

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное автономное учреждение

высшего образования

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

(НИЯУ МИФИ)»

ОТЧЁТ

О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

«Он-лайн мониторинг заряженных ионов, подземных газов,  
метеопараметров и вибрации для изучения низкоэнергетического фона в  
подземных экспериментах»

Научный руководитель

К.ф.-м.н., с.н.с., зав.лаб. ИЯИ РАН



Агафонова Н.Ю.

Студент

Скурлатов Ф.О.

Консультант

Вед. инж. ИЯИ РАН



Ингерман С.В.

Москва, 2024

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	3
<b>1. СТАНЦИИ МОНИТОРИРОВАНИЯ</b> .....	4
<b>1.1. Устройство и функции станций мониторинга</b> .....	4
<b>1.2. Прогнозирование сейсмической активности</b> .....	7
<b>2. ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ</b> .....	8
<b>2.1. Постановка задачи</b> .....	8
<b>2.2. Инструментарий для реализации веб-ресурса</b> .....	8
<b>2.2.1. Flask-framework</b> .....	8
<b>2.2.2. Apache</b> .....	9
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	11
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	12

## ВВЕДЕНИЕ

В области физики элементарных частиц и геофизики подземные эксперименты требуют высокоточного контроля параметров окружающей среды. Необходимость в этом возникает для исключения внешних воздействий, случайных введенных флуктуаций, которые могут искажать результаты наблюдений и анализа низкоэнергетического фона. Использование систем мониторинга, которые в реальном времени способны регистрировать параметры окружающей среды и предоставлять данные для последующего анализа является важным направлением таких исследований.

В рамках данной работы рассматриваются способы создания веб-ресурса для визуализации и последующего анализа данных, полученных с экспериментальных установок, расположенных в нескольких лабораториях: НИИЯФ МГУ, ИЯИ РАН (Москва, Троицк), Баксанская нейтринная обсерватория (БНО) и Камчатский мониторинговый пункт. Системы мониторинга включают в себя различные датчики и приборы для измерения плотности положительных и отрицательных аэроионов, атмосферного давления, температуры, влажности, концентрации радона (подземного газа), уровень  $CO_2$ , а также вибраций.

Целью настоящей работы является разработка API (Application Programming Interface), позволяющий работать с экспериментальными данными, полученными со всех станций мониторинга, связать backend и frontend – разработку, что позволит оперативно анализировать параметры, проводить их визуализацию и выявлять корреляции между различными показателями.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

- Изучение работы станций мониторинга, включая особенности измерения ключевых параметров (плотности аэроионов, атмосферного

давления, температуры, влажности, концентрации радона, уровень  $CO_2$ , а также вибраций).

- Анализ методов сбора и хранения архивных данных.
- Создание серверной инфраструктуры, включающей программные модули с удалённым доступом.
- Разработка функционала для мониторинга всех станций одновременно и выбора с подробным наблюдением временных рядов какой-либо станции.
- Создание функционала для анализа архивных данных со станций.

Проектирование и разработка такого веб-ресурса станет позволит автоматизировать работу с полученными экспериментальными данными и обеспечит удобный доступ к информации для учёных, работающих в области физики элементарных частиц и геофизики.

## **1. СТАНЦИИ МОНИТОРИРОВАНИЯ**

Станции мониторинга - автономные установки, предназначенные для проведения длительных измерений различных параметров окружающей среды в подземных условиях. Они обеспечивают непрерывный сбор данных о метеорологических параметрах, плотности аэроионов, концентрации радона и уровня  $CO_2$ , а также вибрации, что позволяет изучать низкоэнергетический фон в подземных экспериментах.

### **1.1. Устройство и функции станций мониторинга**

Основным элементом станции он-лайн мониторинга является высокоточный термокорректируемый счетчик аэроионов, на базе счетчика Сапфир-3м – это модифицированный высокоточный прибор для измерения

плотности положительных и отрицательных аэроионов. Сапфир-3м был модернизирован путем помещения его аспирационной камеры в нагреватель. Нагреватель повышает температуру камеры в работающем приборе на десять градусов Цельсия выше температуры воздуха в помещении, в котором он находится. Такое повышение температуры помогает избавиться от оседания влаги на изоляторах и минимизирует ошибки, вызванные температурными колебаниями. Измерения аэроионов производятся раз в 4 секунды, величина погрешности относительных измерений составляет 3% (это означает, что при повторных измерениях в одних и тех же условиях отклонение результатов от среднего значения не превышает 3%).

Счетчик аэроионов подключен к источнику бесперебойного питания и компьютеру с подключением к Интернету для удалённой передачи данных в режиме реального времени. Помимо высокой точности измерений, к особенностям работы станции относится её автономность, так как станция рассчитана на работу в подземных условиях без постоянного обслуживания.

На сегодня аппаратная часть станции также включает в себя:

- Два датчика температуры, влажности и давления (ТВД, погодный датчик) ВМЕ-280 фирмы BOSN, Германия.
- Мультиплексор PCA9548A, предназначенный для согласования датчиков, с микроконтроллером.
- Датчик уровня CO<sub>2</sub> SCD-41, разработанный фирмой Sensirion AG., принцип работы которого основан на фотоакустическом эффекте.
- Датчик- виброметр собственной разработки.
- Преобразователь напряжения +5В-->+3.3В для питания датчиков ТВД и CO<sub>2</sub>.
- Модуль часов реального времени DS3231 (RTC).

- Ведущий контроллер (Master), построенный на плате микроконтроллера Arduino Nano, обрабатывающий сигналы с датчиков и выводящий данные для регистрационного текстового файла и на дополнительные контроллеры.
- Ведомые контроллеры преобразования сигналов для визуализации в виде графиков (Slave1 - Slave3), построенные на плате контроллера Arduino Nano.
- USB- концентратор, объединяющий сигналы со всех контроллеров.
- Радиометр радона – устройство, предназначенное для измерения концентрации радиоактивного газа - радона (Rn), который является важным индикатором геофизических процессов, так как выделяется из почвы.



Рис.1. Фотографии измерительной станции (Сапфир-3м, датчики ТВД, датчик CO<sub>2</sub>)

Программная часть комплекса включает в себя:

- Программа- эмулятор Kitty [5], переводящая сигналы данных от контроллеров в соответствующие текстовые файлы для их последующей обработки.
- Комплекс программ, организующих работу различных сессий программы Kitty.
- Комплекс программ, обрабатывающих полученные текстовые файлы. Комплекс оснащен также программой Arduino-IDE для программирования и загрузки микроконтроллеров (находится в свободном доступе в сети интернет [6]).

Для физиков, работающих с чувствительными детекторами (например, в нейтринных экспериментах или при поиске тёмной материи), важно исключить радиационные помехи от радона. С помощью радиометра радона можно выделять фоновые события, которые помогут в анализе полученных экспериментальных данных.

К основным задачам станций мониторинга относятся измерение плотности аэроионов для анализа электрического поля в подземной полости и выявления аномалий, связанных с физическими и геофизическими процессами, а также контроль уровня радона, являющийся индикатором активности подземных процессов, таких как тектонические движения.

## **1.2. Прогнозирование сейсмической активности**

Перед землетрясениями может наблюдаться рост концентрации аэроионов, вызванный выделением радона. Продукты распада радона, в основном  $\alpha$  – частицы, ионизируют молекулы воздуха, что увеличивает концентрацию аэроионов. Мониторинг плотности аэроионов может служить частью системы раннего предупреждения. Также применение

радонового счётчика позволяет фиксировать резкое увеличение концентрации радона, что может быть связано с повышением напряжения в земной коре, что также иногда предшествует землетрясению.

Радон – естественный радиоактивный газ, который образуется в результате распада радия, который, в свою очередь, является продуктом распада урана-238. Этот газ постоянно генерируется в горных породах в процессе радиоактивного распада, что делает его присутствие неизменным в любом горном массиве. Свойства радона делают его индикатором сейсмической активности.

## **2. ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ**

### **2.1. Постановка задачи**

Задачей первого этапа научной работы является реализация веб-приложения для визуализации и мониторинга экспериментальных данных, полученных с разных установок. Функционал веб-ресурса должен сочетать в себе удобство в использовании, наглядность получаемых данных, а также легкость в доступе по определенному ключу.

### **2.2. Инструментарий для реализации веб-ресурса**

#### **2.2.1. Flask-framework**

Flask – это веб-фреймворк для Python, который можно легко установить и настроить. Его выбор был основан на основе его минималистического подхода, легкому синтаксису и адаптивности. С помощью Flask можно легко интегрировать библиотеки для работы с данными и их визуализации (Pandas и Matplotlib).



Фреймворк Flask основывается на WSGI (Web Server Gateway Interface) и в качестве шаблонизатора использует Jinja2, что позволяет создавать HTML-страницы с динамическим содержимым и работать с переменными языка программирования Python. В Jinja2 поддерживаются различные функции, такие как наследование шаблонов, фильтрация данных и управление логикой отображения, что упрощает создание сложных интерфейсов и улучшает организацию кода.

Для задачи мониторинга данных можно применить AJAX (Asynchronous JavaScript and XML), который позволяет динамически обновлять данные со стороны пользователя без необходимости перезагрузки страницы.

Для аутентификации пользователя в Flask есть возможность подключения Flask-Login, а в Flask-SQLAlchemy реализован функционал для работы с базами данных.

### **2.2.2. Apache**

Для обеспечения удаленного доступа к приложению рассматривается создание и применение веб-сервера на базе Apache HTTP Server, который будет выполнять роль связки между пользователем, использующим браузер, и сервером, обеспечивая передачу данных при запросах [7].

Процесс обработки запросов в Apache

Когда пользователь отправляет запрос через браузер (например, запрашивает веб-страницу), происходит следующий процесс:

1. **Получение запроса:** Apache "слушает" определенные порты. Когда на один из этих портов поступает запрос, сервер начинает его обработку.

2. **Обработка запроса:** Сервер анализирует полученный запрос и обращается к конфигурационным файлам для определения способа его

обработки. Это может включать поиск запрашиваемого файла или выполнение скрипта.

3. **Ответ на запрос:** После обработки запроса сервер формирует ответ и отправляет его обратно через браузер.

В Apache используется многопроцессорная модель для обработки соединений, что позволяет одновременно обрабатывать несколько запросов.

Так как реализация веб-ресурса находится на ранней стадии, то в качестве примера предоставляется структура Flask-проекта (Рис.2.)

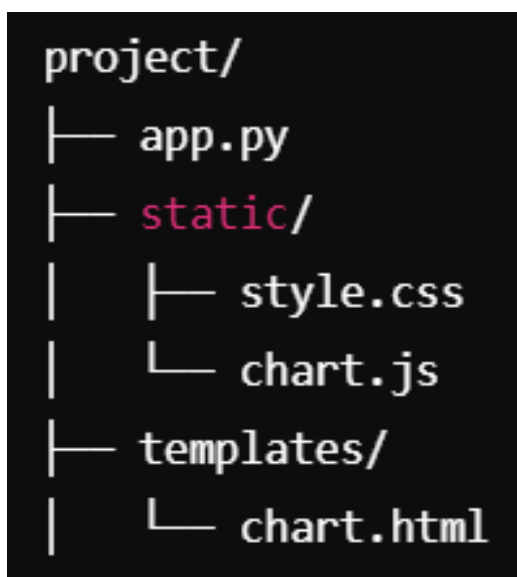


Рис.2. Структура Flask-проекта

- **app.py** - это главный файл проекта Flask. В нем настраивается сервер, обрабатываются запросы, связываются HTML-шаблоны, стили и скрипты.

- **Папка static/** - Содержит статические файлы: стили, скрипты, изображения.

- **style.css** - CSS-файл для стилизации веб-страницы.

- **chart.js** - JavaScript-файл, используемый для создания графиков (например, с помощью библиотеки Chart.js)

- **Папка templates/** - Содержит HTML-шаблоны для рендеринга веб-страниц. Flask автоматически ищет шаблоны в этой папке.

- **chart.html** - HTML-файл с базовой структурой страницы и контейнером для графика.

Принцип работы:

1. Запуск сервера (python app.py)
2. Пользователь открывает главную страницу (http://127.0.0.1:5000/).
3. Flask рендерит chart.html из папки templates/.
4. HTML-шаблон загружает CSS и JS из папки static/.
5. JavaScript строит график на основе данных, заданных в chart.js.

Структура приложения на Flask обеспечивает разделение между компонентами проекта, что позволит создать поддерживаемое веб-приложение с использованием современных технологий разработки.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В работе были изучены устройство и функции станций онлайн мониторинга, включающих измерения различных параметров, а также значимость их применения в таких областях исследования, как физика частиц, где экспериментаторы зачастую работают с детекторами.

Также был реализован функционал для обработки и визуализации экспериментальных данных со станций. Изучены HTML, CSS для стилизации и реализации части функционала веб-ресурса. Для создания веб-приложения был выбран наиболее подходящий framework.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агафонова Н.Ю., Безруков Л.Б., Еникеев Р.И., Добрынина Е.А., Ерошенко Ю.Н., Ингерман С.В., Карпиков С.В., Казалов В.В., Межох А.К., Филимонова Н.А., Синев В.В., Шакирьянова И.Р., Якушев В.Ф. "Создание сети установок для регистрации аэроионов в подземных помещениях", стр. 81- 85. Материалы IX Всероссийской научной конференции по атмосферному электричеству / под общ. ред. Ю.В. Кулешова; редкол.: Ю.В. Кулешов, Г.Г. Щукин и др.; отв. за вып.: А.М. Болдырева, В.В. Филиппёнок. – СПб.: Военно- космическая академия имени А.Ф.Можайского, 2023 – 543 с. ISBN 978-5-6046021-8-8

2. Сергей Глазьев, Леонид Безруков, Анатолий Долголаптев, Николай Ларин, Владимир Сывороткин, Валерий Федоров "Климатические изменения и энергопереход" // Экономические стратегии. - 2023. Номер 6. (192) стр. 7-19. DOI: 10.33917/es- 6.192.2023.16-29

3. Н.Ю. Агафонова и др. "Создание сети установок для регистрации аэроионов в подземных помещениях", IX Всероссийская научная конференции по атмосферному электричеству в Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург, 26-29 сентября 2023 г.

4. Н.Ю. Агафонова от имени коллаборации He-model «Распределение заряда в верхнем слое земли и грозовых облаках», Всероссийская конференция по проблемам динамики, физики частиц, физики плазмы и оптоэлектроники, 20-24 мая 2024, РУДН.

5. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Kitty\\_\(terminal\\_emulator\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Kitty_(terminal_emulator))

6. URL: <https://www.arduino.cc/>

7. С. Хокинс / Администрирование web-сервера Apache и руководство по электронной коммерции // Издательский дом «Вильяме», Москва, Санкт-Петербург, Киев. – 2001. – 330 С.