

# Проектирование детектора солнечных космических лучей

Е. Стадничук<sup>1,2</sup>, М. Зелёный<sup>1,2,3</sup>, А. Нозик<sup>1,2</sup>, И. Зимовец<sup>3</sup>  
egrstadnichuk@yandex.ru, mihail.zelenyy@phystech.edu

<sup>1</sup>МФТИ (НИУ), <sup>2</sup>ИЯИ РАН, <sup>3</sup>ИКИ РАН

Четырнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе», 11-15 февраля, 2019



## Введение

Актуальными задачами в космосе являются:

- Проведение исследований солнечных космических лучей и солнечных вспышек;
- Обеспечение радиационной безопасности для космонавтов и электроники.

Для решения этих задач необходимы детекторы:

- Регистрирующие протоны с энергией от 10 МэВ до 100 МэВ и электроны с энергией от 1 МэВ до 10 МэВ;
- Работающие в условиях больших ( $> 10^6$  Гц) загрузок и узких каналов связи;
- Имеющие оптимальные масса-габаритные характеристики

## Конструкция детектора

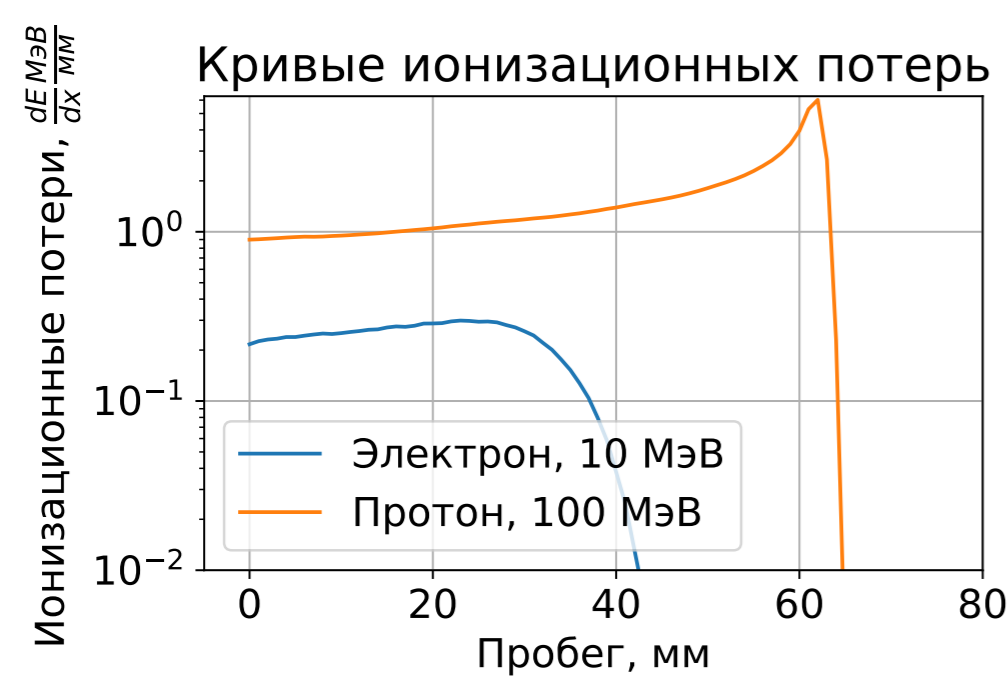


Рис. 1: Кривые ионизационных потерь для протона и электрона.

Принцип регистрации частиц основан на измерении потерь в веществе детектора. Тип частицы, начальную кинетическую энергию и угол влета можно восстановить по кривой потерь (рис. 1). Детектор представляет собой цилиндр, собранный из нескольких сцинтилляционных дисков (рис. 2). Диски располагаются по возрастанию толщины: от более тонких (обеспечивающих регистрацию электронов) на входе до более толстых на конце детектора (работающих при прохождении высокоэнергетичных протонов).

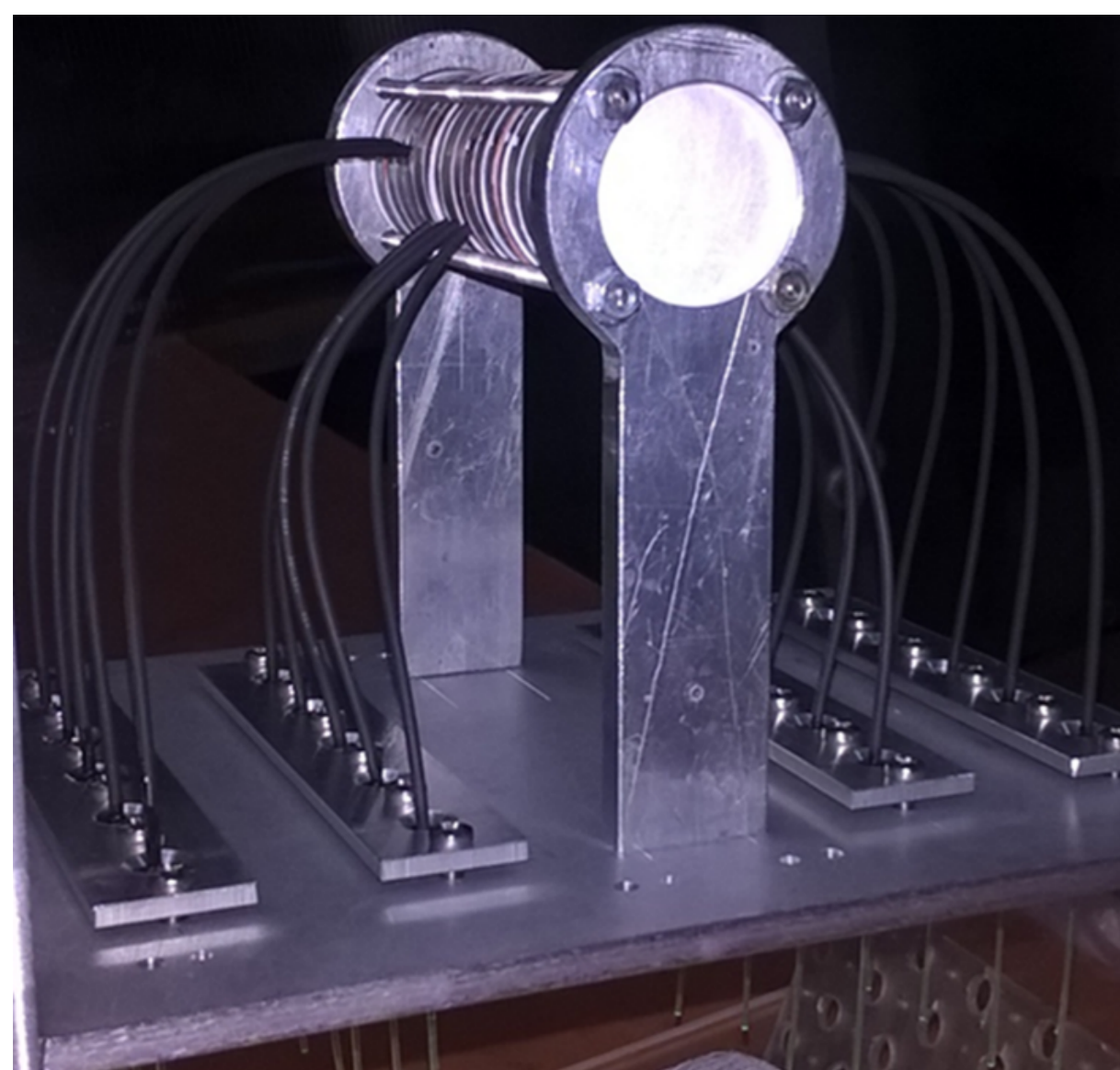


Рис. 2: Макет протонной части детектора.

Данная геометрия дает следующие преимущества:

- Проводится измерение пространственного распределения энерговыделения в детекторе, что позволяет получить больше информации о частице;
- Обеспечивается вариативность прибора: характеристики прибора легко регулируются заменой одного или нескольких сцинтилляционных дисков;
- Обеспечивается модульность прибора: сцинтилляционные диски могут быть объединены в кассеты, решающие конкретные задачи.

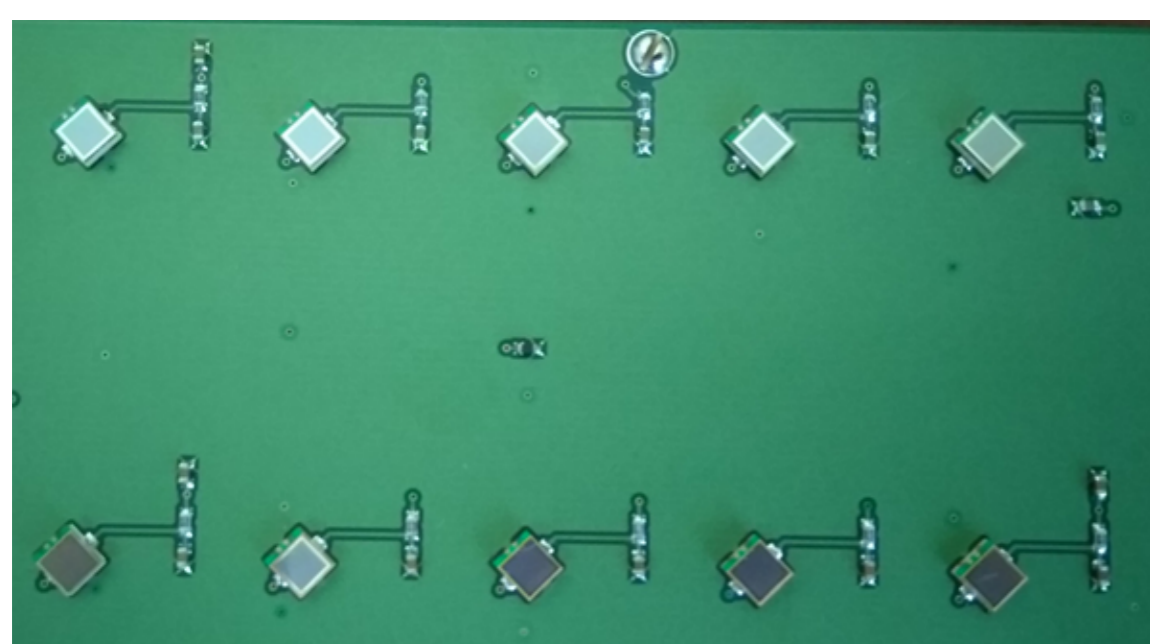


Рис. 3: Электроника для считывания сигнала с детектора.

Для улучшения разрешающих и массовых характеристик детекторов предлагается использовать МРРС вместо классических ФЭУ.

## Восстановление сигнала

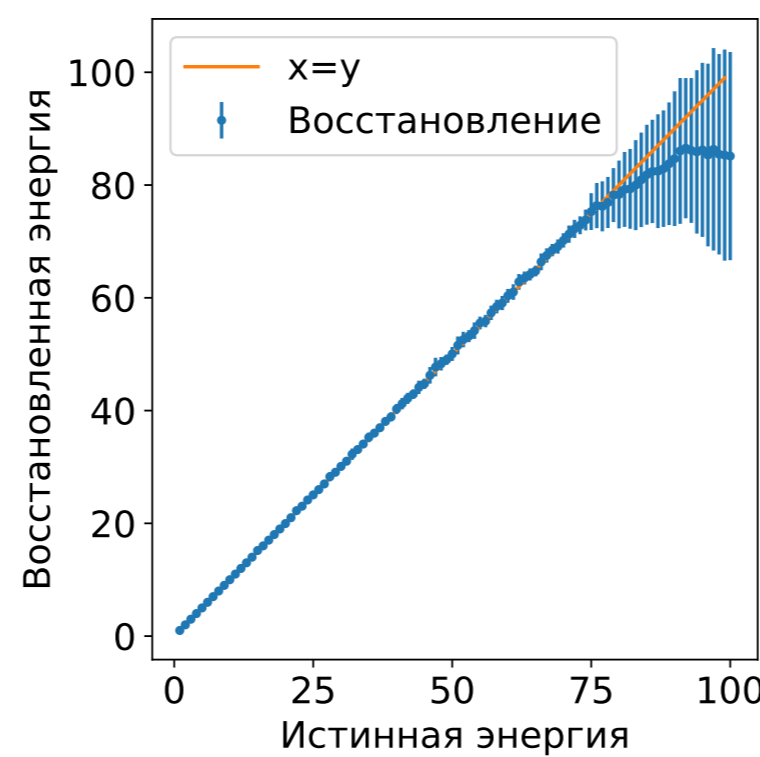


Рис. 4: Моделирование восстановления в счетном режиме.

Высокие характеристики прибора и возможность работать в сложных условиях обеспечиваются не только оригинальной конструкцией, но и использованием продвинутых алгоритмов анализа данных.

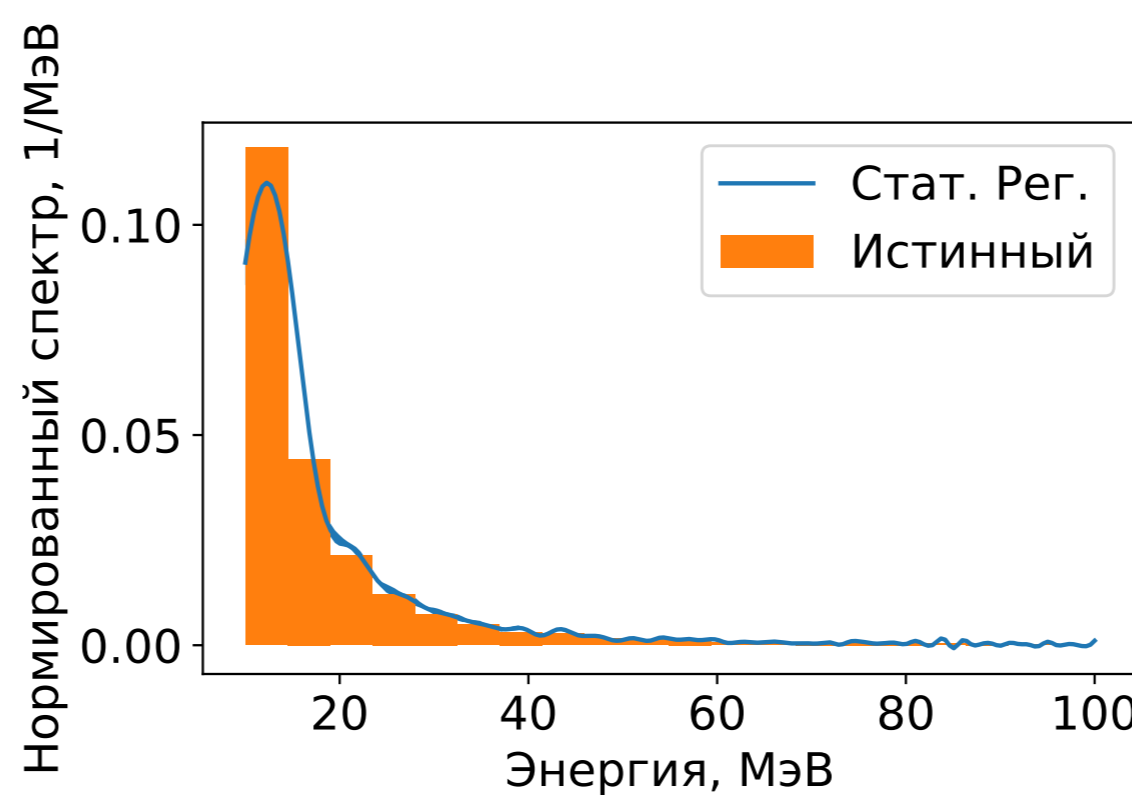


Рис. 6: Моделирование восстановления спектров с помощью статистической регуляризации Турчина.

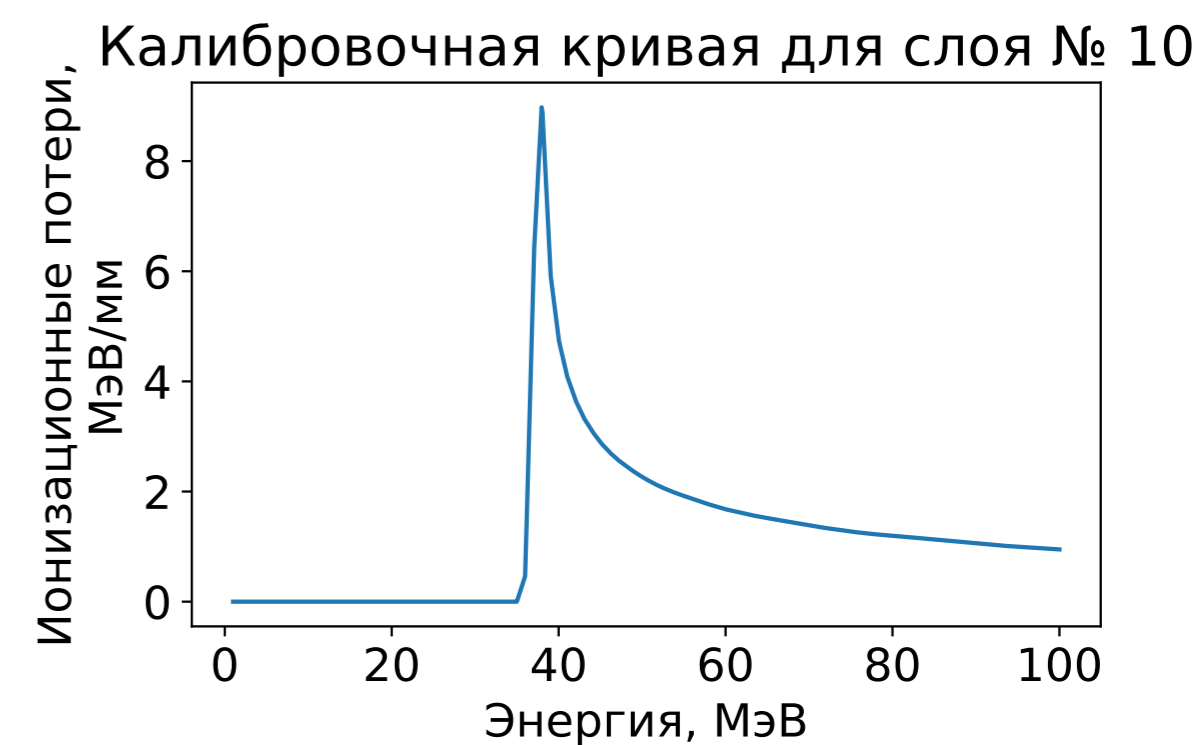
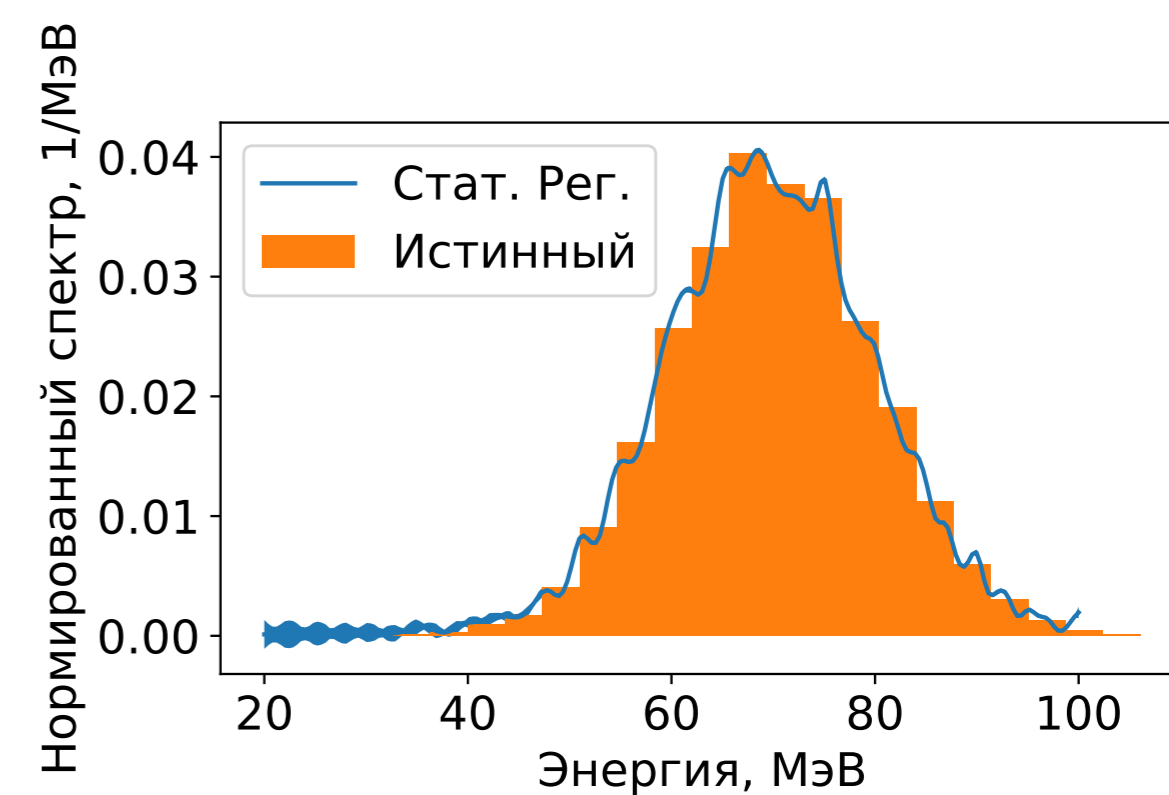


Рис. 5: Пример калибровочной кривой для статистической регуляризации Турчина.

Исследуется возможность работы прибора в двух режимах:

- Счетном или одночастичный режим, когда анализируется каждая частица попавшая в детектор;
- Интегральный — когда анализируется суммарное энерговыделение от большого числа частиц и восстанавливается их спектр. Анализ в данном режиме основан на статистической регуляризации Турчина.



## Крепление МРРС

Свет с сцинтиллятора регистрируется с помощью МРРС (Hamamatsu SiPM S12575-015P). Закрепить на сцинтилляторе их можно двумя способами (рис. 7 и рис. 8)

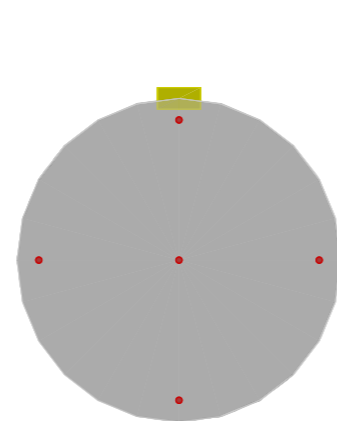


Рис. 7: Прикрепление МРРС непосредственно к сцинтиллятору.

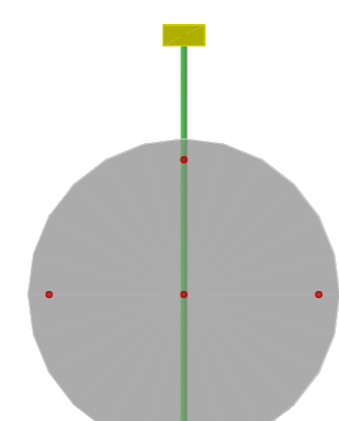


Рис. 8: Снятие света внутри сцинтиллятора оптоволоконным и вывод его на МРРС.

Для того, чтобы выбрать конкретный способ для каждого случая, в точках, отмеченных красным, был размещен  $\beta$ -источник и были измерены:

- Светосбор (определяет амплитуду сигнала на МРРС на единицу энергии, потерянной частицей в шайбе);
- Однородность светосбора (определяет, как сигнал зависит от точки входа частицы в шайбу).

В результате оказалось, что:

- Количество фотоэлектронов в первом случае в три раза больше чем во втором;
- Разница в количестве фотоэлектронов, регистрируемых для частиц, попадающих в центр и в край сцинтиллятора, равна 40% для первого случая и 7% — для второго.

Конструкция с оптоволоконном обладает практически полной однородностью светосбора и гораздо удобнее в эксплуатации, поэтому используется при сборке детектора.

## Результаты

- Спроектирован детектор солнечных космических лучей;
- Собран макет детектора;
- Проверена зависимость работы МРРС от температуры;
- Разработана методика анализа данных.

Работа сделана при поддержке гранта РФФ 17-72-20134.

## Влияние температуры

МРРС Hamamatsu SiPM S12575-015P рассчитаны на работу при температурах от  $-20^\circ\text{C}$  до  $+50^\circ\text{C}$ , однако для оптимальной работы требуется подстройка подаваемого напряжения. В документации SiPM приведена зависимость оптимального напряжения от температуры, но в рамках данной работы эта зависимость была проверена экспериментально (рис. 9).

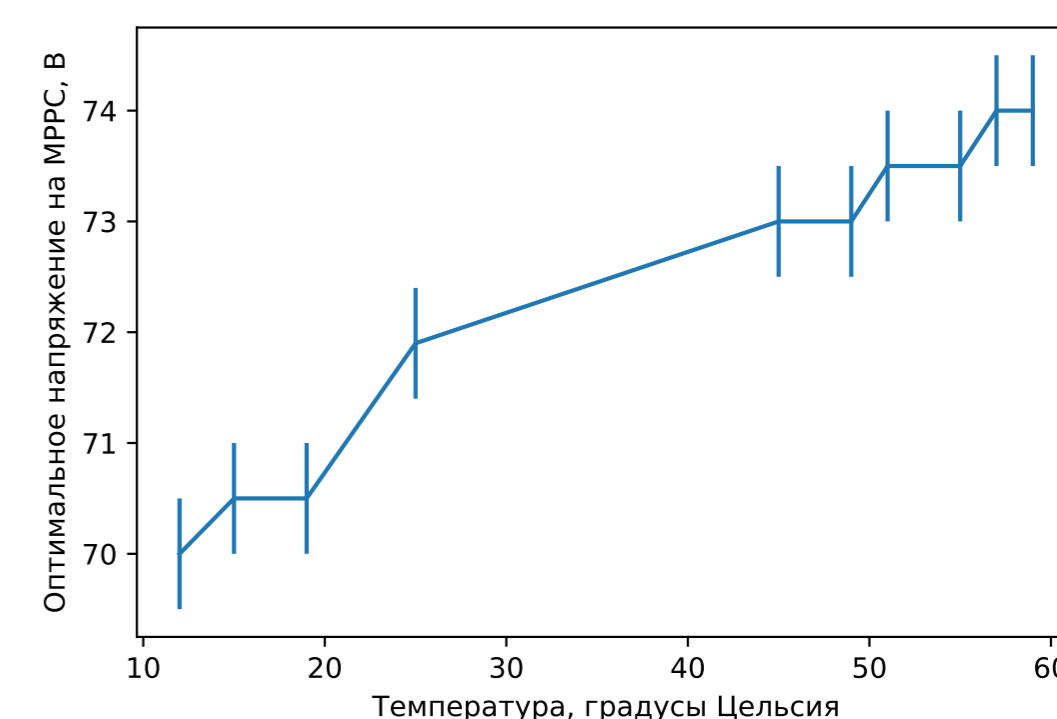


Рис. 9: Оптимальное напряжение на МРРС в зависимости от температуры

Отсюда следует, что в конструкции детектора должен быть предусмотрен термодатчик для корректировки напряжения на МРРС (для испытаний макета используется термopара и система Slow Control).

## Список литературы

- [1] Петров В.М. Петрукович А.А., Дмитриев А.В. *Плазменная гелиогеофизика, Т. II, chapter Космическая радиация*. Физматлит, 2008.
- [2] М. Е. Зелёный et al. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДЕТЕКТОРА ПРОТОНОВ И ЭЛЕКТРОНОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОЛНЕЧНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ. *Краткие сообщения по физике ФИАН*, (1):3-7, Январь 2019.
- [3] M. Zelenyi, M. Poliakova, A. Nozik, and A. Khudyakov. Application of turchin's method of statistical regularization. *EPJ Web Conf.*, 177:07005, 2018.
- [4] J. Allison et al. Recent developments in geant4. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 835:186 – 225, 2016.
- [5] Leonty Mirosnichenko. *Solar Cosmic Rays: Fundamentals and Applications*. Springer, 2015.
- [6] Arik Posner. Up to 1-hour forecasting of radiation hazards from solar energetic ion events with relativistic electrons. *Space Weather*, 5(5), 2007.
- [7] Scott E Forbush. Three unusual cosmic-ray increases possibly due to charged particles from the sun. *Physical Review*, 70(9-10):771, 1946.