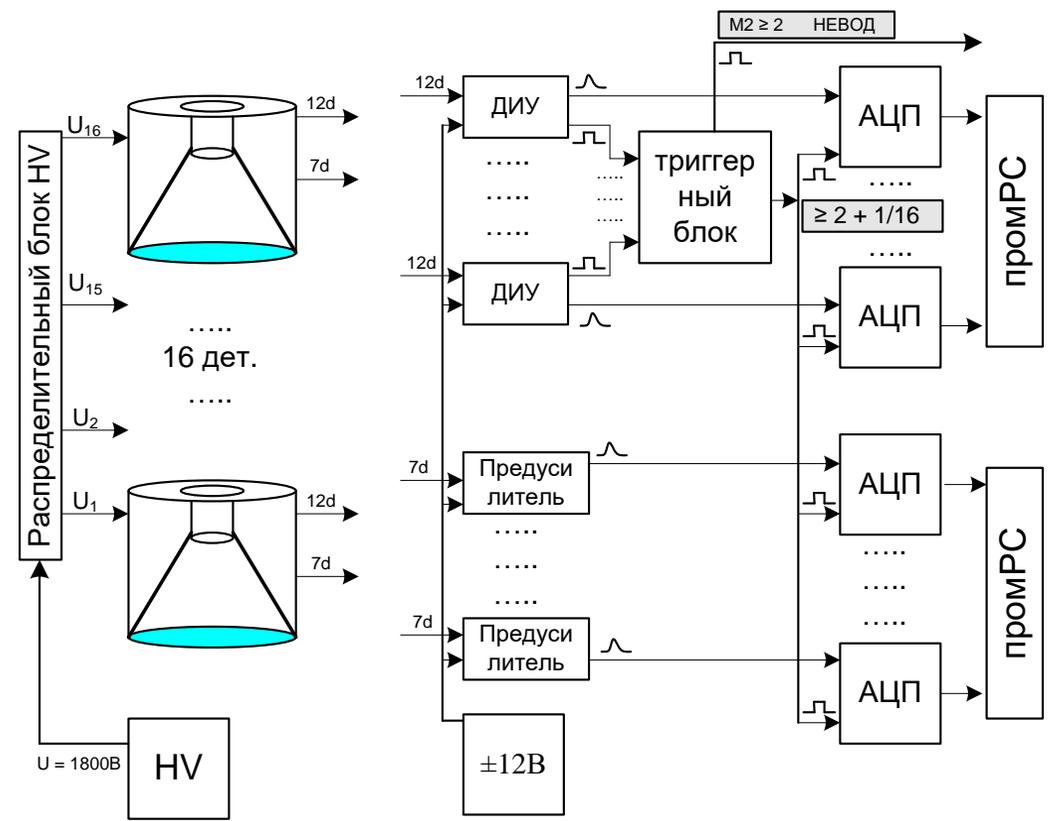
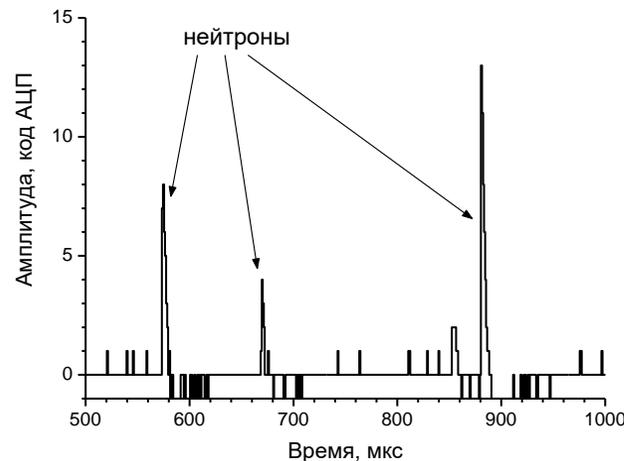
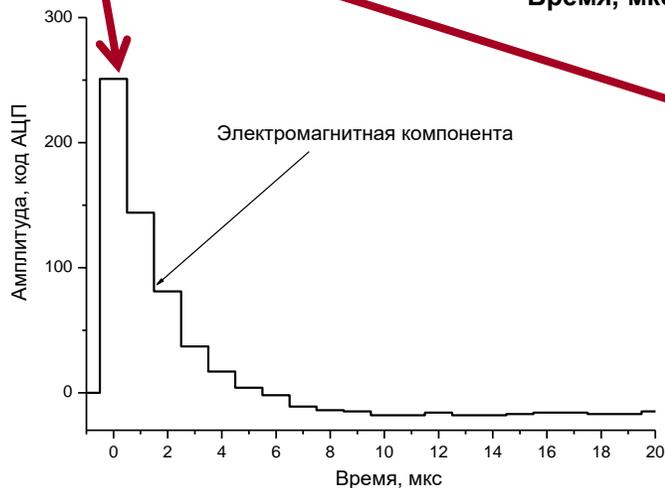
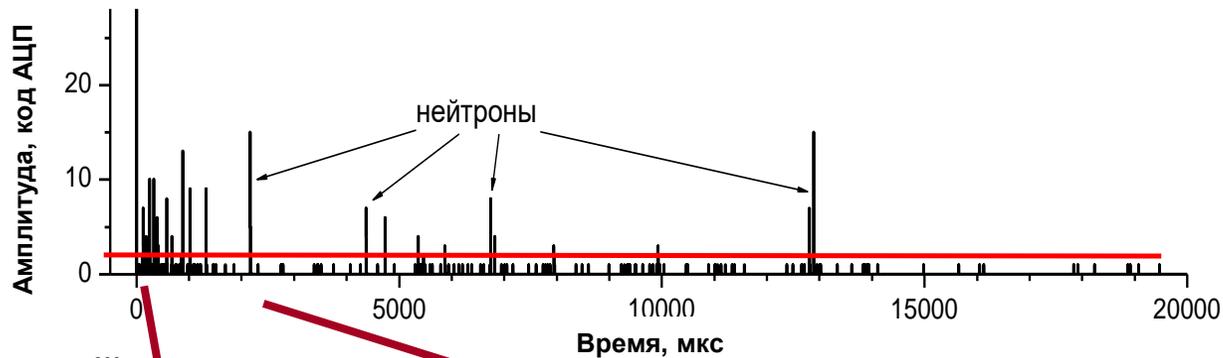
- 1 – Светоизолирующий корпус;
- 2 – Крышка;
- 3 – ФЭУ 200;
- 4 – Сцинтиллятор ZnS(Ag)+LiF
- 5 – Светособирающий конус

сцинтиллятор на основе сернистого цинка **ZnS(Ag) + LiF**, обогащенного до **90%** изотопом **⁶Li** :



Система регистрации кластера

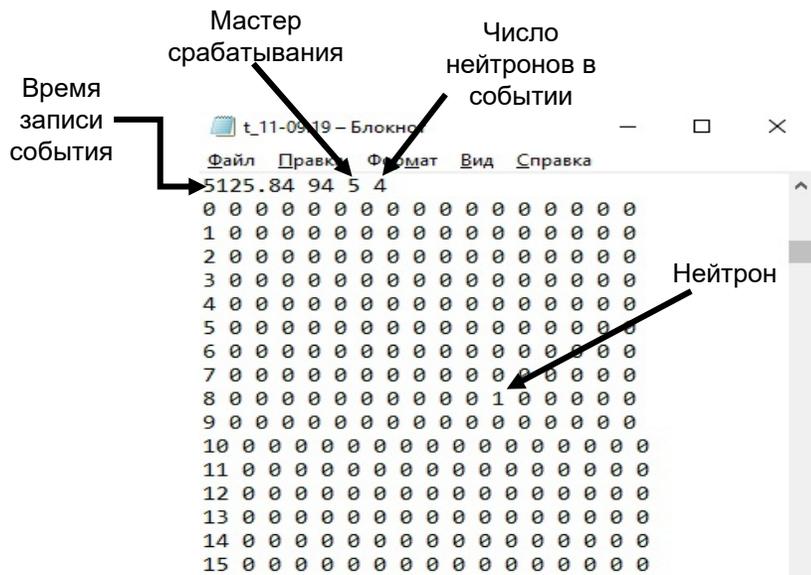
- Сбор информации осуществляется с 12-го и 7-го динода ФЭУ с интегрированием 1 мкс.
- Условие выработки триггера – срабатывание не менее двух детекторов в кластере ($A > 4$ мВ).
- Оцифровка сигналов - 20000 точек с шагом 1 мкс (FADC, ADLINK 10 bit PCI slot PCI-9810).



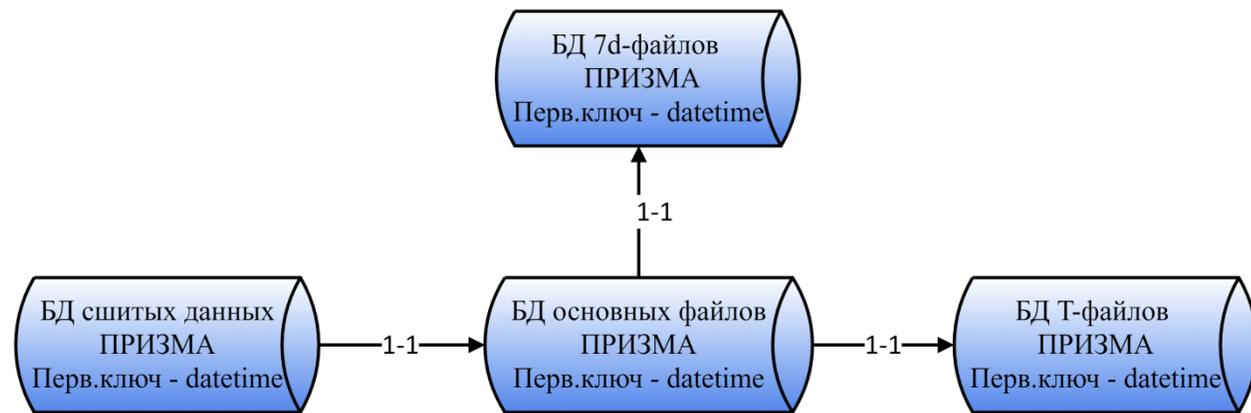
Регистрации электронной и нейтронной компонент ШАЛ

- Измерение отклика от энерговыделения электромагнитной компоненты.
- Определение числа нейтронов в течение 20 мс.

Создание базы данных ПРИЗМА-32



Пример записи файла, содержащего данные о времени регистрации нейтронов после прихода ШАЛ (шаг 100 мкс)



Структура базы данных ПРИЗМА-32

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

Структура таблицы t-файлов в базе данных

Преимущества БД:

- Хранение данных в одном месте, вместо использования множества разных файлов.
- Использование SQL, noSQL запросов для получения нужной информации.
- Упрощение сопоставления данных ПРИЗМА-32 с данными других установок.

Подготовка данных

Исключение периодов с нестабильной работой детекторов

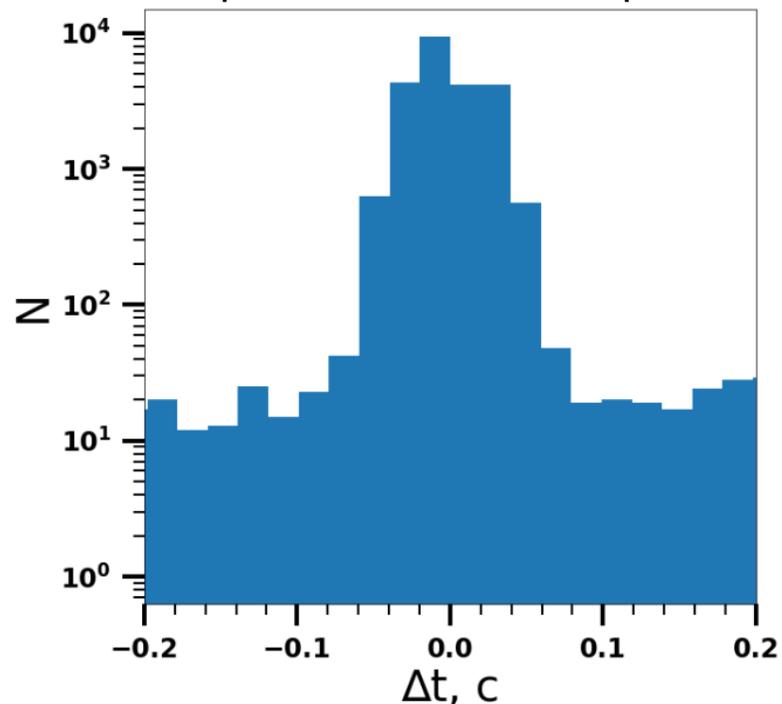


Критерии фильтрации:

- Число импульсов, отобранных как нейтрон, при самозапуске превышает одну десятую импульса на событие.
- Скорость счета событий с кратностью срабатывания ≥ 2 , $A_9 > 5$ код. АЦП от электромагнитной компоненты менее на 1 соб./час или более на 1.5 соб./час от медианного значения скорости счета детекторов в кластере.

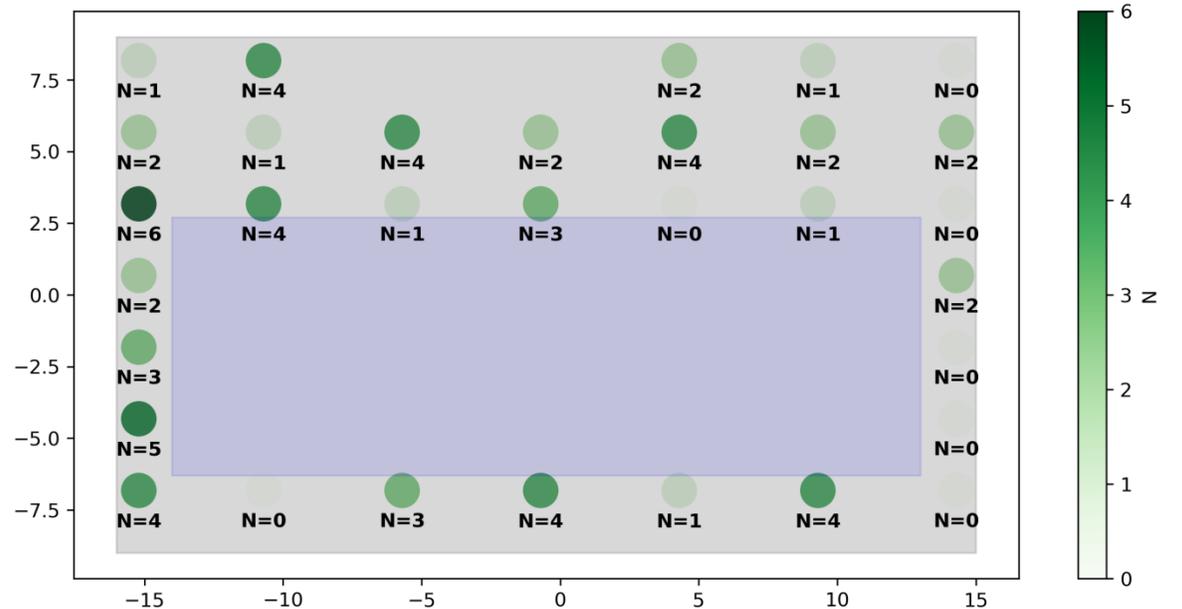
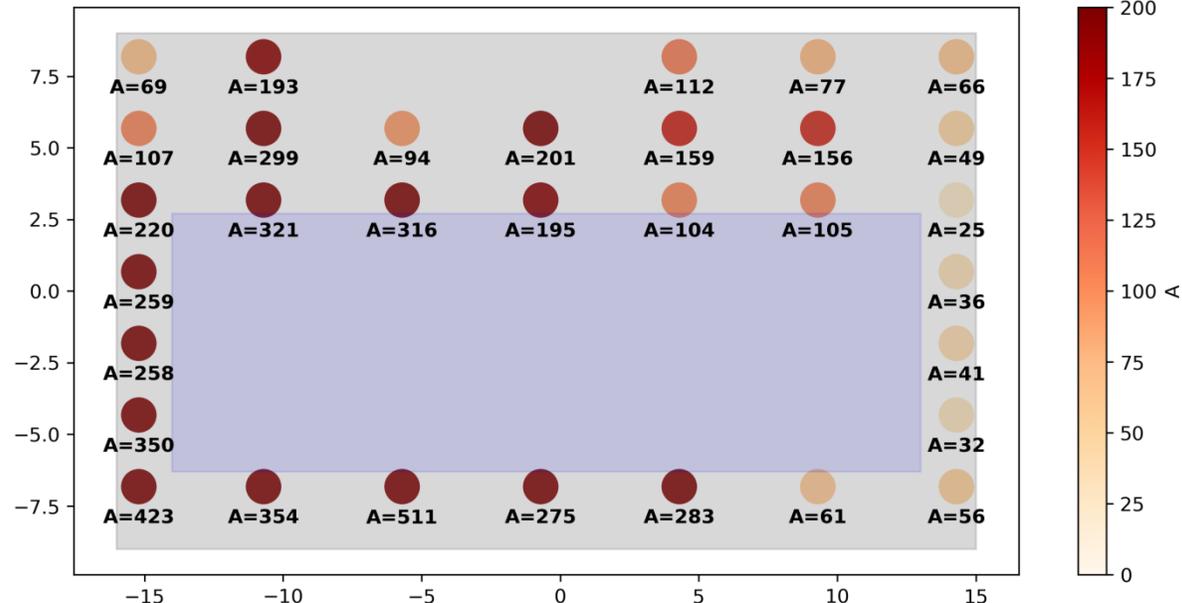
Регистрация событий одновременно двумя кластерами

Распределение разницы времен срабатывания кластеров



Отбирались события с кратностью ≥ 4 и $A_9 > 5$ код. АЦП Δt был принят 80 мс.

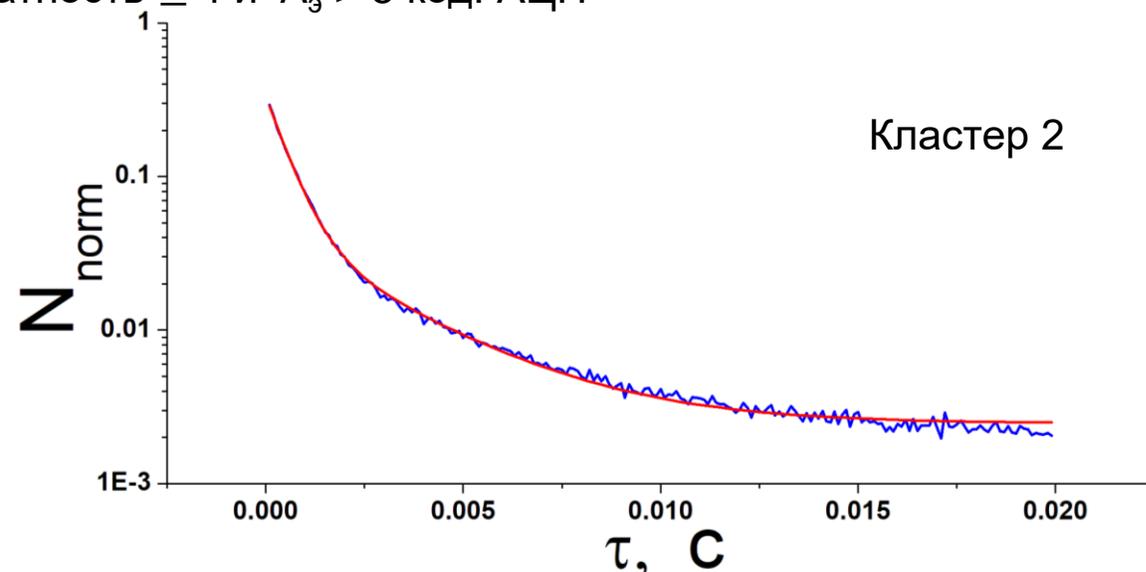
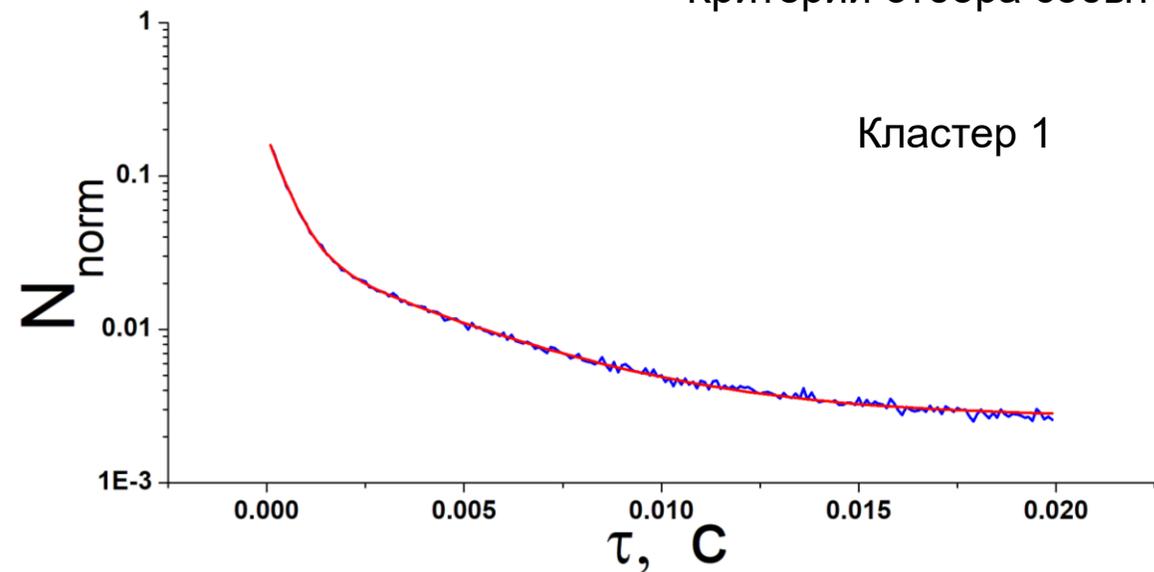
	1-й кластер	2-й кластер	1&2
$N_{\text{соб}}$	125516	68891	24754
N_n	298621	210537	207037



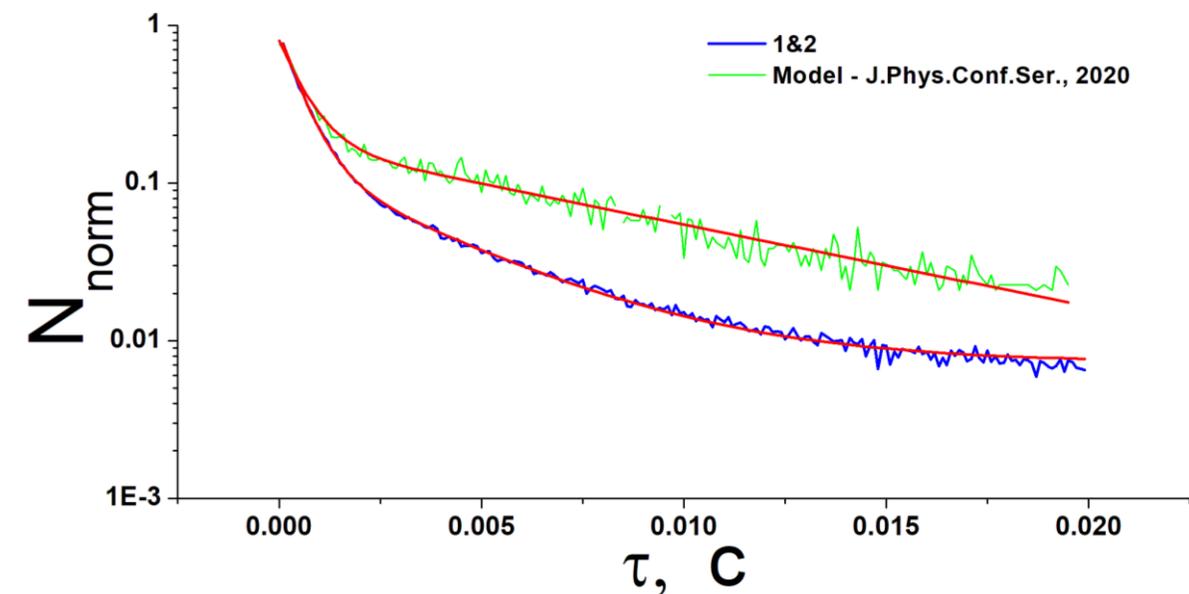
Пример регистрации события одновременно в двух кластерах: заряженные частицы (сверху) и нейтроны (снизу)

Временное распределение нейтронов

Критерий отбора событий: кратность ≥ 4 и $A_{\text{э}} > 5$ код. АЦП



При регистрации одновременно двумя кластерами



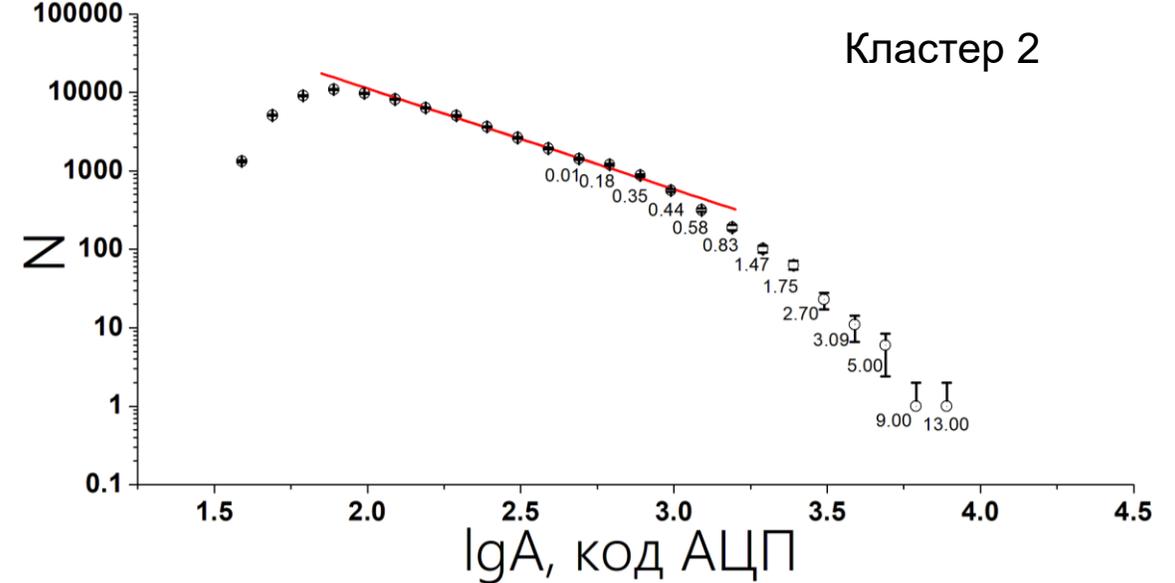
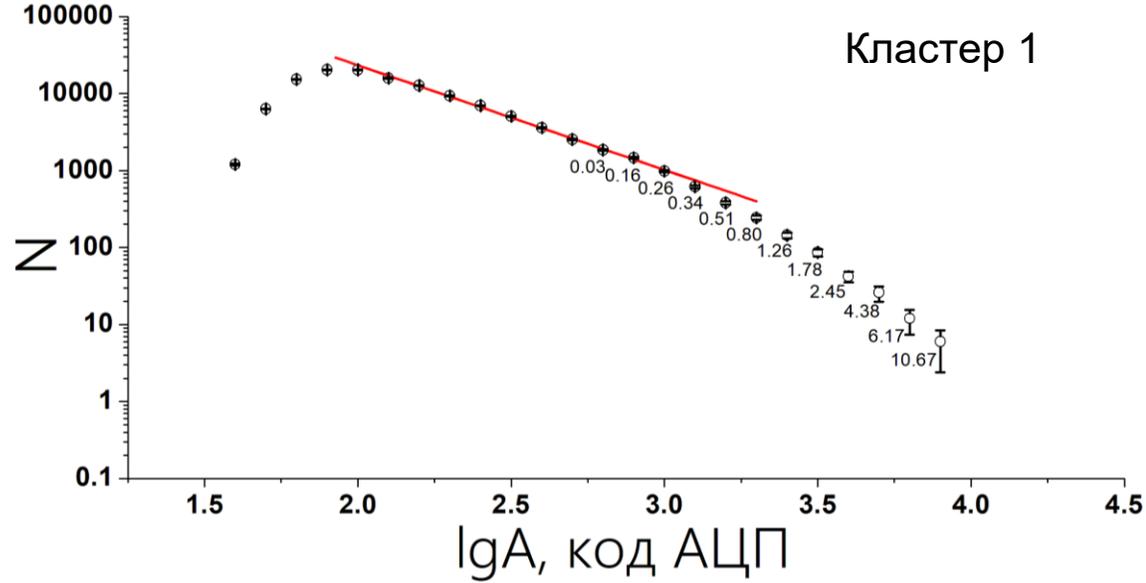
Полученные распределения можно описывать функцией:

$$y(t) = A_1 e^{-t/t_1} + A_2 e^{-t/t_2} + y_0, \text{ где}$$

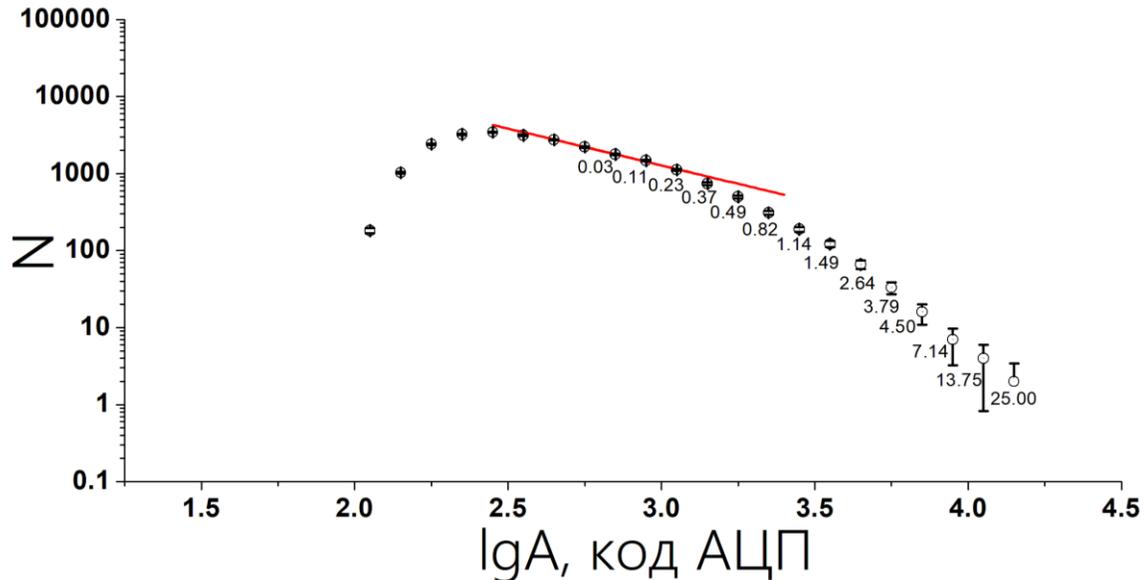
	$t_1, \text{ мс}$	$t_2, \text{ мс}$
1-й кластер	0.51 ± 0.01	3.78 ± 0.06
2-й кластер	0.53 ± 0.01	2.78 ± 0.09
1&2	0.53 ± 0.01	3.43 ± 0.07
Эксп. 1&2 - ЯФ, 2015	0.49 ± 0.01	3.44 ± 0.13
Модель - J.Phys.Conf.Ser., 2020	0.60 ± 0.02	7.40 ± 0.97

Спектр энерговыделения ШАЛ

Критерий отбора: события с кратностью ≥ 4 и $A_3 > 5$ код. АЦП



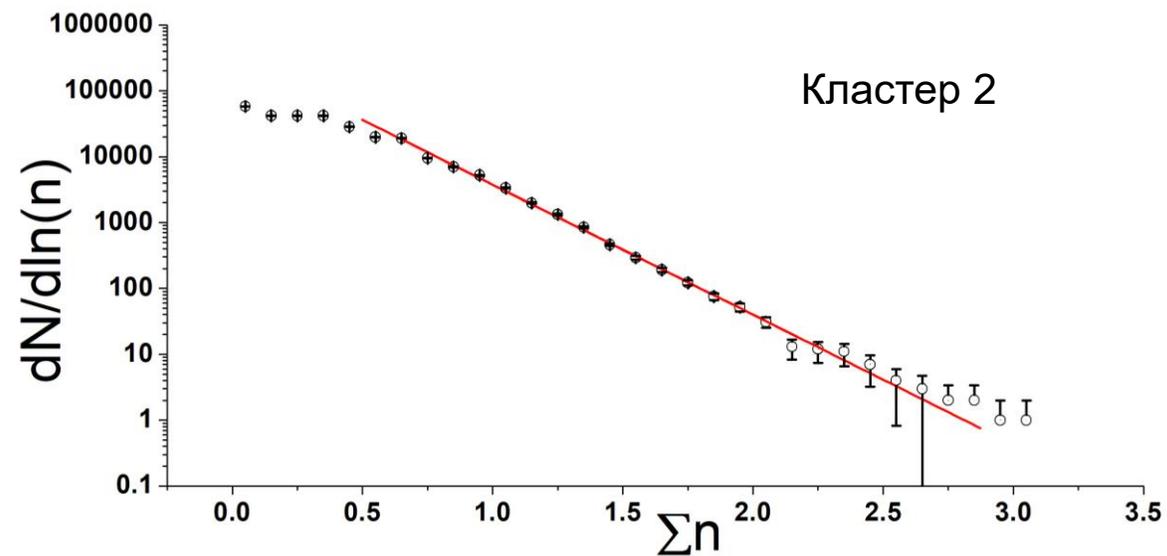
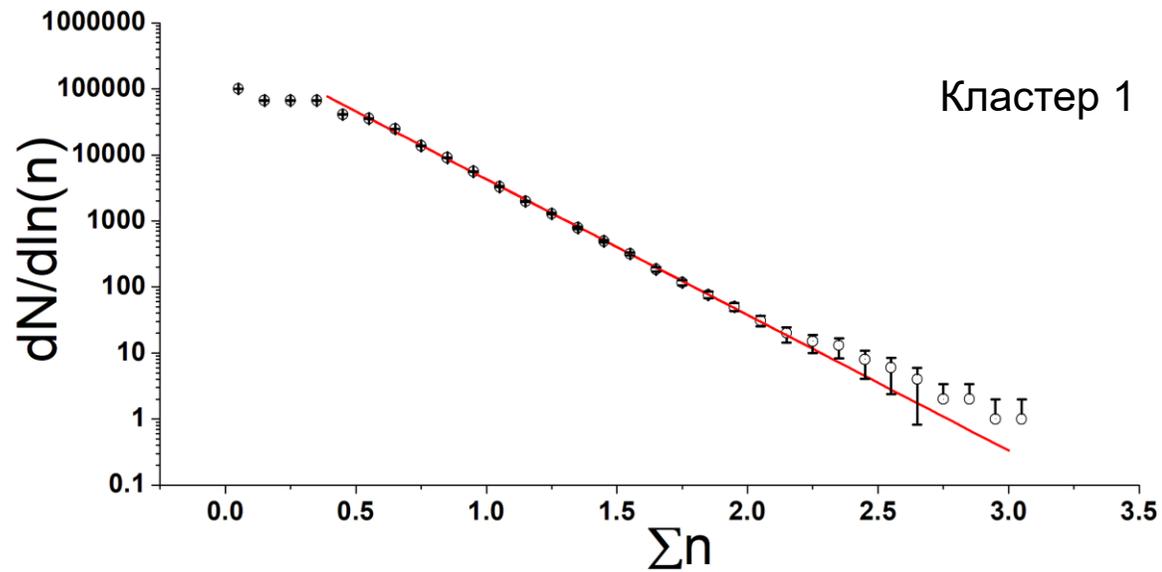
При регистрации одновременно двумя кластерами



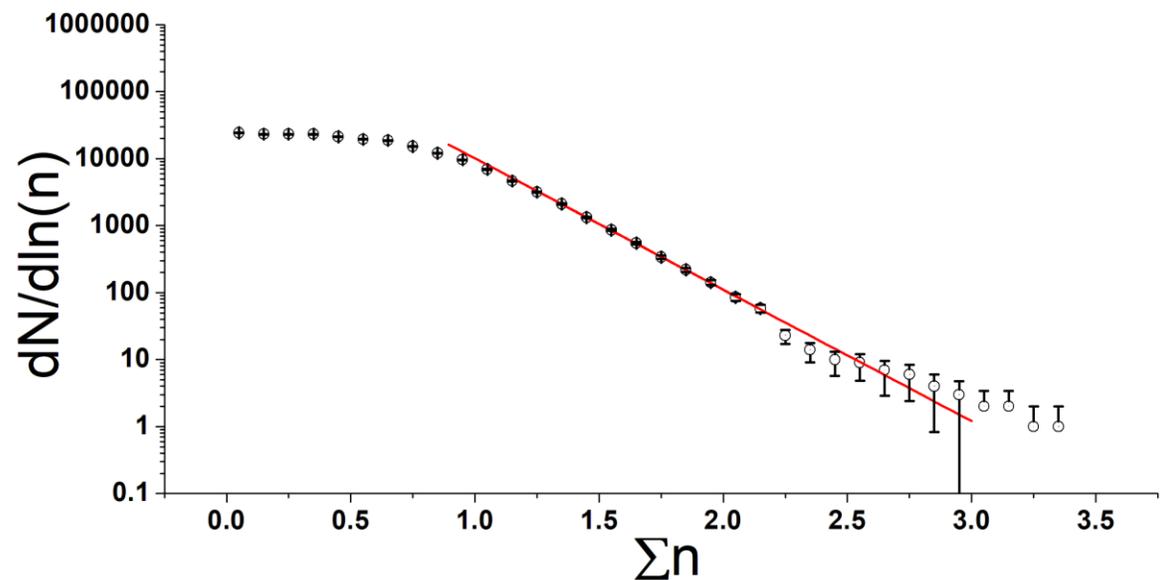
	Показатель наклона
1-й кластер	1.36 ± 0.02
2-й кластер	1.28 ± 0.03
1&2	1.15 ± 0.03
Эксп. 1&2 - Izv.RAN.Ser.Fiz., 2015	1.6

Интегральный спектр по числу нейтронов

Критерий отбора: события с кратностью ≥ 4 и $A_3 > 5$ код. АЦП



При регистрации одновременно двумя кластерами



	Показатель наклона
1-й кластер	2.05 ± 0.01
2-й кластер	1.98 ± 0.03
1&2	1.96 ± 0.01
Модель – Канд. дисс. / О.Б. Щеголев	1.95
KASCADE - 27th Int. Cosmic Ray Conf.	$1.90 \div 2.00$

Результаты

- Создано программное обеспечение для контроля работы установки ПРИЗМА-32.
- Спроектирована и создана база экспериментальных данных установки ПРИЗМА-32.
- Создан массив экспериментальных данных установки ПРИЗМА-32 с учетом стабильной работы детекторов за 2012-2021 гг.
- Проведена обработка данных за длительный период времени (2012-2021 гг.) работы установки ПРИЗМА-32. В результате которой получены:
 - Временные распределения тепловых нейтронов, которые можно описать функцией с двумя экспонентами с параметрами $t_1 = 0.53 \pm 0.01$ мс, $t_2 = 3.43 \pm 0.07$ мс.
 - Спектры энерговыделения заряженной компоненты ШАЛ с показателем наклона $K = 1.15 \pm 0.03$.
 - Интегральные спектры по числу зарегистрированных нейтронов с показателем наклона $K = 1.95 \pm 0.01$.

Апробация

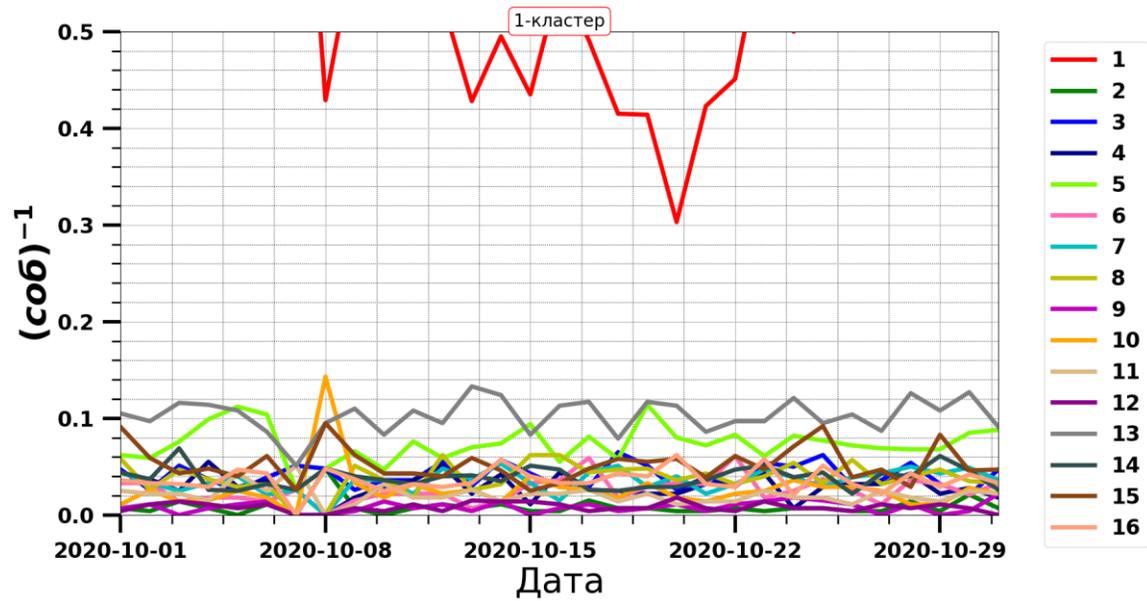
Доклады:

- Исследование нейтронов от широких атмосферных ливней по данным установки ПРИЗМА-32. IX Международной молодежной научной школы конференции «Современные проблемы физики и технологий» (МНШК – 2022)
- Результаты данной работы являются основой доклада -- Исследование нейтронов от широких атмосферных ливней по данным установки ПРИЗМА-32. 37 Всероссийская конференция по космическим лучам (ВККЛ – 2022)

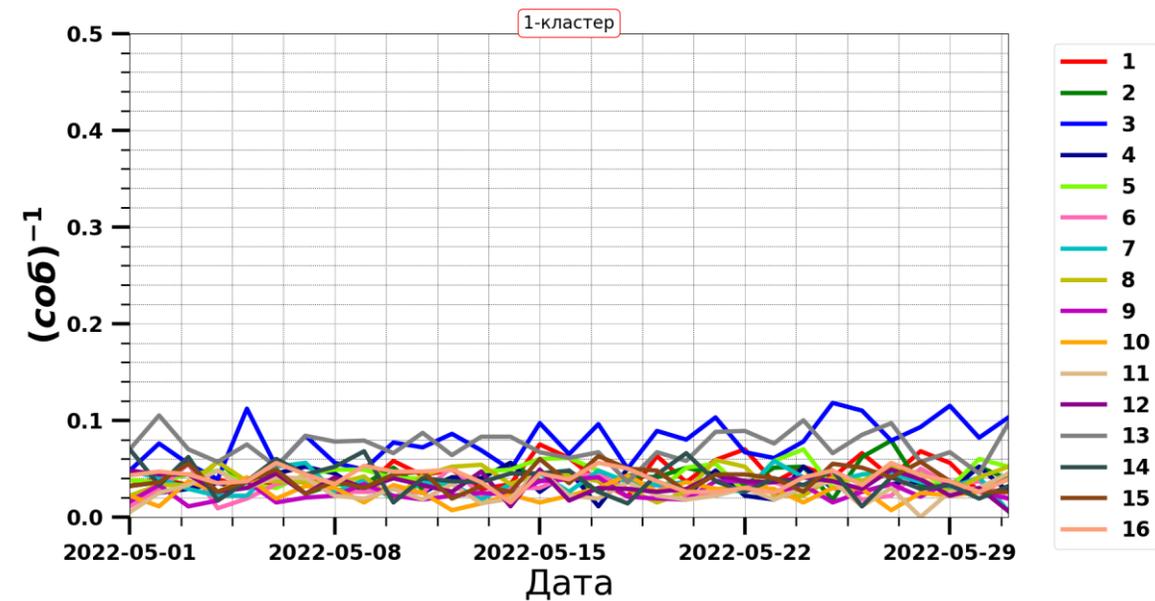
Публикации:

- Studying Characteristics of the Neutron Component of Extensive Air Showers Using Data from the URAN Array // Bull.Russ.Acad.Sci.Phys. 85 (2021) 4, 424-426
- Investigation of the EAS neutron component with the URAN array: First simulation and experimental results // J.Phys.Conf.Ser. 1690 (2020) 1, 012071

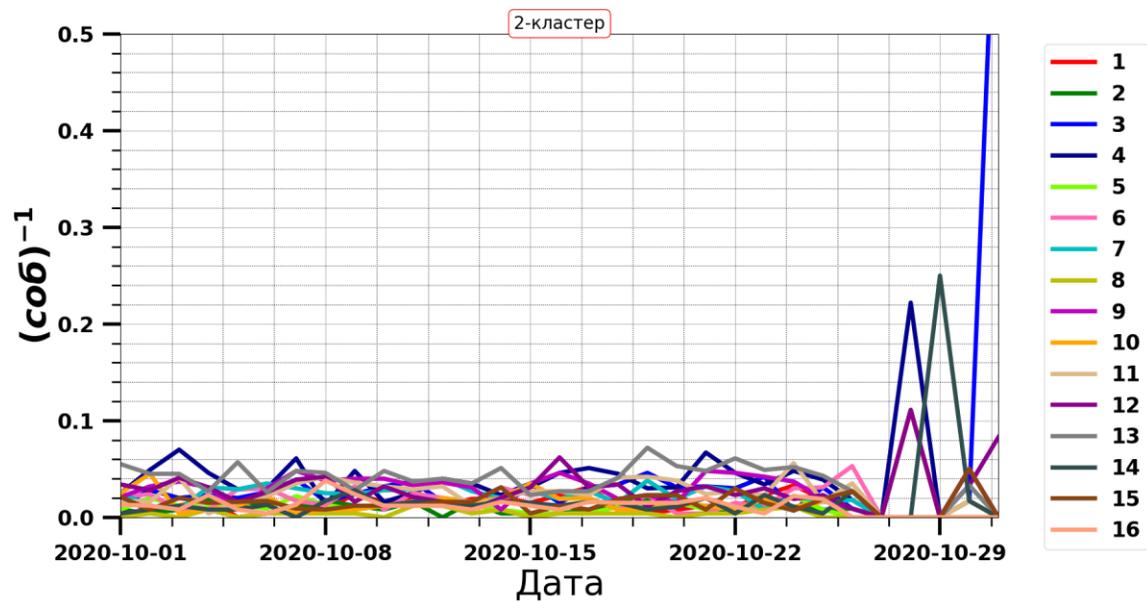
Спасибо за внимание!



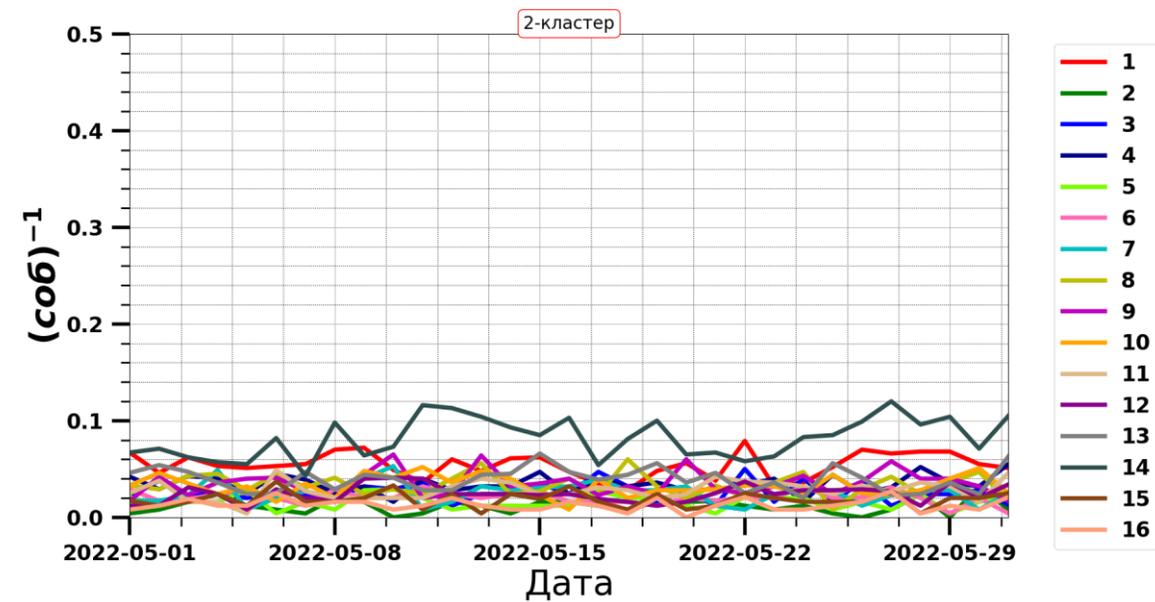
01.10.20 — 31.10.20



01.05.22 — 31.05.22

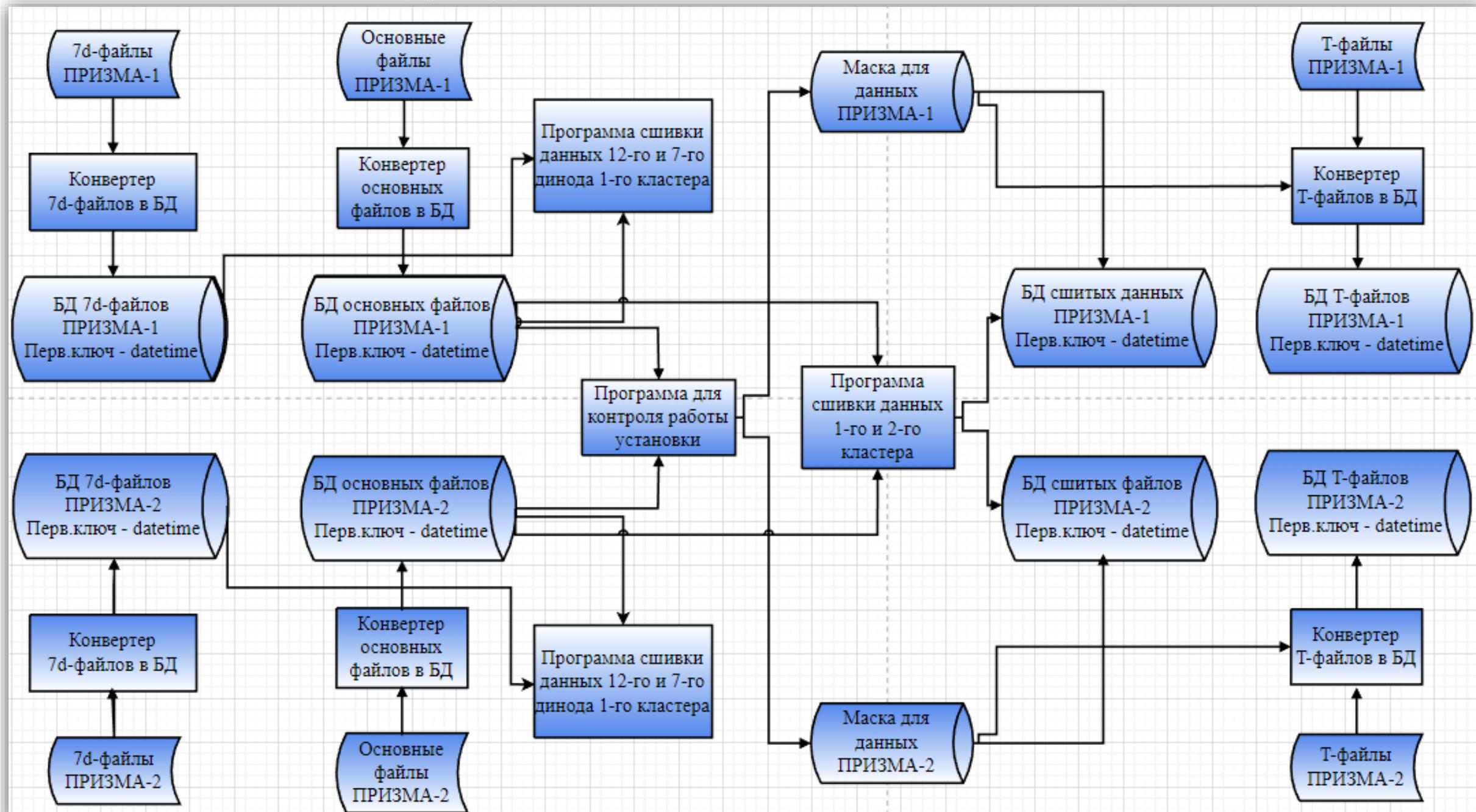


01.10.20 — 31.10.20

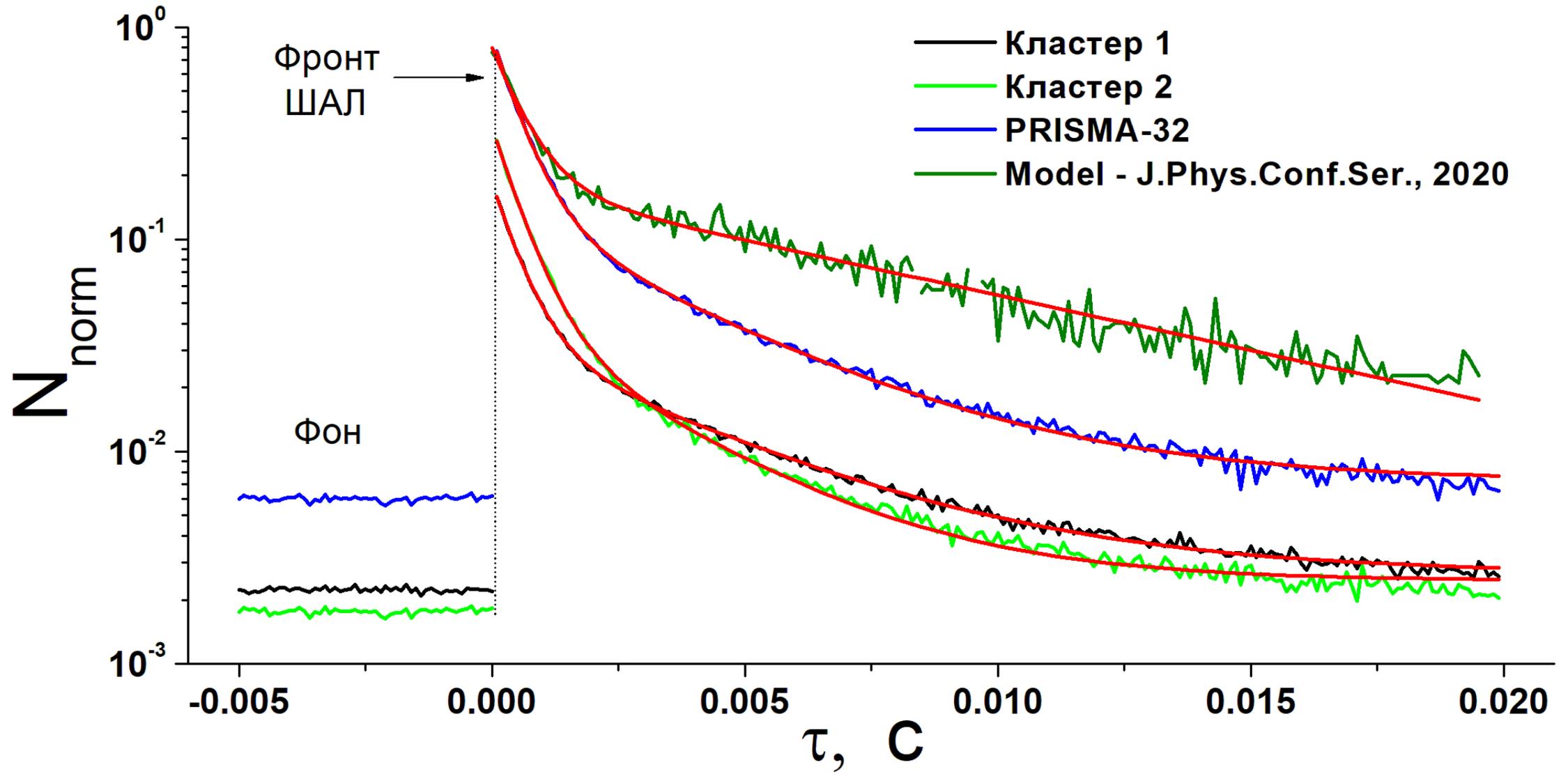


01.05.22 — 31.05.22

Структура подготовки данных к анализу

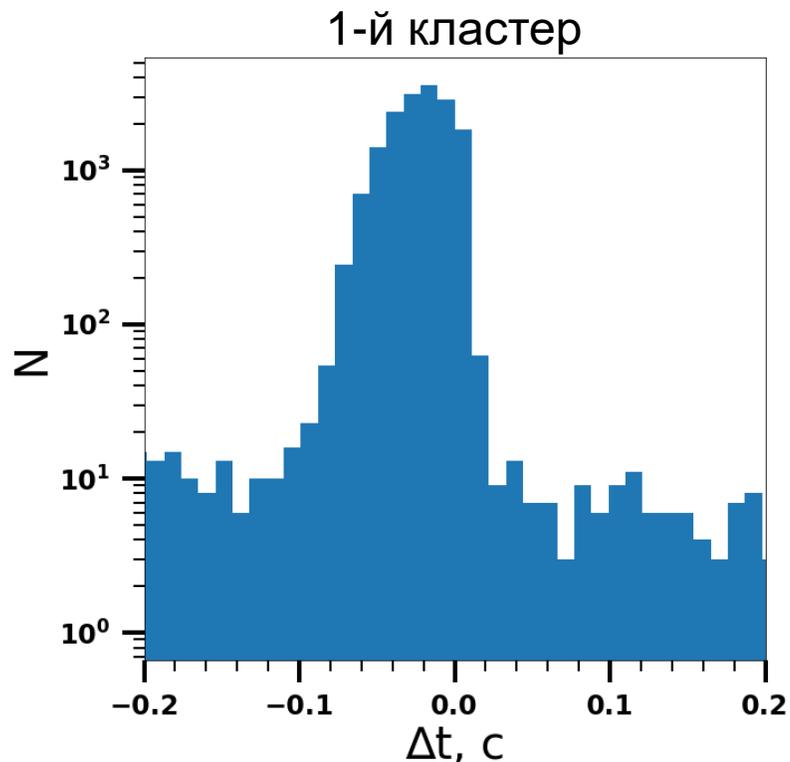


Временное распределение нейтронов

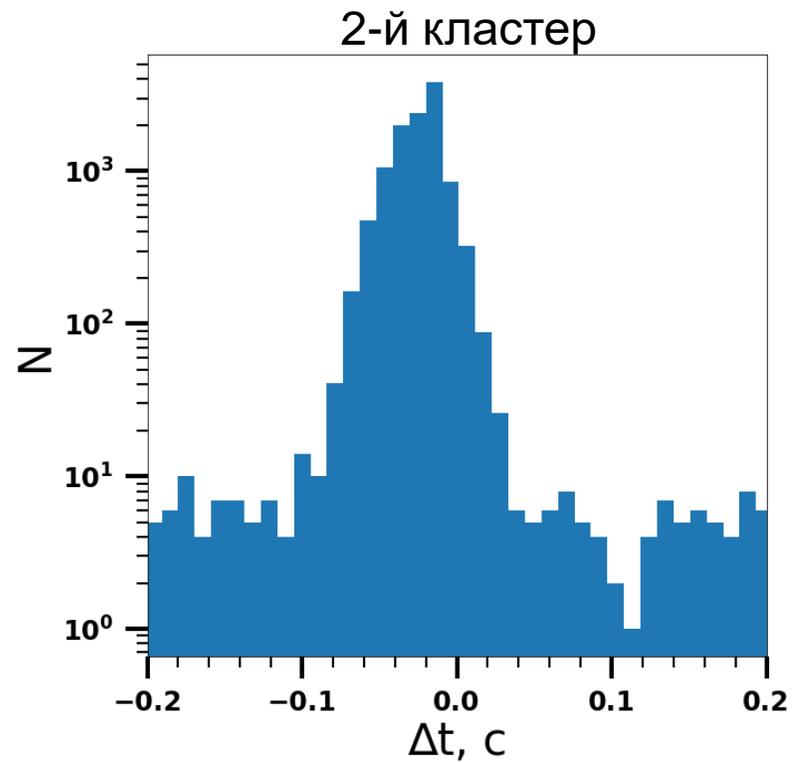


Седьмой динод

Распределение разницы времен срабатывания динодов



Δt был принят 60 мс



Δt был принят 80 мс

Отбирались события, зарегистрированные 12-м динодом,
с кратностью ≥ 4 и $A_9 > 10$ код. АЦП

	1-ый кластер	2-ой кластер
$N_{\text{соб}}$	16407	11306

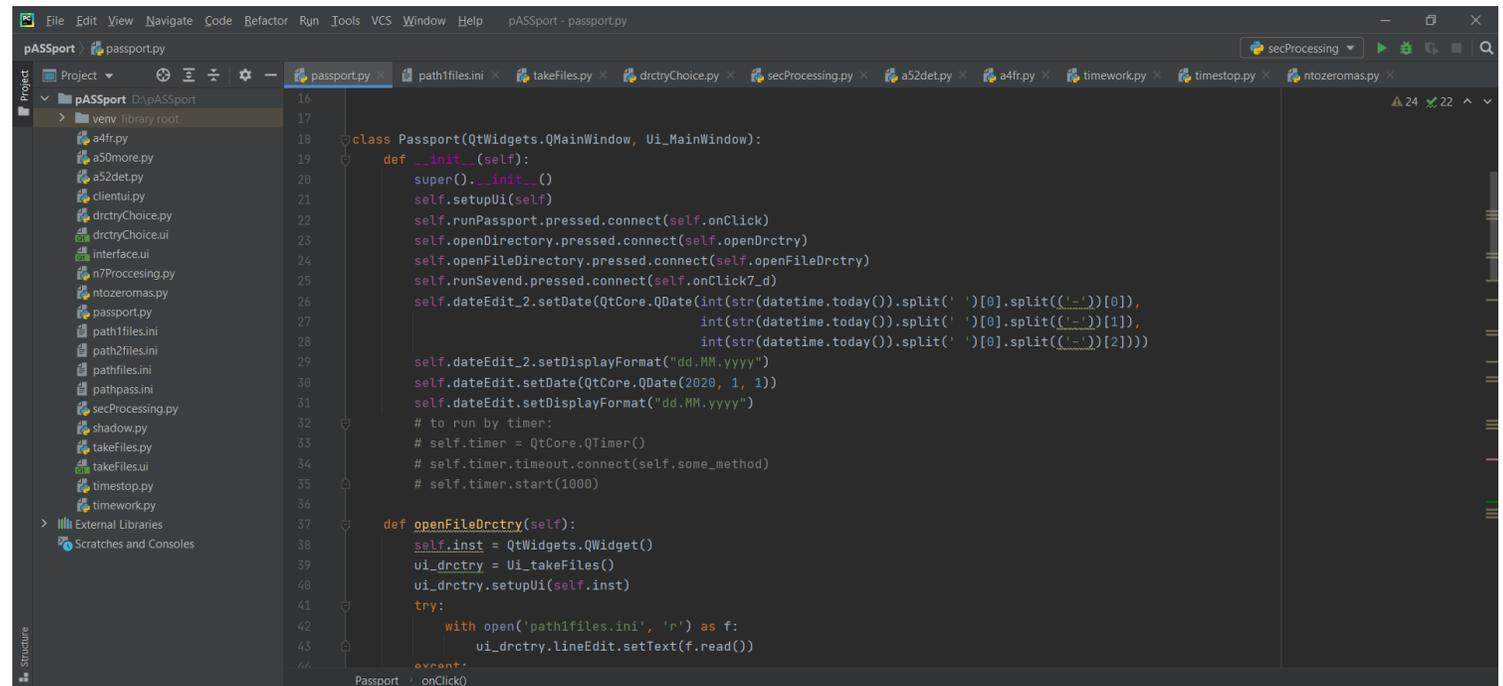
Таблица коэффициентов пересчета

Детектор	1-й кл.	2-й кл.
1	-	11.23 ± 2.74
2	-	15.80 ± 5.11
3	-	10.82 ± 1.99
4	-	15.46 ± 3.16
5	-	24.64 ± 4.45
6	-	18.14 ± 4.64
7	16.47 ± 2.50	16.52 ± 2.64
8	9.25 ± 1.96	11.69 ± 5.87
9	-	22.50 ± 3.63
10	-	13.89 ± 1.59
11	-	11.07 ± 2.14
12	13.44 ± 3.65	27.01 ± 5.29
13	25.25 ± 4.76	24.97 ± 5.77
14	18.19 ± 4.35	10.48 ± 2.76
15	17.35 ± 4.18	11.67 ± 2.19
16	20.41 ± 3.91	-

ПО

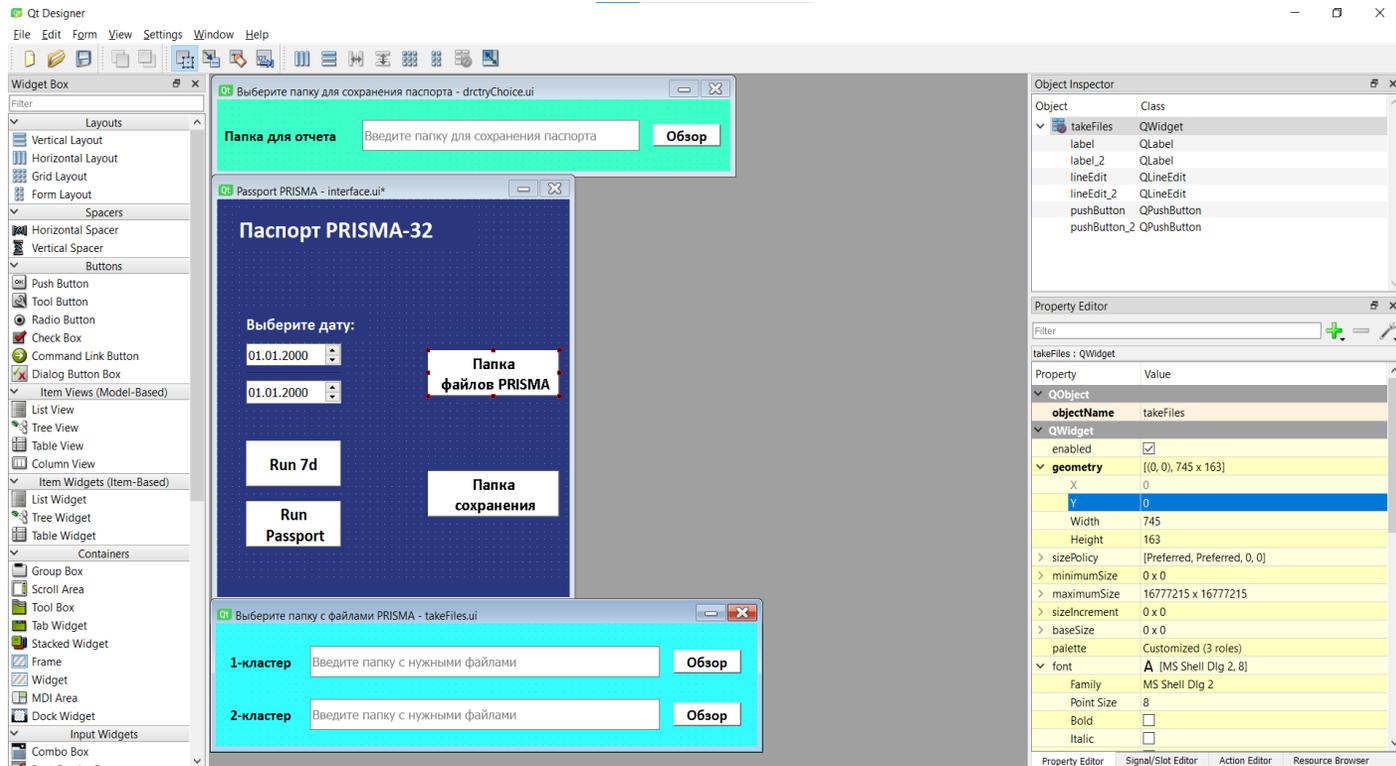
Для создания программы автоматизации использовался python. Если точнее, то:

1. Обработка данных: pandas, SciPy, numpy
2. Построение графиков: matplotlib
3. Верстка docx-файла: python-docx
4. Создание интерфейса: pyqt6

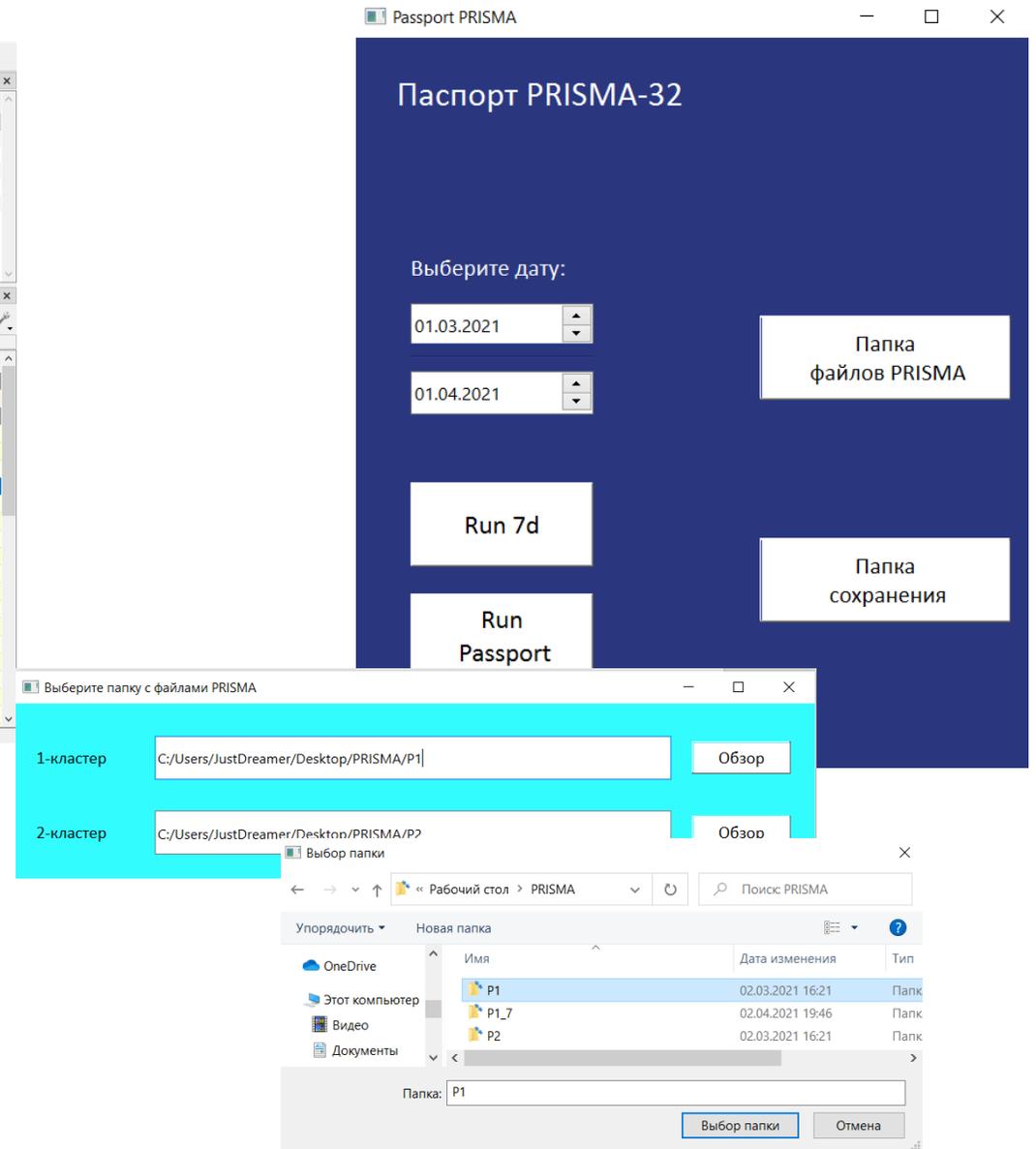


```
16
17
18 class Passport(QtWidgets.QMainWindow, Ui_MainWindow):
19     def __init__(self):
20         super().__init__()
21         self.setupUi(self)
22         self.runPassport.pressed.connect(self.onClick)
23         self.openDirectory.pressed.connect(self.openDrctry)
24         self.openFileDirectory.pressed.connect(self.openFileDrctry)
25         self.runSevend.pressed.connect(self.onClick7_d)
26         self.dateEdit_2.setDate(QDate(int(str(datetime.today()).split(' ')[0].split('-')[0]),
27                                     int(str(datetime.today()).split(' ')[0].split('-')[1]),
28                                     int(str(datetime.today()).split(' ')[0].split('-')[2])))
29         self.dateEdit_2.setDisplayFormat("dd.MM.yyyy")
30         self.dateEdit.setDate(QDate(2020, 1, 1))
31         self.dateEdit.setDisplayFormat("dd.MM.yyyy")
32         # to run by timer:
33         # self.timer = QTimer()
34         # self.timer.timeout.connect(self.some_method)
35         # self.timer.start(1000)
36
37     def openFileDrctry(self):
38         self.inst = QtWidgets.QWidget()
39         ui_drctry = Ui_takeFiles()
40         ui_drctry.setupUi(self.inst)
41         try:
42             with open('path1files.ini', 'r') as f:
43                 ui_drctry.lineEdit.setText(f.read())
44         except:
45             pass
46         self.inst.onClick()
```

Интерфейс



Сделан в QtDesigner и запрограммирован
в Python с помощью библиотеки PyQt6



Справка о работе установки ПРИЗМА-32 в период с 01.03.2022 по 31.03.2022

Таблица 1: Время работы установки ПРИЗМА-32.

№ кластера	Экспозиции, ч.	Календарное время, ч.	Экспозиция, %
1	733.67	744	98.612%
2	744.0	744	100.0%
1&2	733.67	744	98.612%

Таблица 2: Сводная таблица остановок и работ установки ПРИЗМА-32.

№ кластера	Время простоя		Кол-во потерянных минут (период)	Примечание
	с	по		
1	2022-03-05 13:40	2022-03-05 14:05	25	
1	2022-03-14 09:40	2022-03-14 09:50	10	
1	2022-03-16 02:25	2022-03-16 07:55	330	
1	2022-03-19 01:00	2022-03-19 02:00	60	
1	2022-03-22 12:30	2022-03-22 16:10	220	

Таблица 3: Сводная таблица тепловых счета событий и сигналов, отобранных как нейтрон кластеров установки ПРИЗМА-32.

Счет/кластер	Кл1	Кл2
События ($Fg \geq 4, A \geq 5$), N соб./ч.	3.33	1.58
Нейтроны, (Nn)/соб.	0.62	0.47

Примечание:

В таблице 4 представлена сводная информация о неисправностях в работе детекторов кластера.

Таблица 4: Неисправности

№	Кластер	№ Детектора	Период	Примечание
1	1	13	22.03.2022	Увеличенное число импульсов, отобранных как нейтрон
2	1	3	29.03.2022	Увеличенное число импульсов, отобранных как нейтрон
3	1	3	01.03.2022 - 31.03.2022	Повышенная скорость счета событий $Fg \geq 1, A \geq 10$
4	2	2,16	01.03.2022 - 31.03.2022	Пониженное амплитудное распределение сигналов ($Fg \geq 2$ и $A \geq 5$)
5	1	4	27.03.2022	Повышенная скорость счета событий $Fg \geq 2$ и $A \geq 5$
6	2	1,4	01.03.2022 - 31.03.2022	Повышенная скорость счета событий $Fg \geq 1, A \geq 10$

Продолжительность работы кластеров установки ПРИЗМА-32.

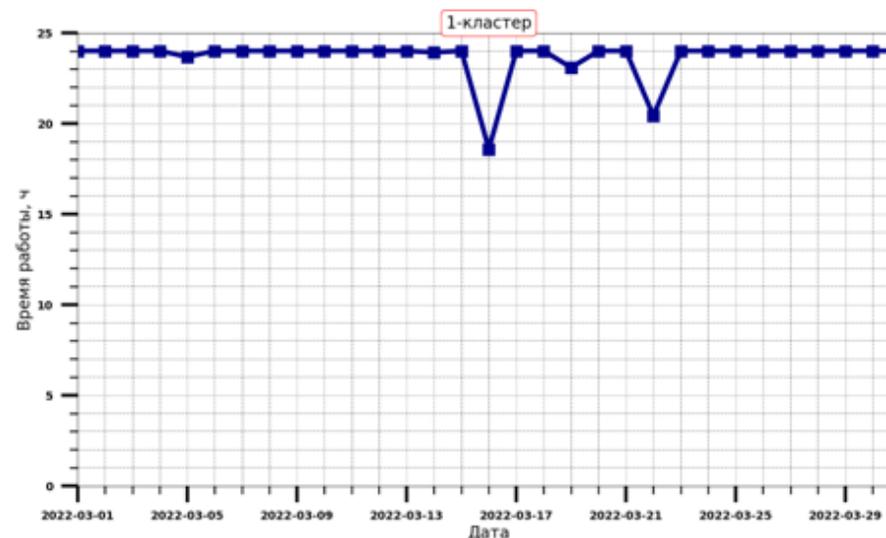


Рис. 1 - Продолжительность работы 1-го кластера в сутки

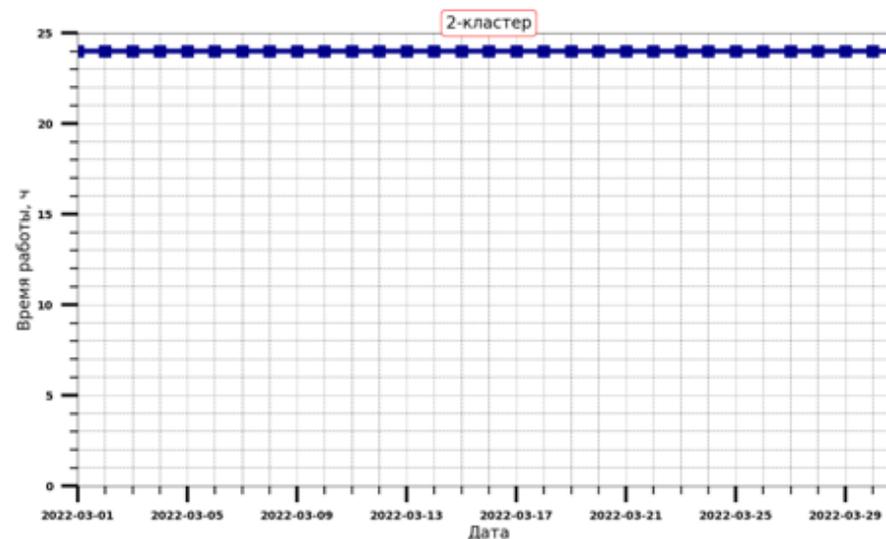


Рис. 2 - Продолжительность работы 2-го кластера в сутки

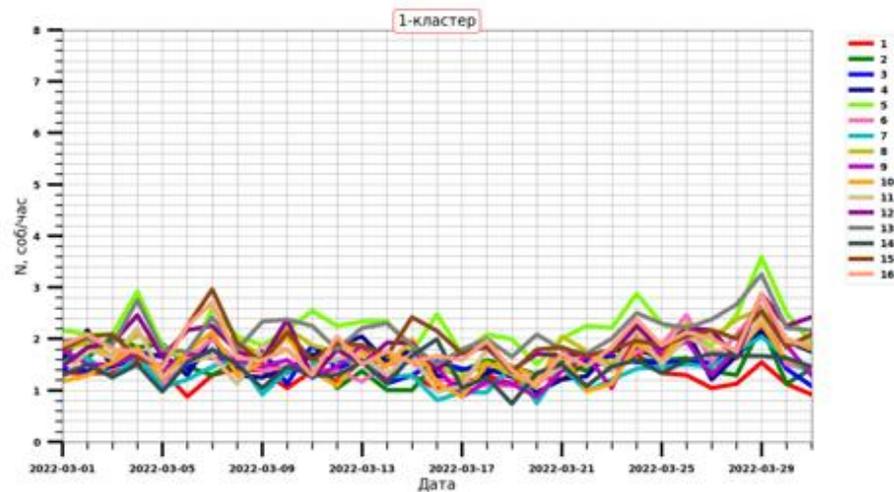


Рис. 6 - Скорость счета детекторов в 1-м кластере $Fr \geq 2, A > 5$

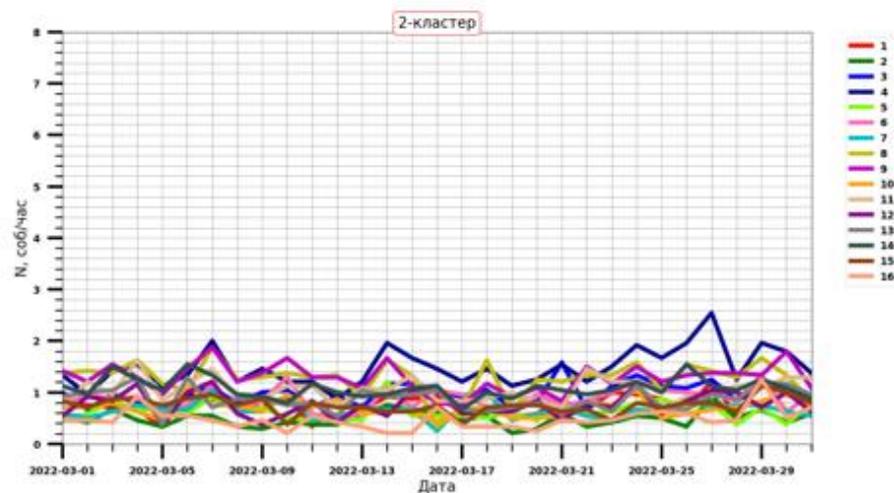


Рис. 7 - Скорость счета детекторов во 2-м кластере $Fr \geq 2, A > 5$

Таблица 6: Среднемесячные число срабатываний детекторов установки ПРИЗМА-32, соб./час.

№	Стат-ка	№ детектора															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	mean(соб./ч.)	1.28	1.51	1.51	1.59	2.2	1.57	1.36	1.82	1.54	1.56	1.62	1.89	2.12	1.41	1.93	1.82
	std(соб./ч.)	0.2	0.29	0.24	0.33	0.42	0.38	0.3	0.33	0.4	0.37	0.35	0.37	0.37	0.27	0.33	0.38
2	mean(соб./ч.)	0.78	0.49	0.97	1.47	0.64	0.87	0.65	1.27	1.28	0.71	1.04	0.77	0.87	1.08	0.74	0.48
	std(соб./ч.)	0.21	0.15	0.21	0.36	0.18	0.21	0.17	0.33	0.28	0.17	0.24	0.25	0.22	0.2	0.16	0.21

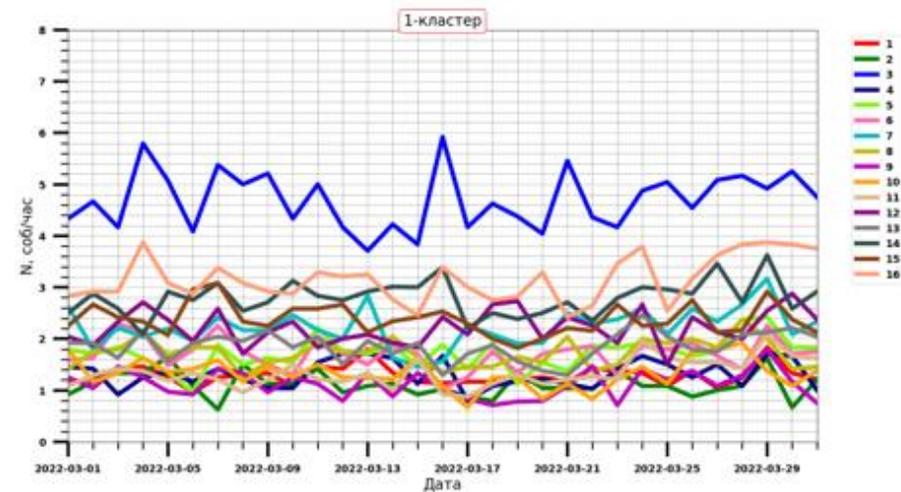


Рис. 8 - Скорость счета детекторов в 1-м кластере $Fr \geq 1, A > 10$

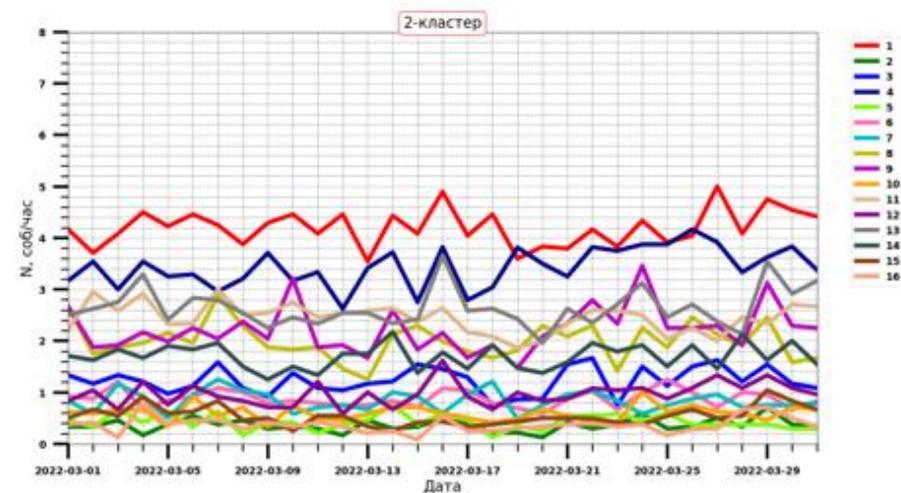


Рис. 9 - Скорость счета детекторов во 2-м кластере $Fr \geq 1, A > 10$

Таблица 6: Среднемесячные число срабатываний детекторов установки ПРИЗМА-32, соб./час.

№	Стат-ка	№ детектора															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	mean(соб./ч.)	1.29	1.11	4.7	1.32	1.72	1.71	2.22	1.72	1.12	1.33	1.33	2.22	1.86	2.79	2.38	3.16
	std(соб./ч.)	0.19	0.25	0.57	0.27	0.31	0.3	0.37	0.27	0.27	0.29	0.28	0.34	0.28	0.34	0.3	0.44
2	mean(соб./ч.)	4.14	0.35	1.21	3.38	0.42	0.86	0.82	1.97	2.19	0.59	2.41	0.95	2.6	1.67	0.53	0.36
	std(соб./ч.)	0.36	0.12	0.25	0.38	0.14	0.16	0.21	0.37	0.45	0.16	0.3	0.2	0.36	0.24	0.19	0.15

На рисунке 8, 9 представлено число сигналов с $A > 5$ кодов АЦП в час для 16 детекторов.

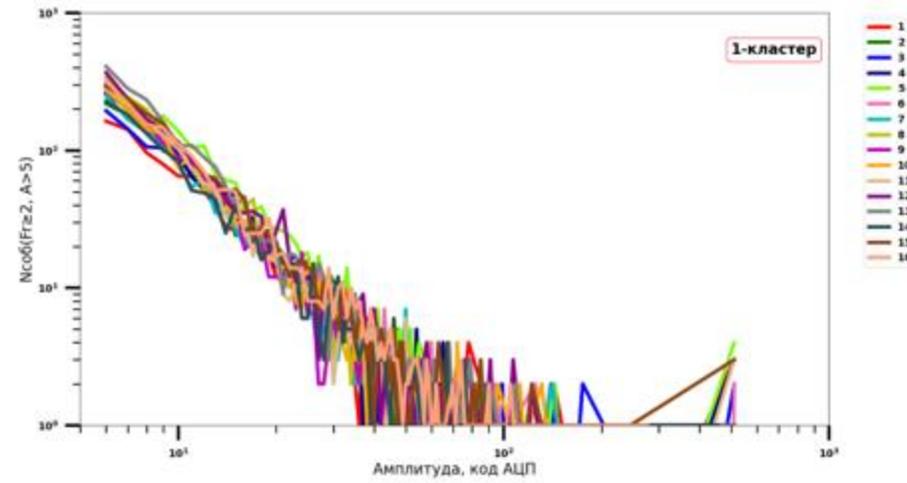


Рис. 8 - Амплитудное распределение сигналов от детекторов кластер 1 ($Fr \geq 2$ и $A > 5$)

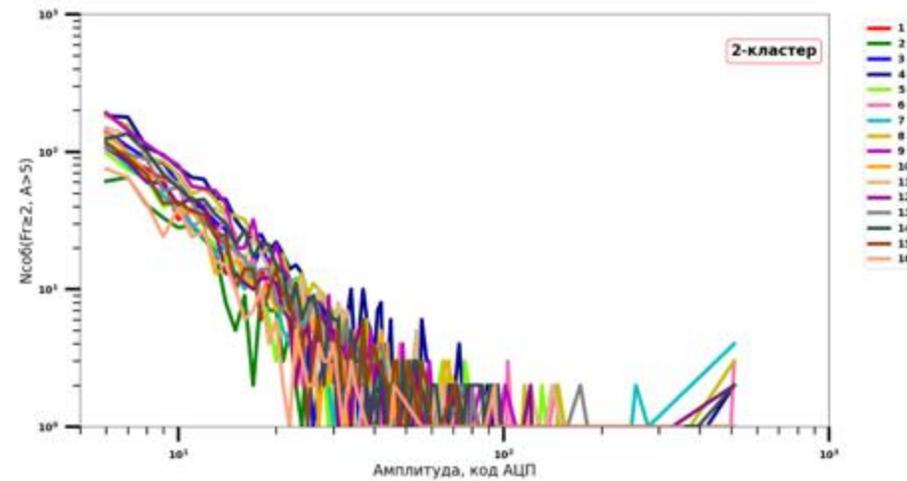


Рис. 9 - Амплитудное распределение сигналов от детекторов кластер 2 ($Fr \geq 2$ и $A > 5$)