

**Автоматическая настройка параметров кремниевых
фотоумножителей
для сцинтилляционного годоскопа с использованием атмосферных
мюонов
НИРС: методика порогового сканирования и программный комплекс сбора данных**

Выполнил: Шерстяных И. С.
Научный руководитель: к.ф.-м.н. Семёнов П. А.

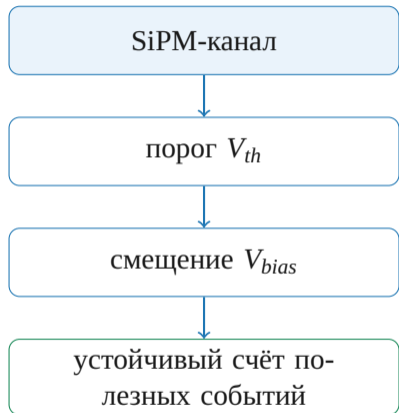
НИЯУ МИФИ

Москва, 2026

Задача работы

Цель: разработать методику и программный инструмент для настройки одного SiPM-канала профилометра СПАСЧАРМ.

- ▶ настраиваются два параметра: V_{th} и V_{bias} ;
- ▶ источник событий - атмосферные мюоны;
- ▶ текущий результат - автоматизированный набор и подготовка данных к анализу;
- ▶ полная автоматическая обработка



СПАСЧАРМ и роль профилометра

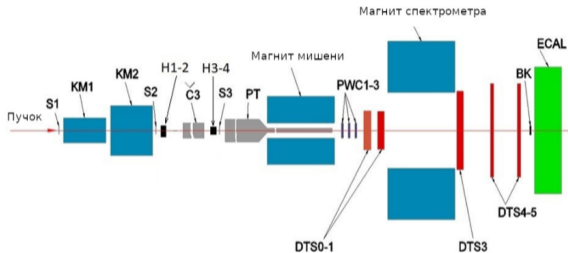


Схема установки СПАСЧАРМ и положение профилометра в пучковой аппаратуре.

- ▶ профилометр контролирует положение пучка в области мишени;
- ▶ детектор построен на сцинтилляторах и SiPM;
- ▶ настройка нужна для стабильного и однородного отклика каналов;
- ▶ сейчас методика обрабатывается на одном канале.

Почему нельзя просто снять амплитудный спектр



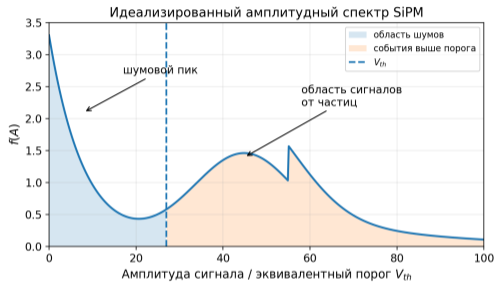
Одна запись raw-файла: 16 байт, четыре 16-битных слова состояния групп каналов

Пример структуры записи в raw-файле после цифровой электроники.

На выходе доступен не аналоговый импульс SiPM, а цифровой факт превышения порога.

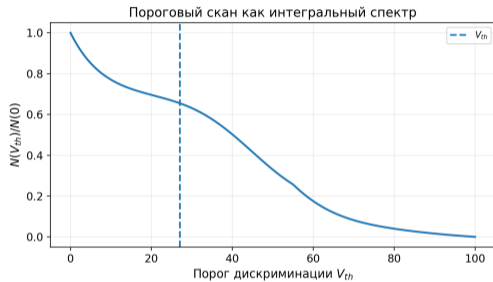
- ▶ амплитуда события напрямую не измеряется;
- ▶ порог задаётся кодом регистра ЦАП;
- ▶ при каждом V_{th} считается число срабатываний;
- ▶ спектр нужно восстанавливать косвенно.

Идея метода: пороговый скан вместо АЦП



Идеальный амплитудный спектр: шумовая область и область полезных событий.

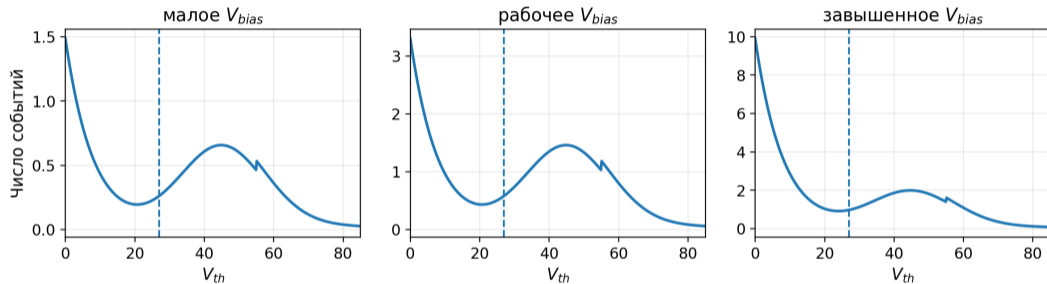
$$N(V_{th}) = \int_{V_{th}}^{\infty} f(V) dV, \quad f(V_{th}) \sim -\frac{dN(V_{th})}{dV_{th}}$$



Измеряемая зависимость $N(V_{th})$ является интегральной по спектру.

Физический смысл выбора V_{bias} и V_{th}

Качественное влияние напряжения смещения на вид спектра



- ▶ малое V_{bias} : усиления не хватает;
- ▶ слишком большое V_{bias} : резко растут шумовые срабатывания.

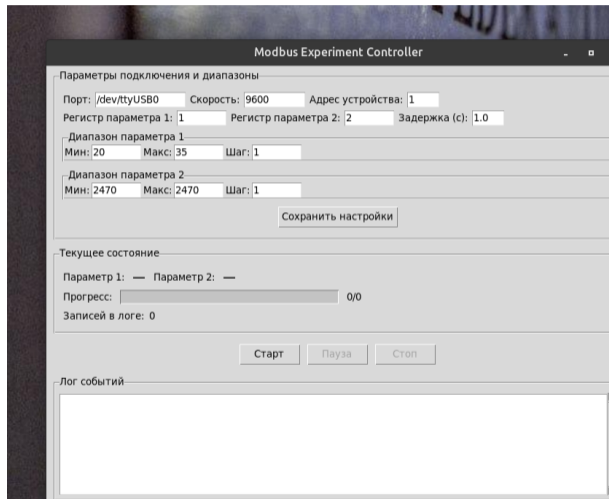
- ▶ рабочий V_{th} выбирается выше шумовой области;
- ▶ критерий - подавить шум и сохранить полезный сигнал.

Программный комплекс: общий поток данных



- ▶ управляющая часть задаёт параметры через Modbus RTU;
- ▶ лог связывает заданные параметры с временем измерения;
- ▶ по временным меткам скачиваются raw-файлы;
- ▶ затем выполняется парсинг, подсчёт событий и визуализация.

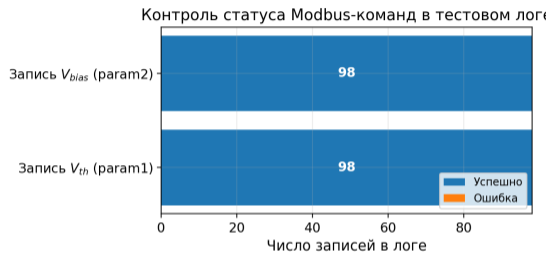
Приложение для сбора спектра



GUI: диапазоны V_{th} и V_{bias} , прогресс, лог событий.

- ▶ старт, пауза и остановка измерения;
- ▶ редактирование диапазонов сканирования;
- ▶ запись временных меток;
- ▶ логирование успешности отправки Modbus-команд;
- ▶ подготовка данных для последующего анализа.

Контроль качества данных через статус Modbus

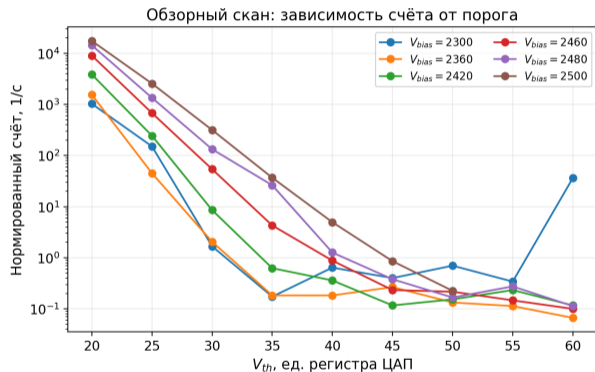


Пример лога: кроме параметров записывается успешность установки команд.

Статус Modbus-пакета позволяет отделить корректные точки скана от потенциально ошибочных.

- ▶ фиксируются V_{th} , V_{bias} и timestamp;
- ▶ сохраняются поля `success1`, `success2`;
- ▶ при ошибке точку можно исключить из обработки;
- ▶ это повышает воспроизводимость результата.

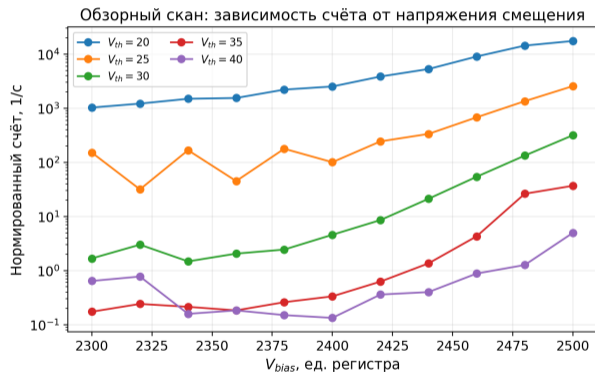
Обзорный скан: $N(V_{th})$ при фиксированном V_{bias}



- ▶ $V_{th} = 20 \dots 60$, шаг 5;
- ▶ $V_{bias} = 2300 \dots 2500$, шаг 20;
- ▶ время точки порядка 30 с;
- ▶ статистика мала, результат обзорный.

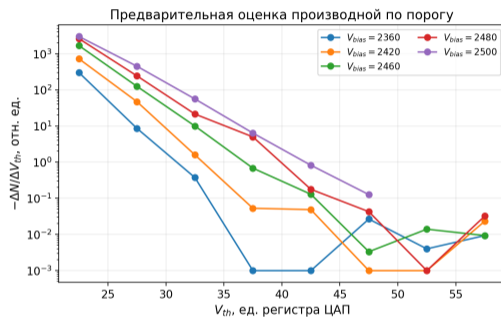
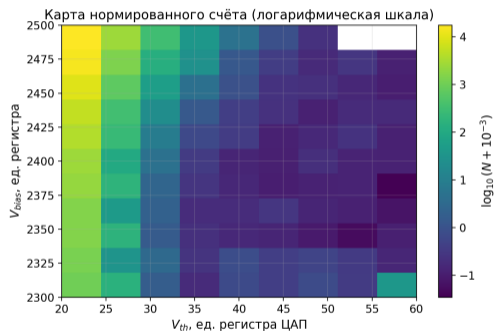
Резкое падение счёта при росте порога соответствует интегральному характеру зависимости.

Обзорный скан: $N(V_{bias})$ при фиксированном V_{th}



- ▶ при больших V_{bias} счёт быстро растёт;
- ▶ рост особенно заметен при низких порогах;
- ▶ это указывает на усиление вклада шумовых срабатываний;
- ▶ рабочая область требует более длительного скана.

Карта счёта и предварительная производная



Грубая карта счёта по двум параметрам.

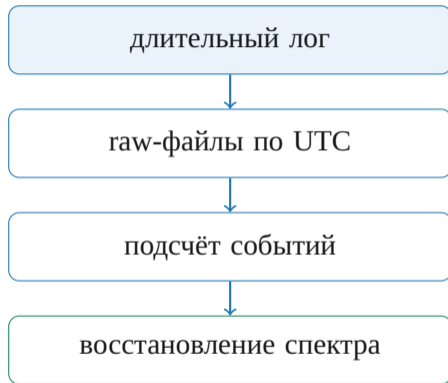
Первичная оценка разности по порогу.

Результаты используются как проверка работоспособности цепочки обработки, а не как финальная настройка.

Основной набор данных: длительный скан

Второй лог соответствует более основательному скану: $V_{bias} = 2470$, $V_{th} = 20 \dots 40$, шаг 1, интервал между точками 30 минут.

- ▶ цель - набрать статистику в области рабочей точки;
- ▶ лог содержит UTC-временные метки;
- ▶ полный анализ этого набора ещё не завершён.



Что сделано и что дальше

Сделано

- ▶ реализован GUI для сканов;
- ▶ работает задание V_{th} и V_{bias} ;
- ▶ логируются timestamp и статус Modbus;
- ▶ реализована загрузка raw-файлов;
- ▶ начата цепочка парсинга и визуализации.

Дальнейшая работа

- ▶ обработать длительный скан;
- ▶ устойчиво восстановить $f(V_{th})$;
- ▶ формализовать критерий выбора рабочей точки;
- ▶ масштабировать методику на все каналы;
- ▶ собрать готовый комплекс настройки.

Итог текущего этапа: проверен программный контур набора данных и подготовлена методическая основа автоматической настройки.