

Разработка полезной нагрузки для малого космического аппарата «Чолбон»

Докладчик:

Петров Андрей Николаевич

b11501091@ntu.edu.tw

Ведущий инженер, ООО «ЯКС» / Студент 4 курса, Национальный Университет Тайваня

Соавторы:

Илларионов Тимур Андреевич

illarionov.ta@yksa.space

Генеральный директор, ООО «ЯКС» / Педагог ДО, ГАНУО РЦ РС(Я) «МАН РС(Я)»

Мардин Артем Александрович

mardin.aa@yksa.space

Инженер-конструктор, ООО «ЯКС»

Иванов Карл Артурович

ivanov.ka@yksa.space

Инженер-программист, ООО «ЯКС» / Педагог ДО, МАНУО «ДДТ им.Ф.И.Авдеевой»

МКА «Чолбон»

Первый малый космический аппарат
МАН РС(Я)

20.08.2025

2



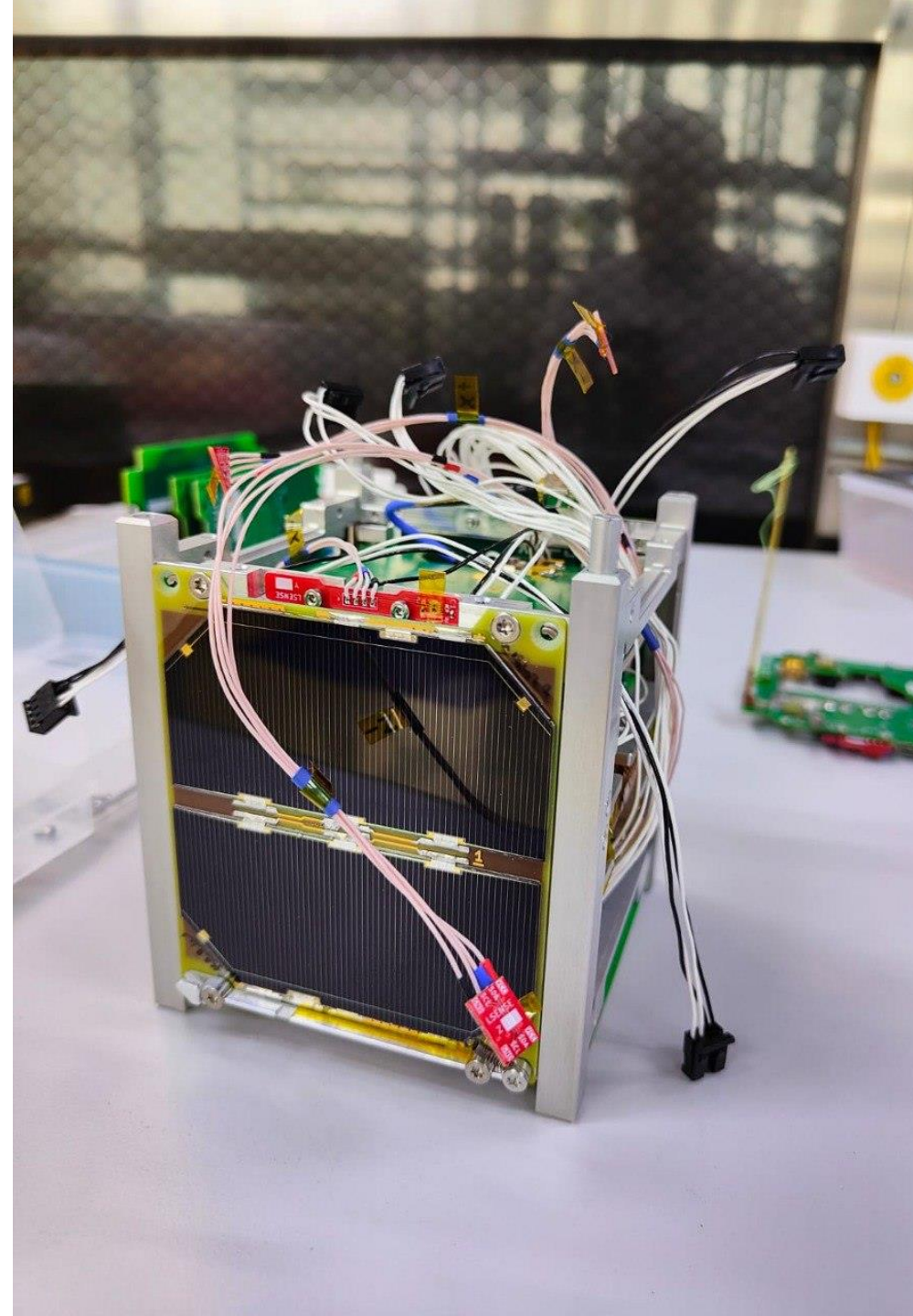
МКА «Чолбон»

МКА «Чолбон» — малый космический аппарат, разработанный и созданный в рамках совместного с Малой Академией Наук РС(Я) проекта по запуску первого якутского МКА.

Цели миссии:

- Подготовка наземной космической инфраструктуры для будущих МКА Республики
- Развертывание сети аэрокосмических классов
- Обучение специалистов-операторов
- Подготовка инженерных кадров
- Популяризация космонавтики и радиолюбительства

Запуск запланирован на II полугодие 2025, космодром «Восточный», ППН к КА «Аист-2Т №1, №2»



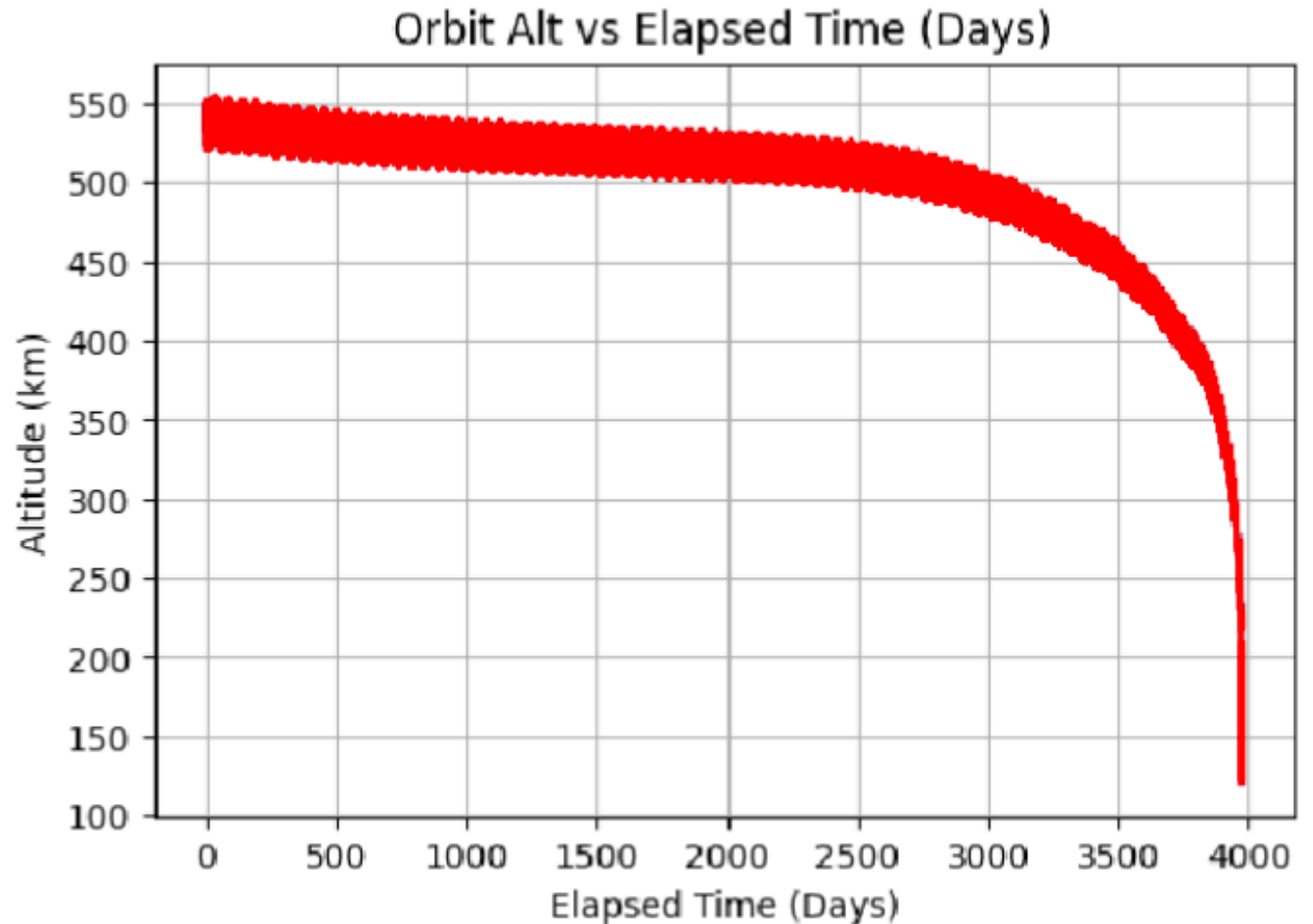
Орбита и срок жизни МКА

Условия:

- 550 км ССО
- Площадь поверх. КА: 0.01 м²
- Масса КА: 1.3 kg
- C_{drag} : 2.2
- Модель атмосферы Jacchia-Roberts
- CSSI Near-term / Schatten модель косм. погоды
- Эпоха: Jan 01, 2025

Вывод:

- Худший случай: **8.03 лет**
- В среднем: **10.90 лет**



Полезная нагрузка

Сцинтилляционный детектор частиц

Заменяемая
Плата датчиков

Бортовой модуль ПН (FPM)

- Установлен в летном КА
- Может исполнять до **12 программ**, разработанных учащимися
- Может быть адаптирован и доработан для будущих миссий
- **Изготовлен в Якутии**

Другие датчики:

- Магнитометр
- Гироскоп
- Термометры
- Датчики освещенности
- спектрометрические

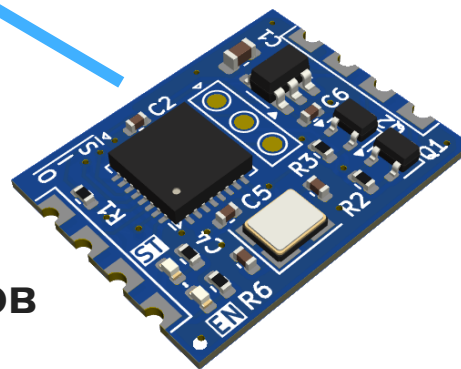
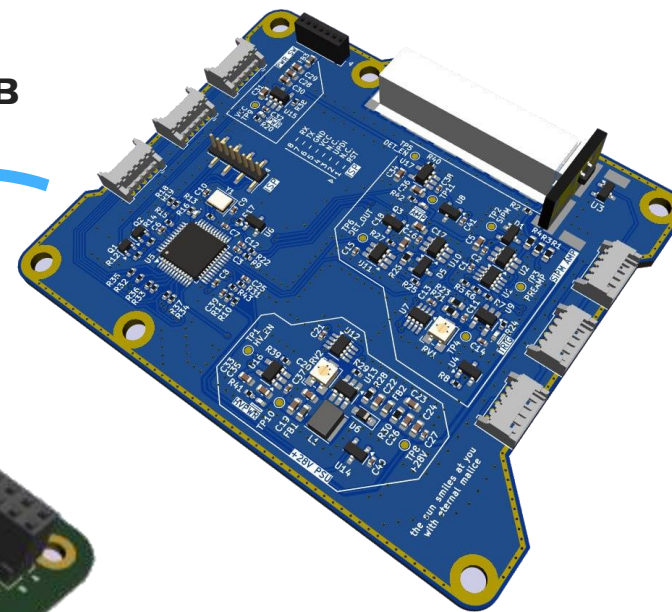
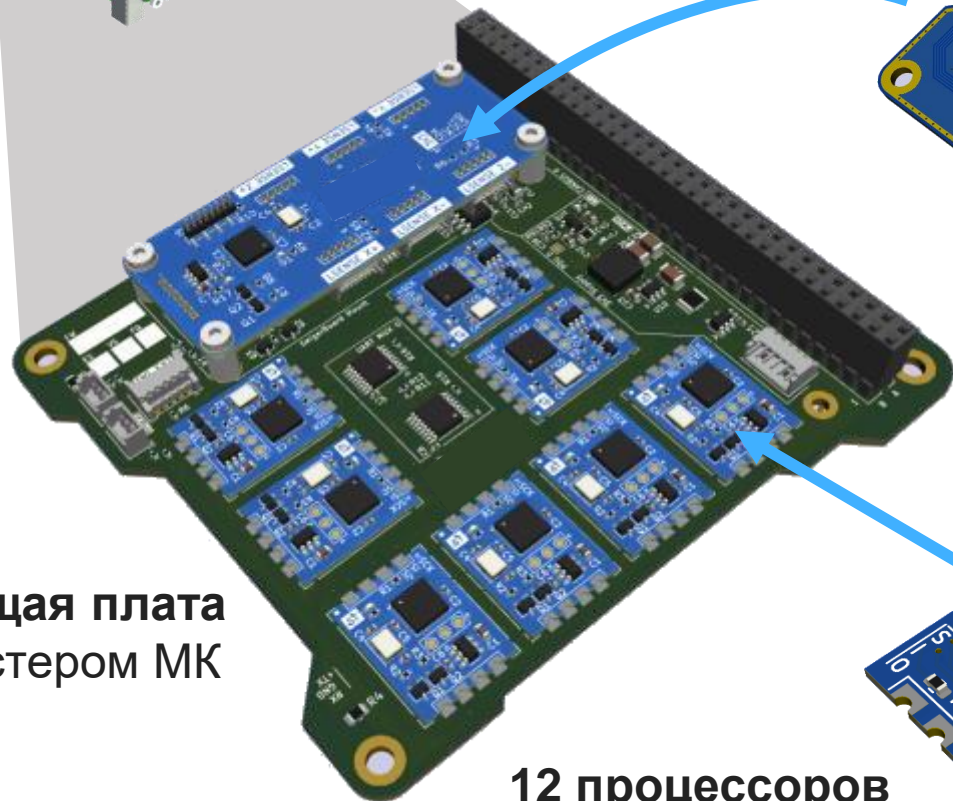
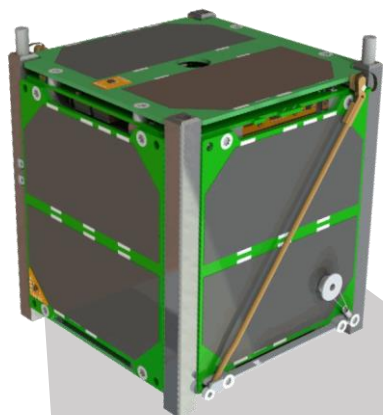
ПН имеет доступ ко всей бортовой аппаратуре.

+ Камера

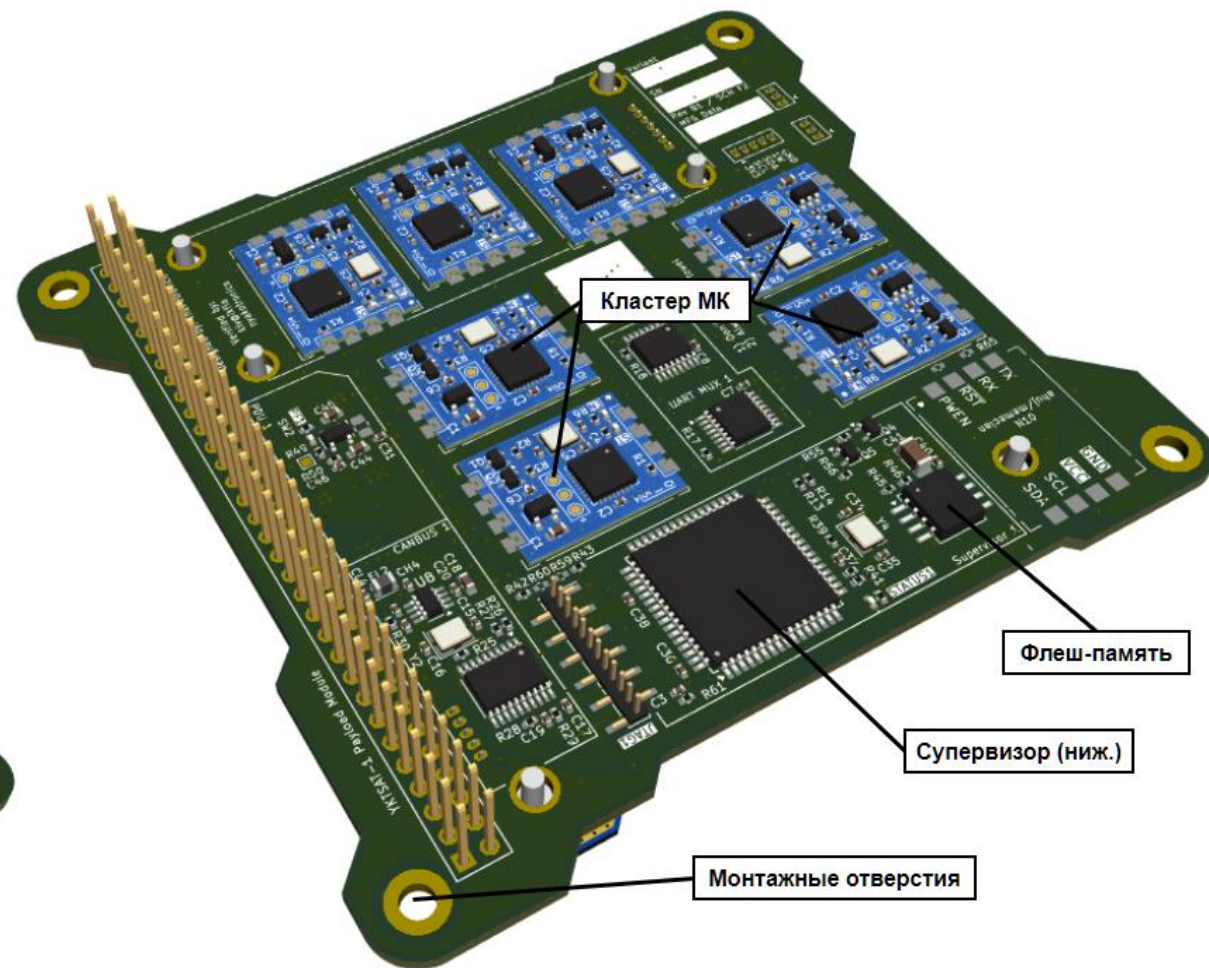
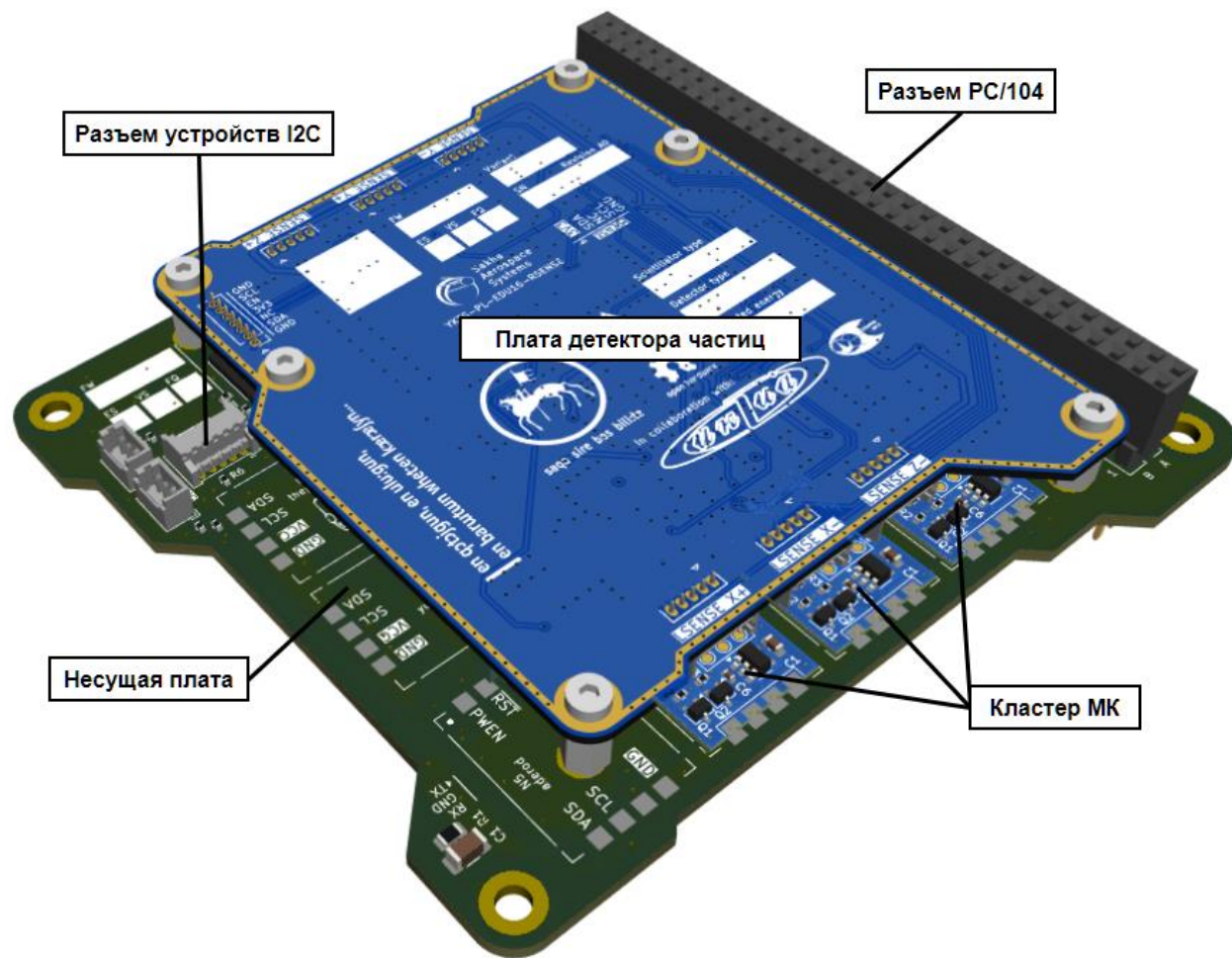


12 процессоров
Arduino

Несущая плата
с кластером МК



Конфигурация ПН



Технические характеристики:

- Масса: **73 г**
- Габариты: 95 x 90 x 14 мм, PC/104
- Потребляемая мощность:
в простое **0.245 Вт**, пиковая **0.5 Вт**

Конфигурация ПН

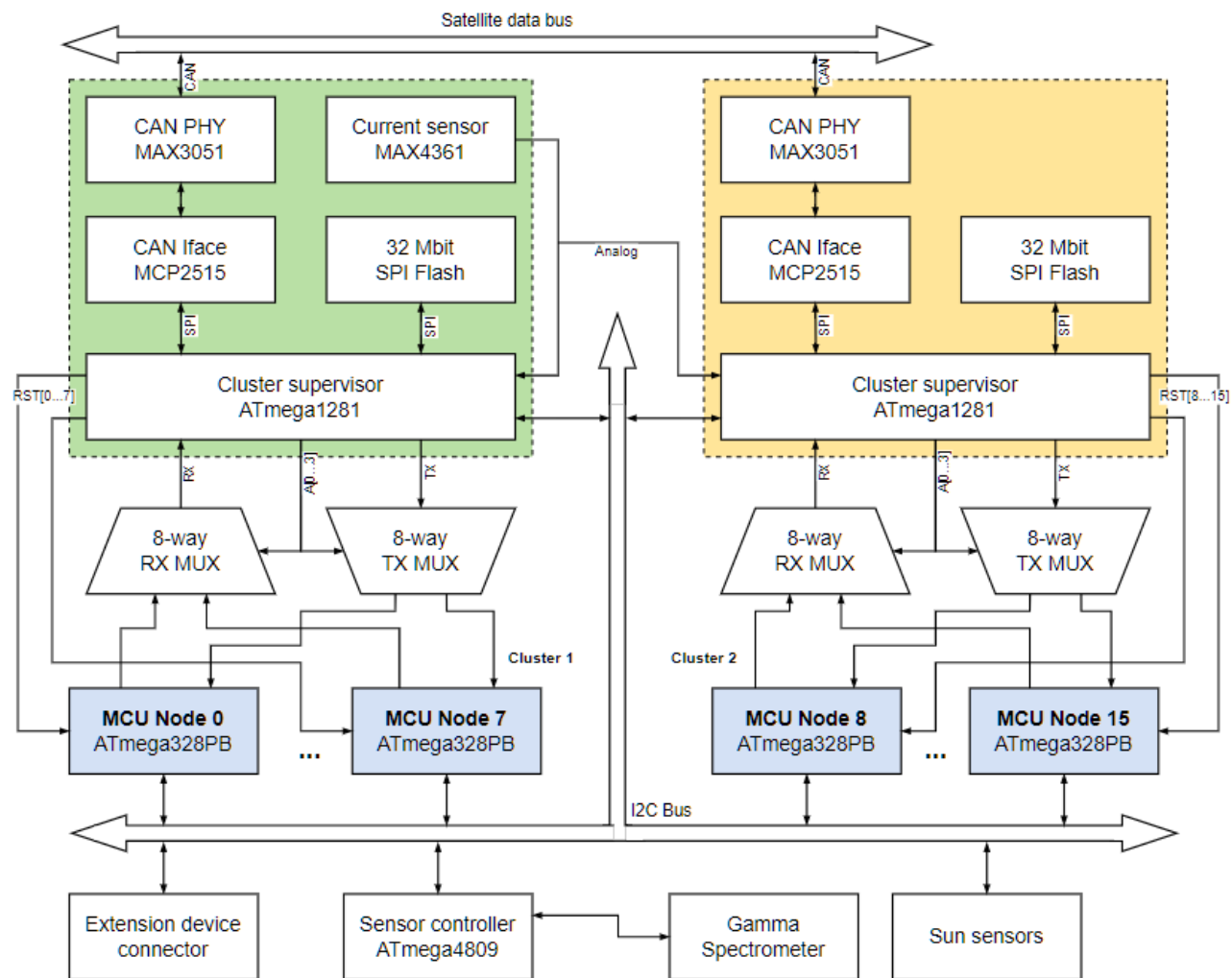


Схема обмена данными

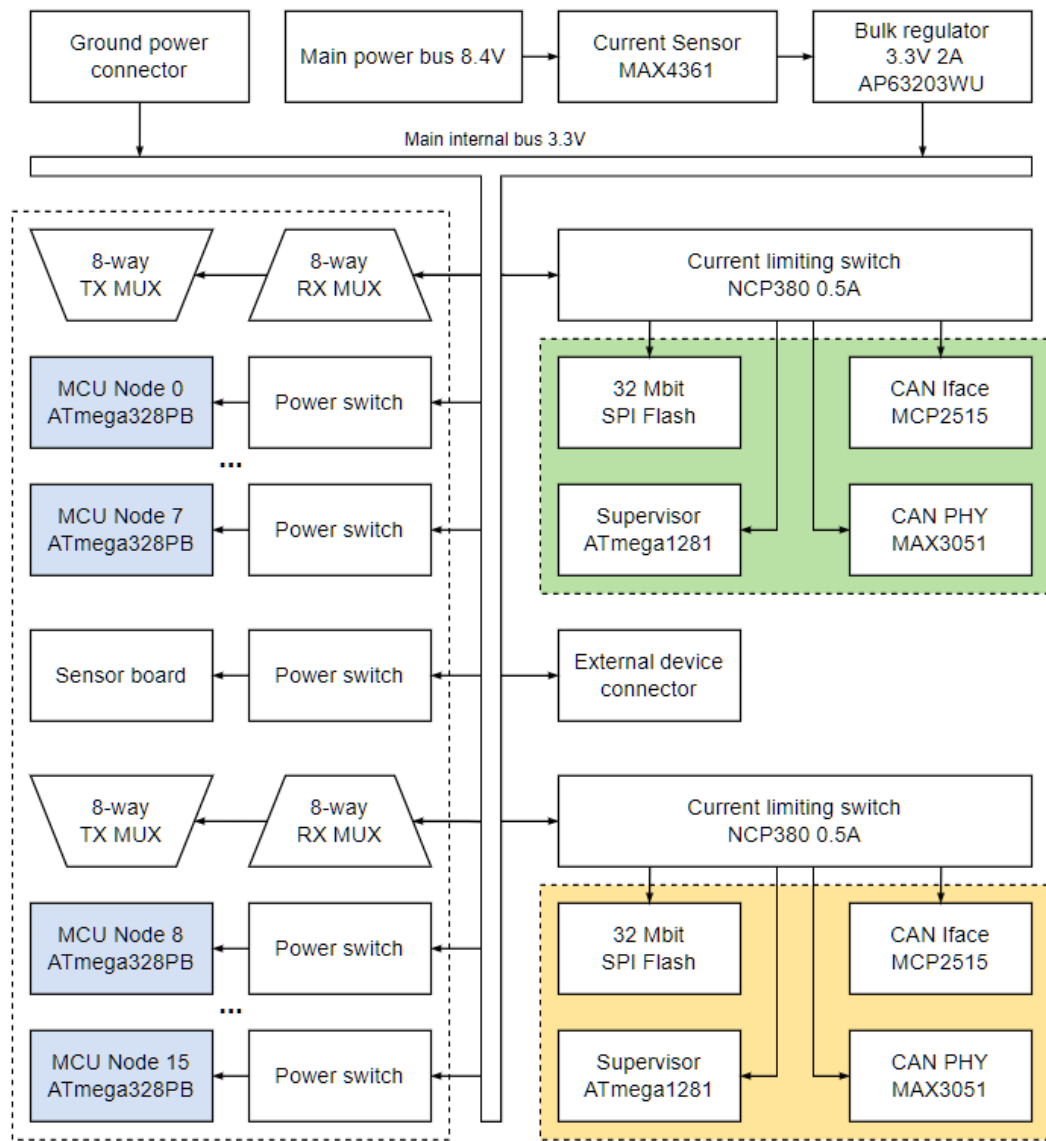


Схема управления питанием

Конфигурация ПН

Кластер микроконтроллеров, разделен на 2 группы (верхняя и нижняя)



Верхняя группа:

- 5 модулей МК ATmega328PB + супервизор ATmega1281A
- **4 МБ** флеш-памяти: **2 МБ** данные гамма-спектрометра / **2 МБ** журнал кластера МК
- Прямое подключение к UART гамма-спектрометра; возможность обновления ПО

Нижняя группа:

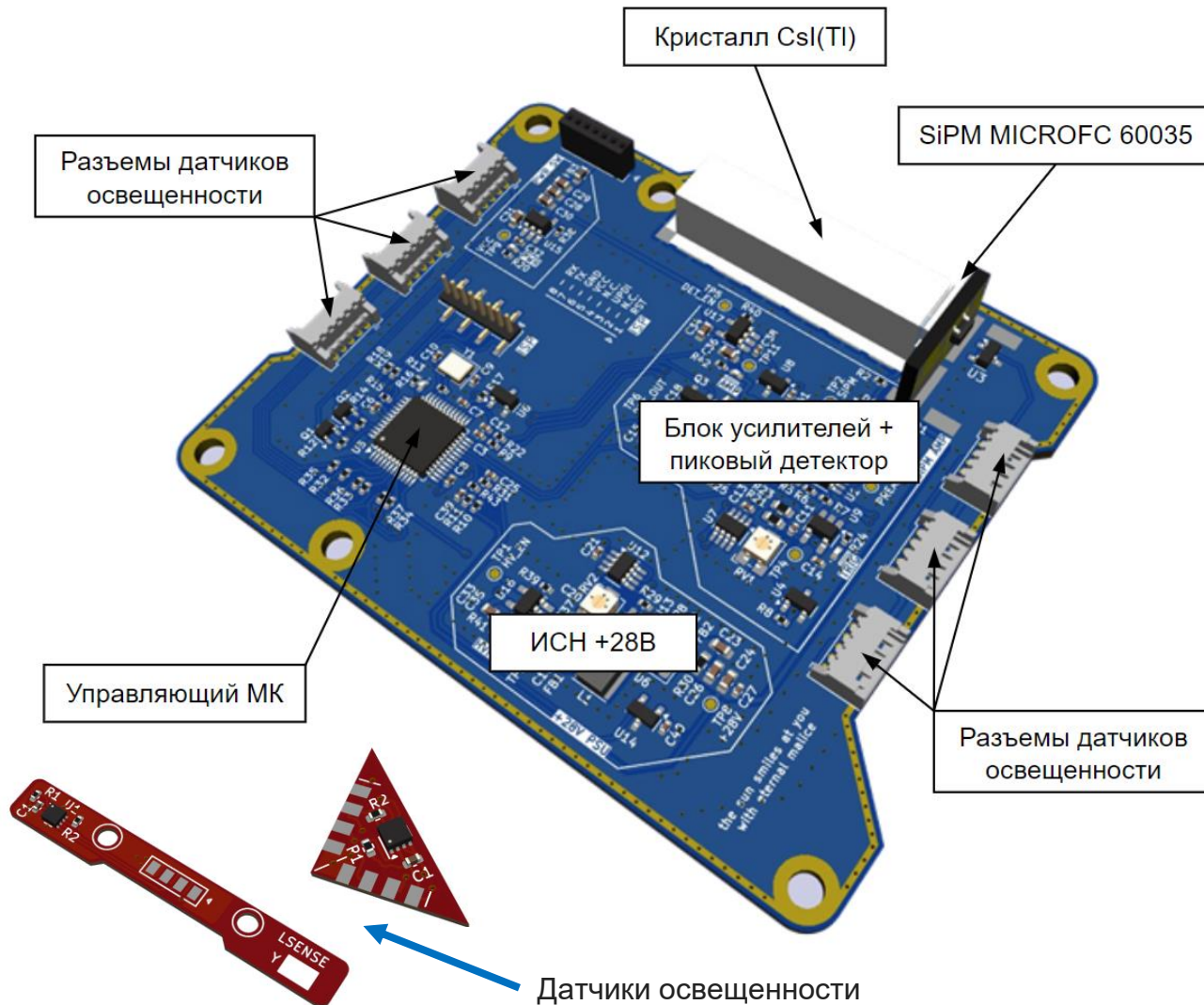
- 7 модулей МК ATmega328PB + супервизор ATmega1281A
- **4 МБ** флеш-памяти: **4 МБ** журнал кластера МК

Работа с детектором частиц возможна только на верхней группе. Обе группы могут запрашивать данные с бортовой шины МКА через супервизоры;

Обмен данными между группами через супервизоры.

При переполнении флеш-памяти данные могут быть выгружены на встроенный накопитель БВМ (4 ГБ).

Сцинтилляционный гамма-спектрометр



Исследование условий космоса

Целевая аудитория: **9-11 классы, 1-2 курсы**

- Установлен над кластером МК
- Гамма-спектрометр (6x6x25 мм CsI(Tl) сцинтиллятор, Si-ФЭУ MICROFC-60035)
- Программно-определяемые коэфф. усиления, напряжение смещения
- Температурная компенсация
- 6 датчиков освещенности на внешних панелях КА, 4 канала

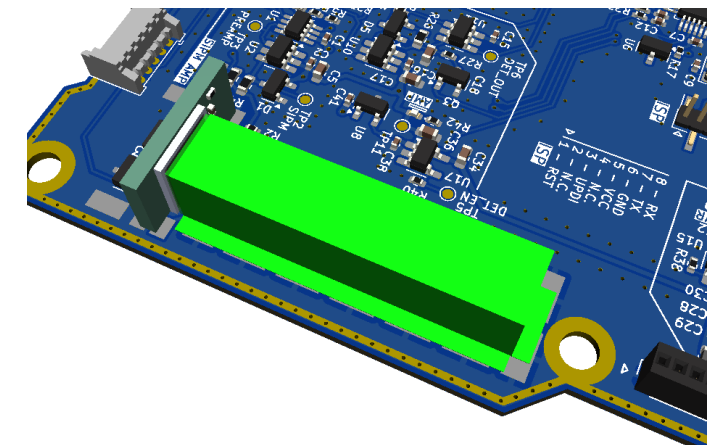
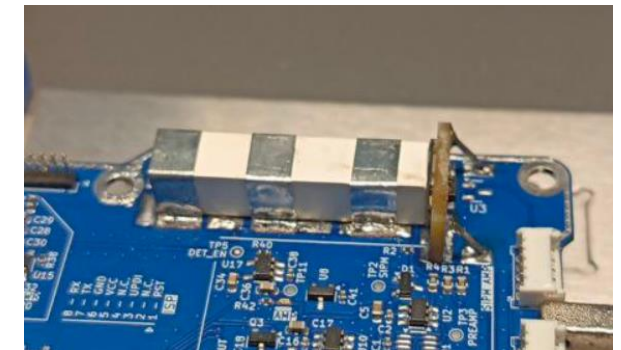
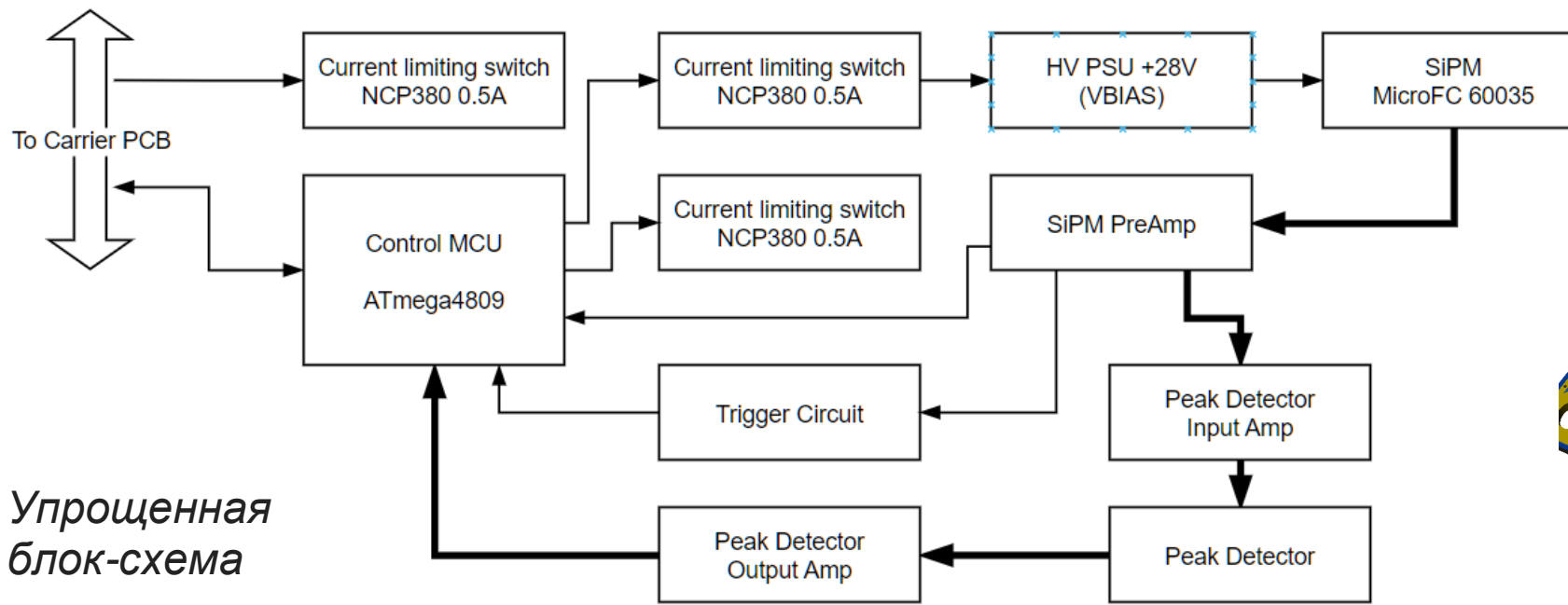
Возможные эксперименты:

- Составление карты магнитного поля Земли
- Обнаружение границ радиационных поясов
- Изучение температурного режима КА
- Определение ориентации КА по датчикам освещенности
- Обучение работе с КА

Сцинтилляционный гамма-спектрометр

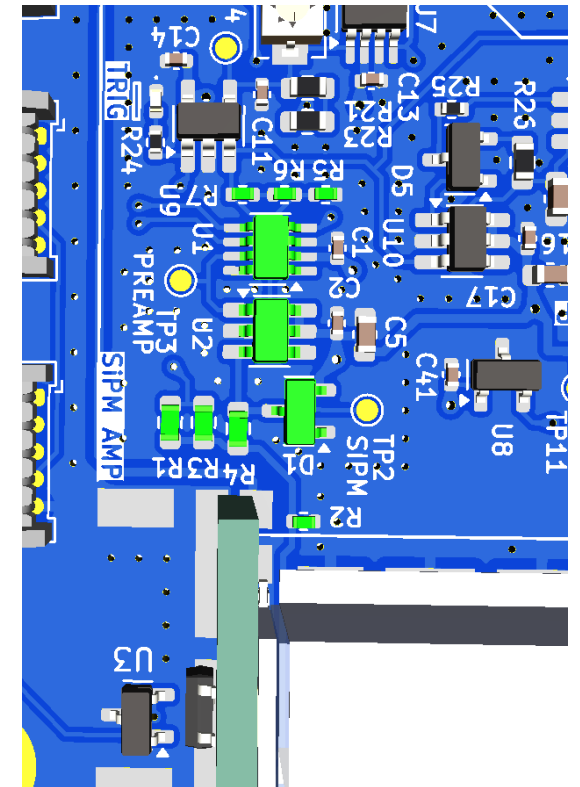
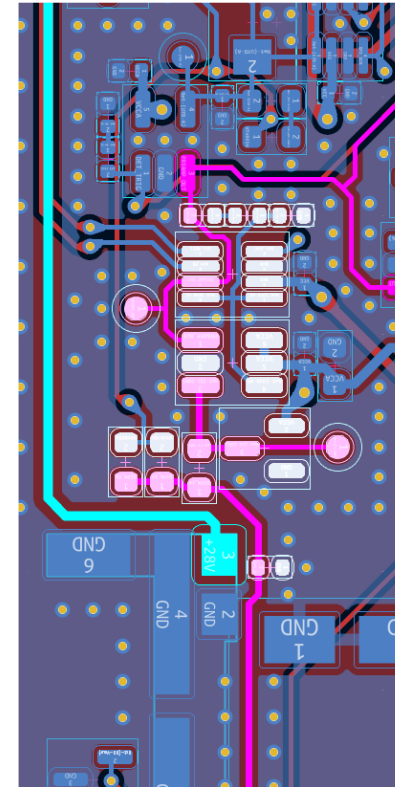
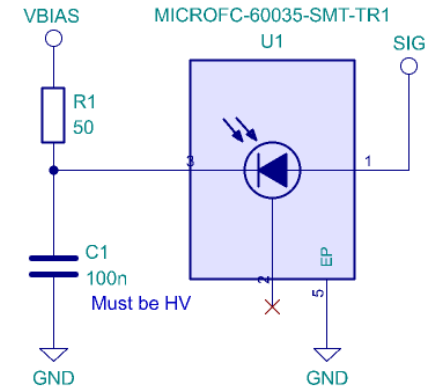
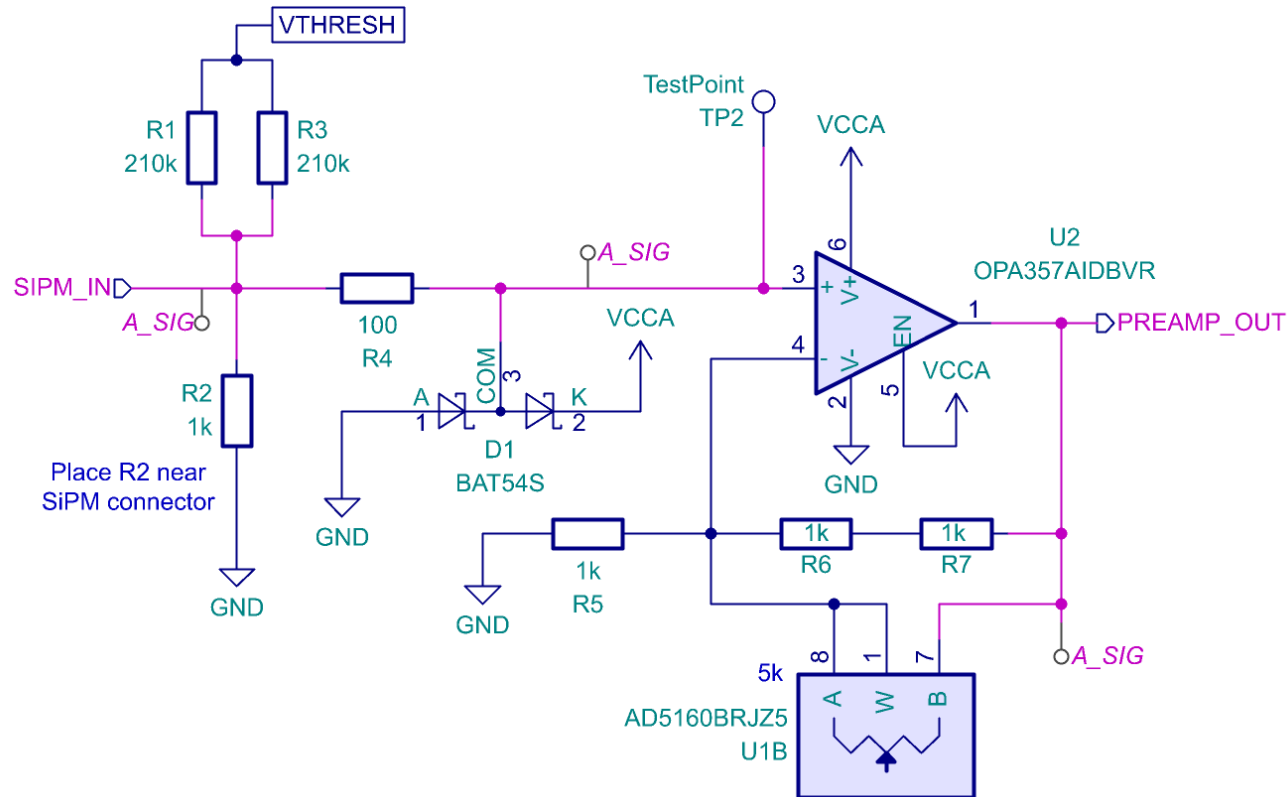
Ключевые характеристики:

- Размер кристалла 6 x 6 x 20 мм, CsI(Tl)
- Энергетическое разрешение: около **10% @ 661 кэВ ^{137}Cs ; 1024 канала**
- Диапазоны: 0.01-2 МэВ; 1-6 МэВ; 2-10 МэВ (низк. разрешение)



Входная цепь

Входная цепь построена по неинвертирующей схеме на операционном усилителе **OPA357** с коэф. усиления = 2. Микросхема цифрового потенциометра **AD5160** позволяет регулировать усиление программно. Резисторы R1, R2, R3 формируют небольшое напряжение смещения для нормальной работы усилителя.

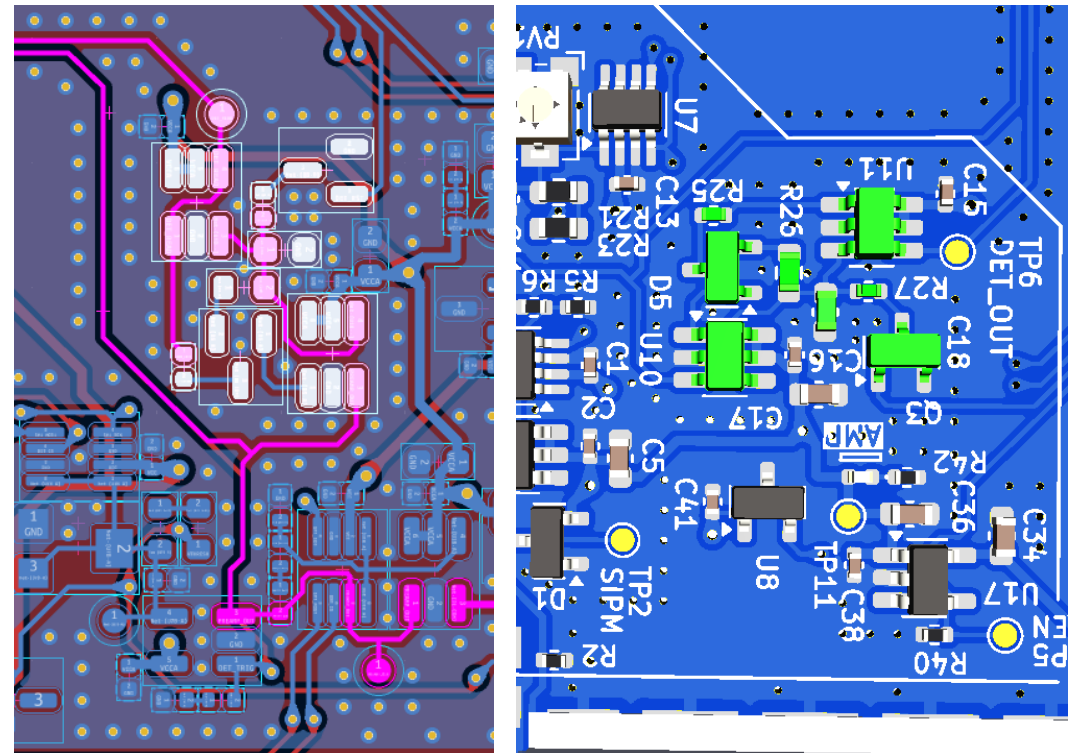
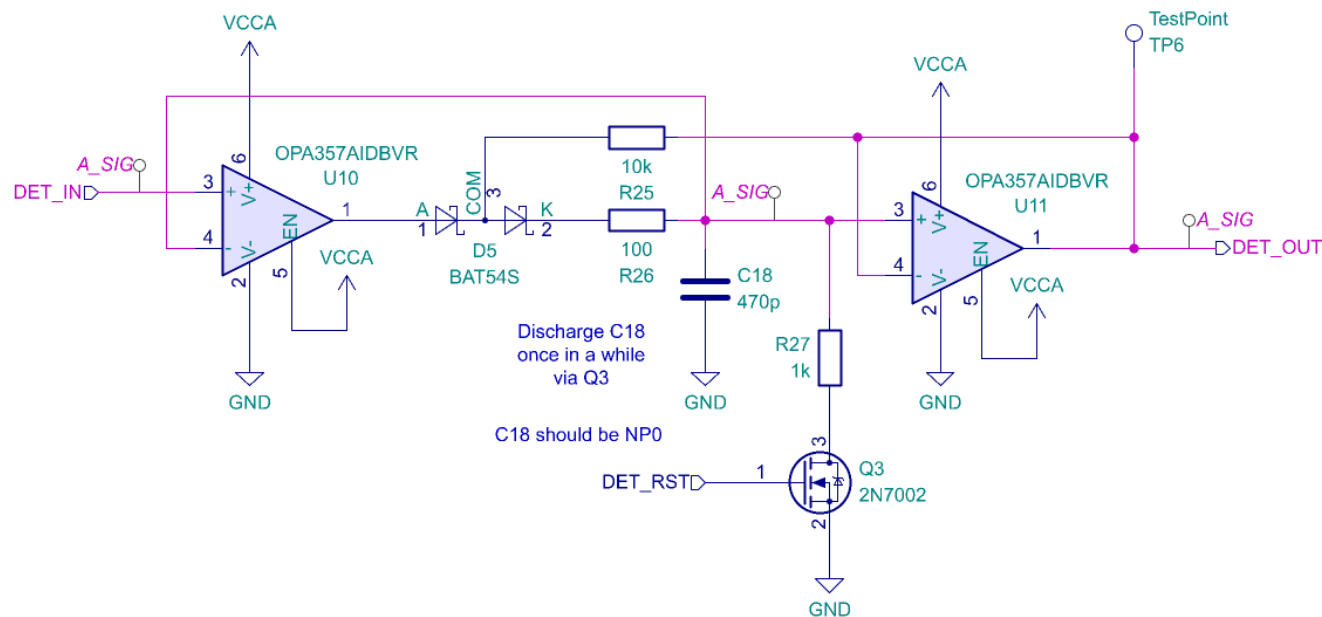


Пиковый детектор

Пиковый детектор построен с использованием двух усилителей **OPA357**, сборки диодов Шоттки **BAT54S**, конденсатора с нулевым температурным коэффициентом и цепи сброса на полевом транзисторе.

Цепь детектора обеспечивает мин. время между измерениями (dead time) ок. **1 мкс** в счетном режиме, **10 мкс** в спектрометрическом режиме. Сброс пикового детектора осуществляется сигналом с микроконтроллера.

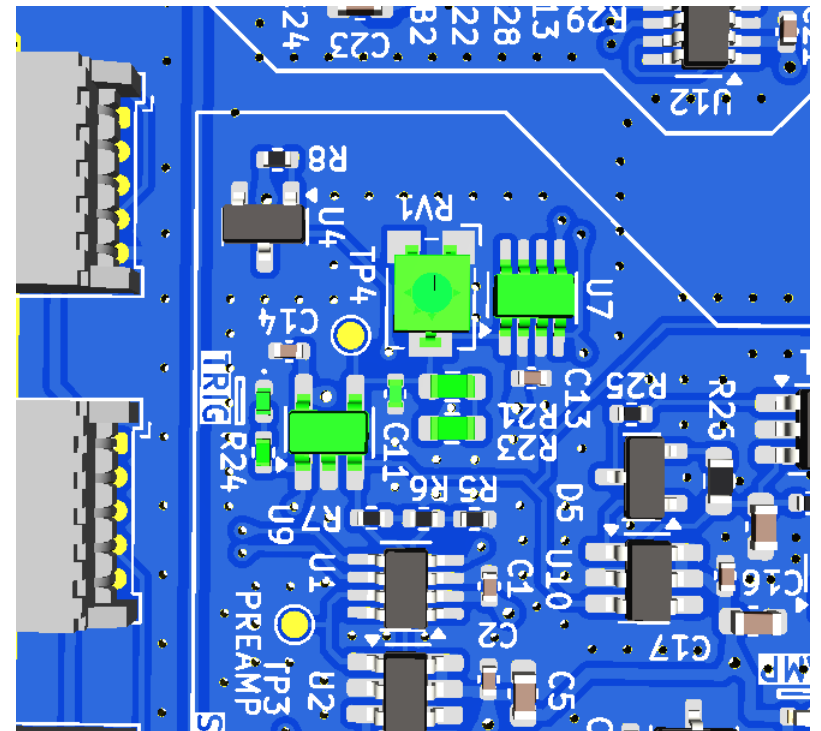
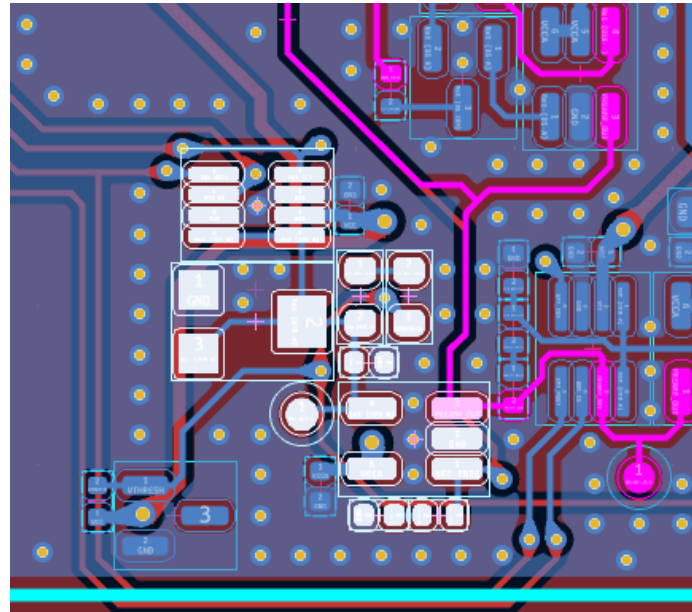
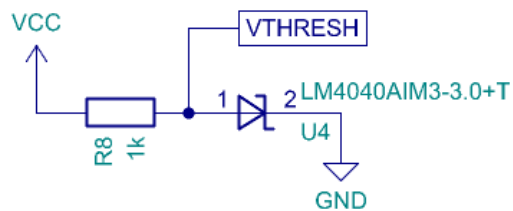
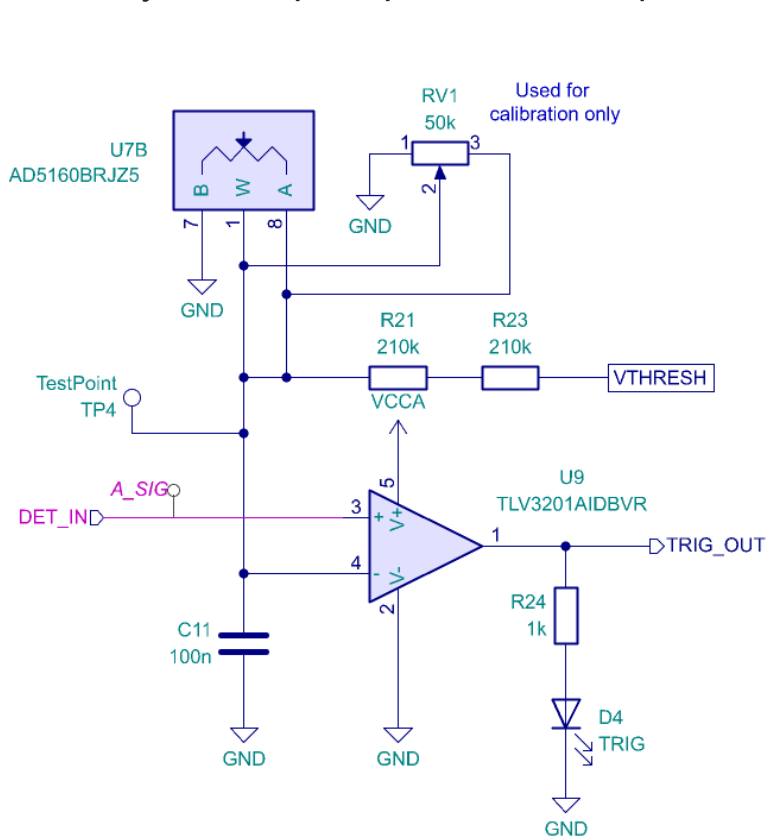
Сигнал о начале измерения для микроконтроллера формируется отдельной цепью с компаратором.



Формирователь импульсов

Формирователь импульсов построен на компараторе **TLV3201**. Порог задается цепью R21-R23-RV1 (U7); использование цифрового потенциометра позволяет программно задавать порог.

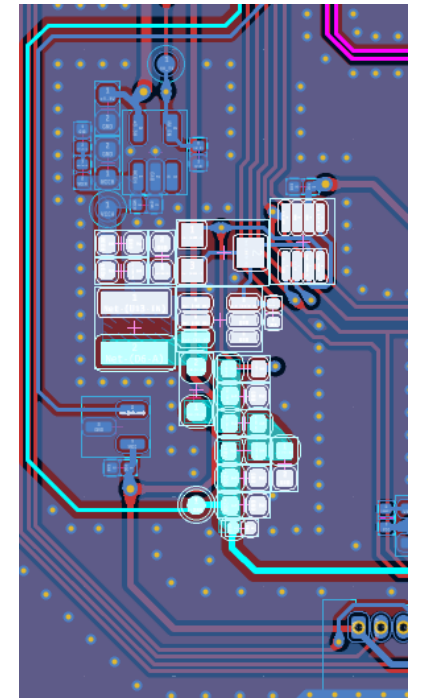
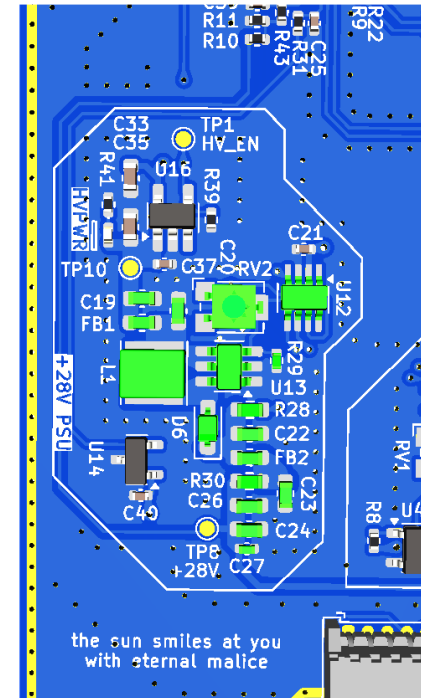
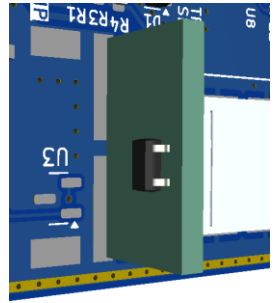
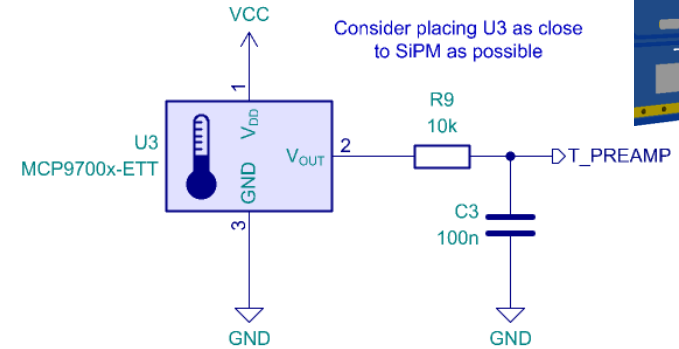
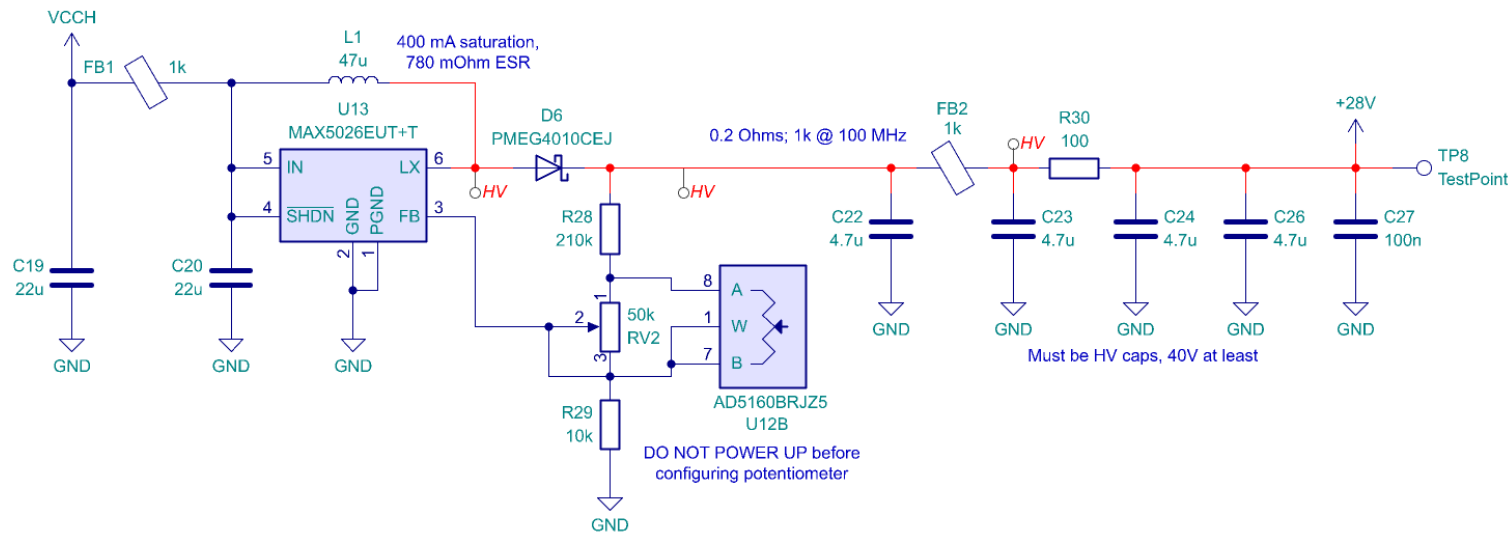
Выход TRIG_OUT подключен к управляющему МК; переход в высокий логический уровень формирует прерывание и запускает преобразование АЦП.



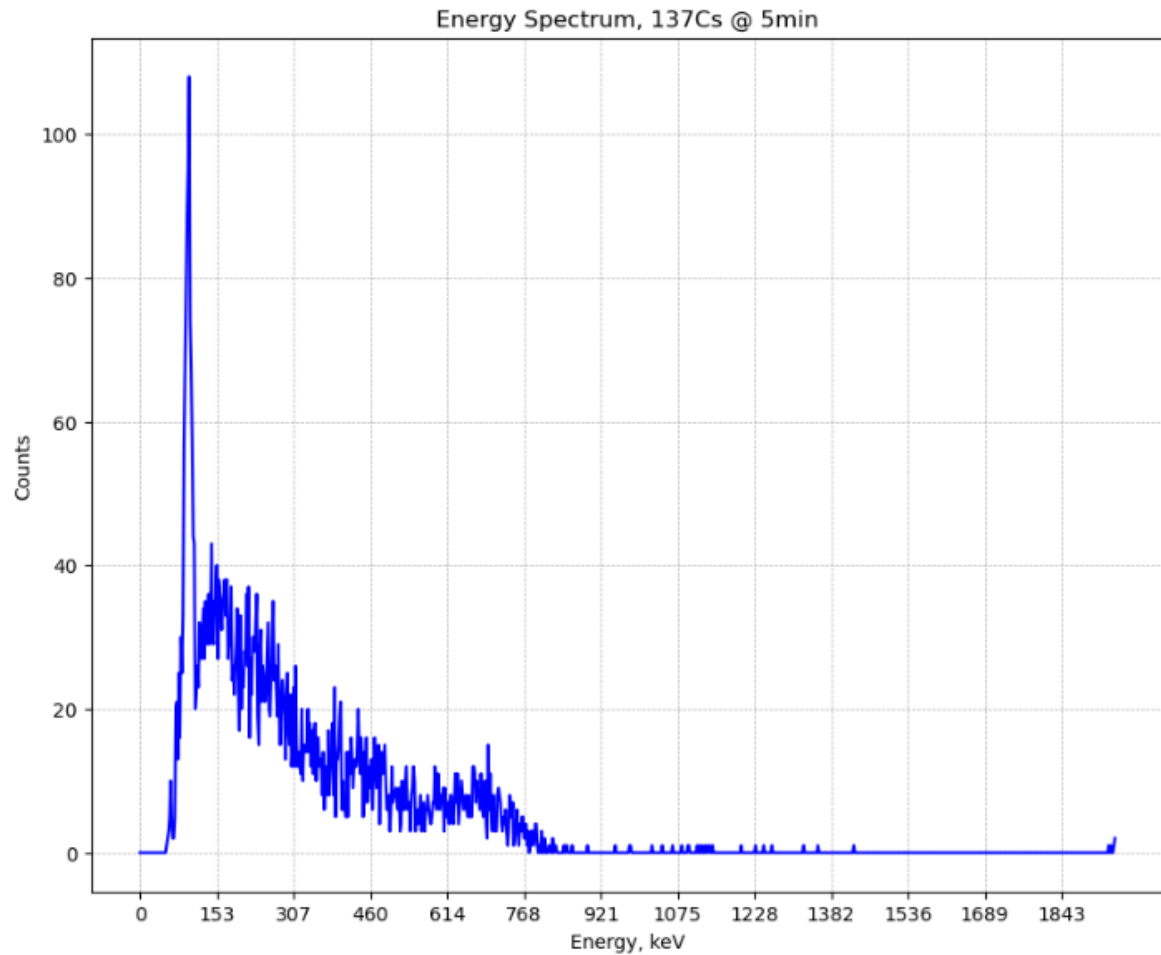
Вспомогательные узлы

Напряжение смещения +28 В для фотоумножителя формируется импульсным повышающим стабилизатором **MAX5026**. Напряжение программно регулируется цифровым потенциометром.

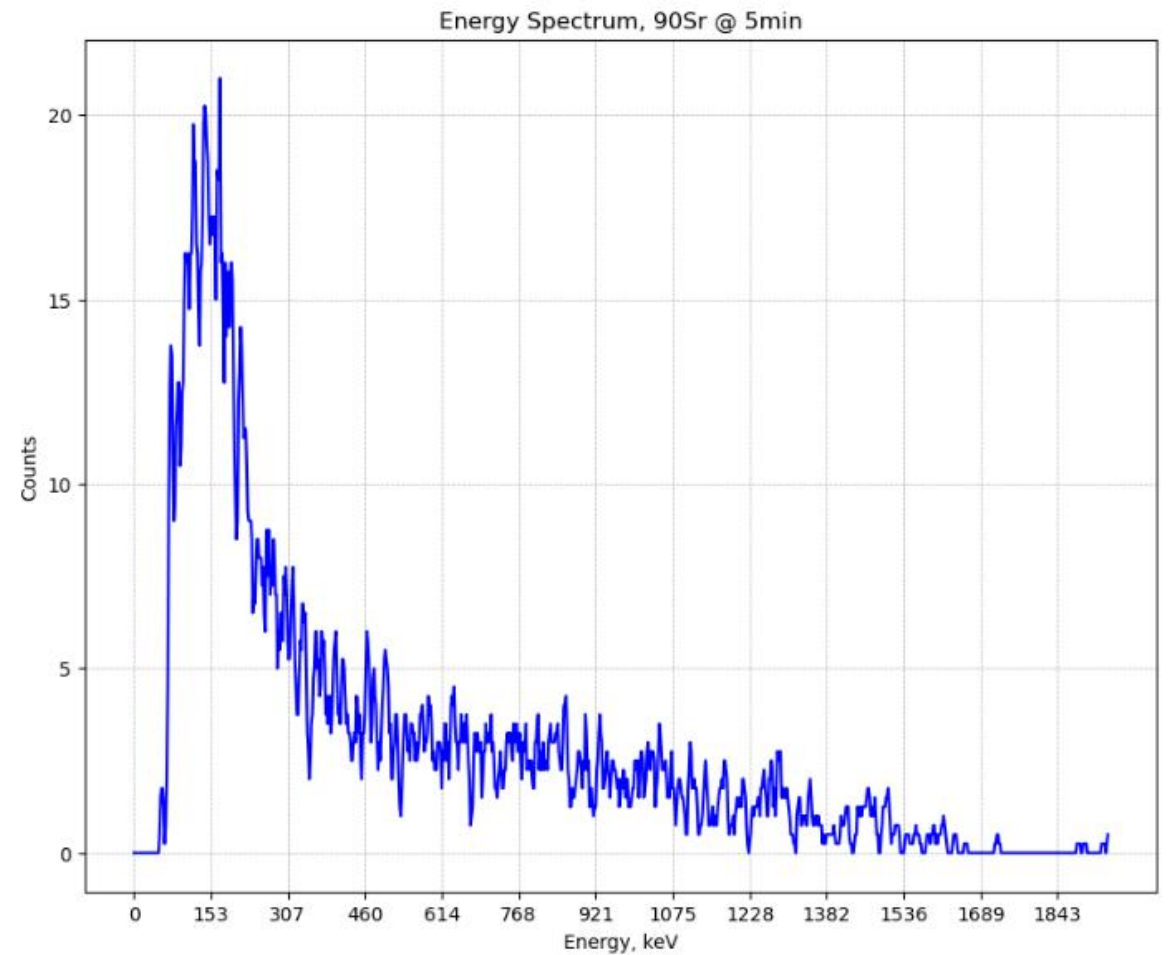
Все ключевые узлы оснащены термометрами. Температурная компенсация обеспечивается регулировкой напряжения смещения в зависимости от температуры.



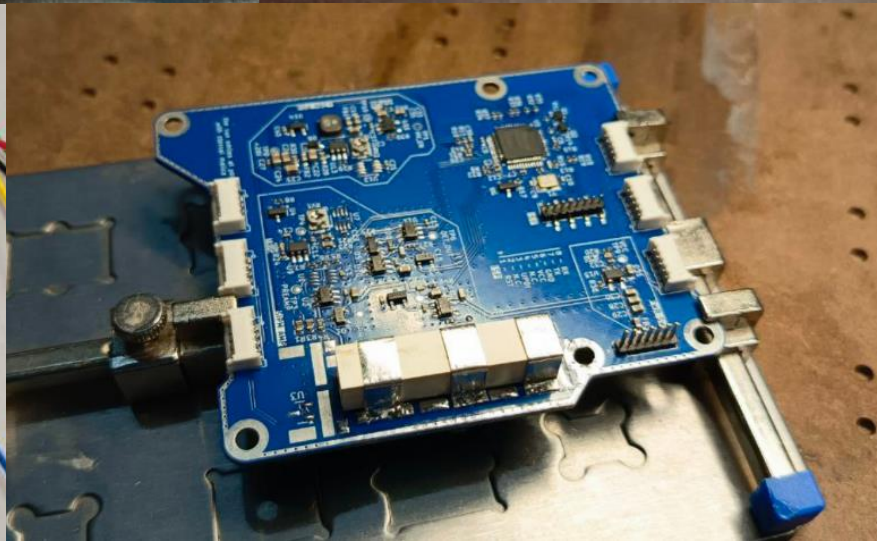
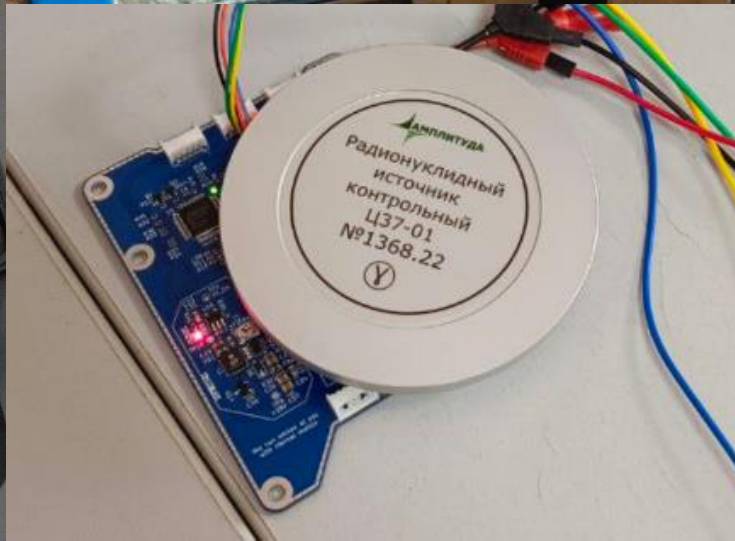
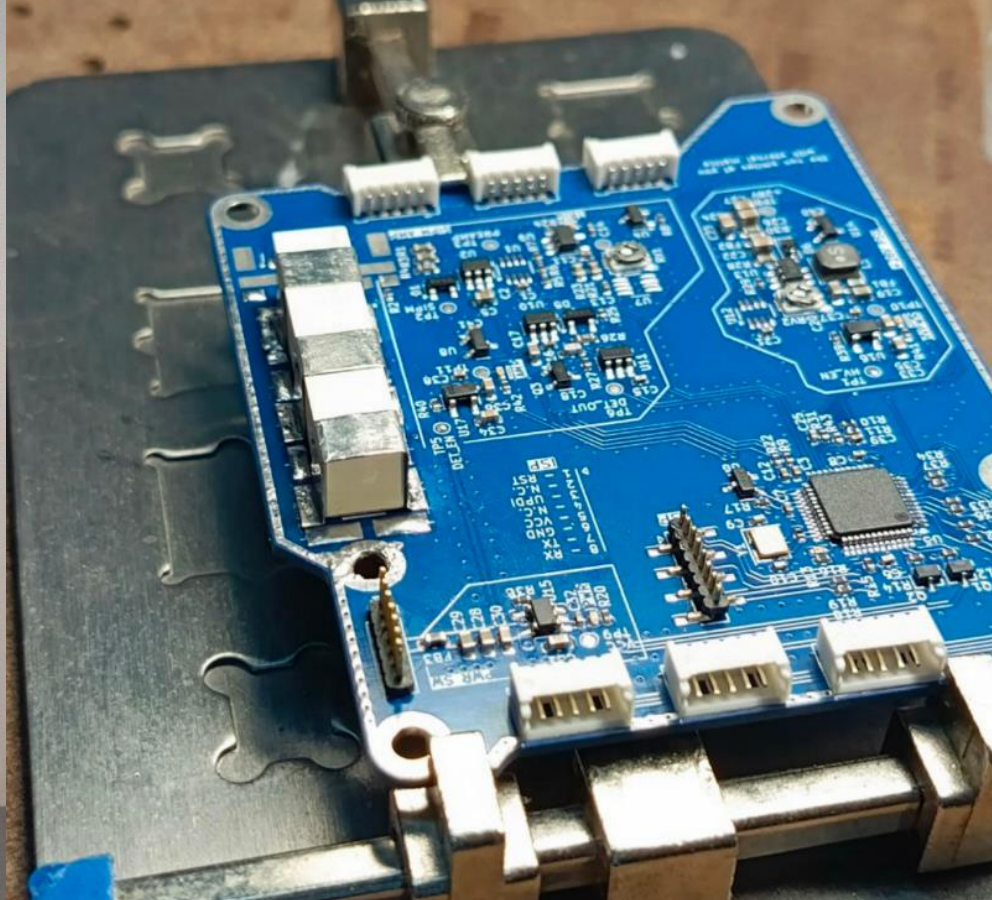
Предварительные результаты испытаний

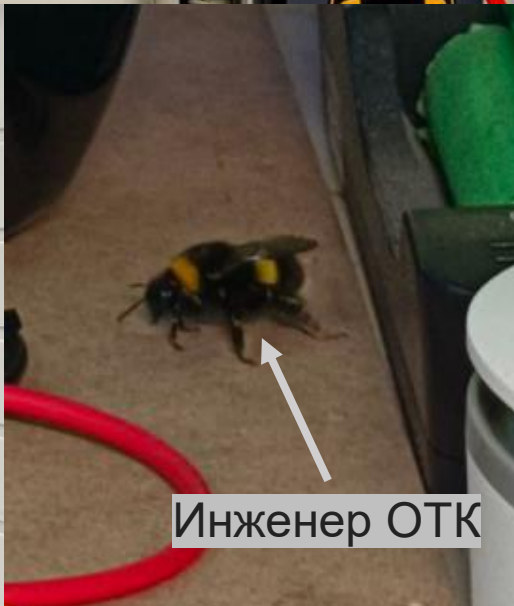
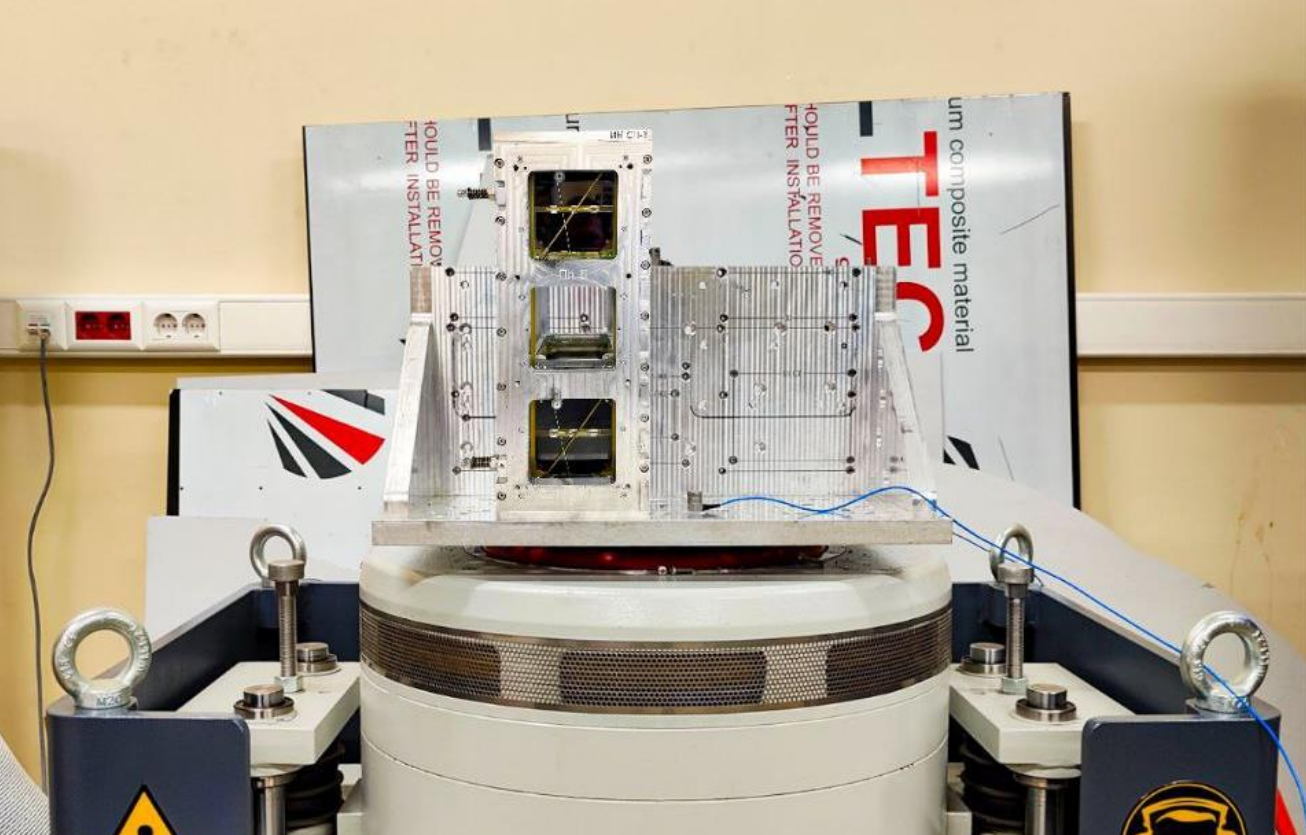


Спектр ^{137}Cs (включая фон), 5 минут



Спектр ^{90}Sr (включая фон), 5 минут





Инженер ОТК

Сбор данных с детектора

2 режима работы: **счетный** и **спектрометрический**

Счетный режим: запись количества импульсов/сек + timestamp

300 байт/мин → **~4 суток накопления**

Спектрометрический режим: запись спектра (1000 байт) раз в минуту + timestamp

1 кбайт/мин → **~1 сутки накопления**

УКВ радиоканал позволяет передавать не менее **4 МБ данных/сутки** (скорость 9600 бит/с) при использовании двух земных станций (МАН РС(Я), СибГУ Красноярск)

Таким образом, возможна непрерывная работа детектора в спектрометрическом режиме.

Наличие поля timestamp в данных позволяет выполнить привязку измерений к местоположению КА. Точность определения местоположения **не хуже 10 км**.

Данные будут размещаться в открытом доступе.

Заключение

Представлены **предварительные результаты** испытаний. Ведется доработка прибора. Будут внесены следующие изменения в программное обеспечение:

1. Использование специального режима работы МК ADC Noise Reduction во время измерений.
2. Выполнение нескольких измерений и усреднение перед сбросом пикового детектора.
3. Изменение настроек АЦП для минимизации шумов.

Следующие дополнительные испытания будут проведены в ближайшем будущем:

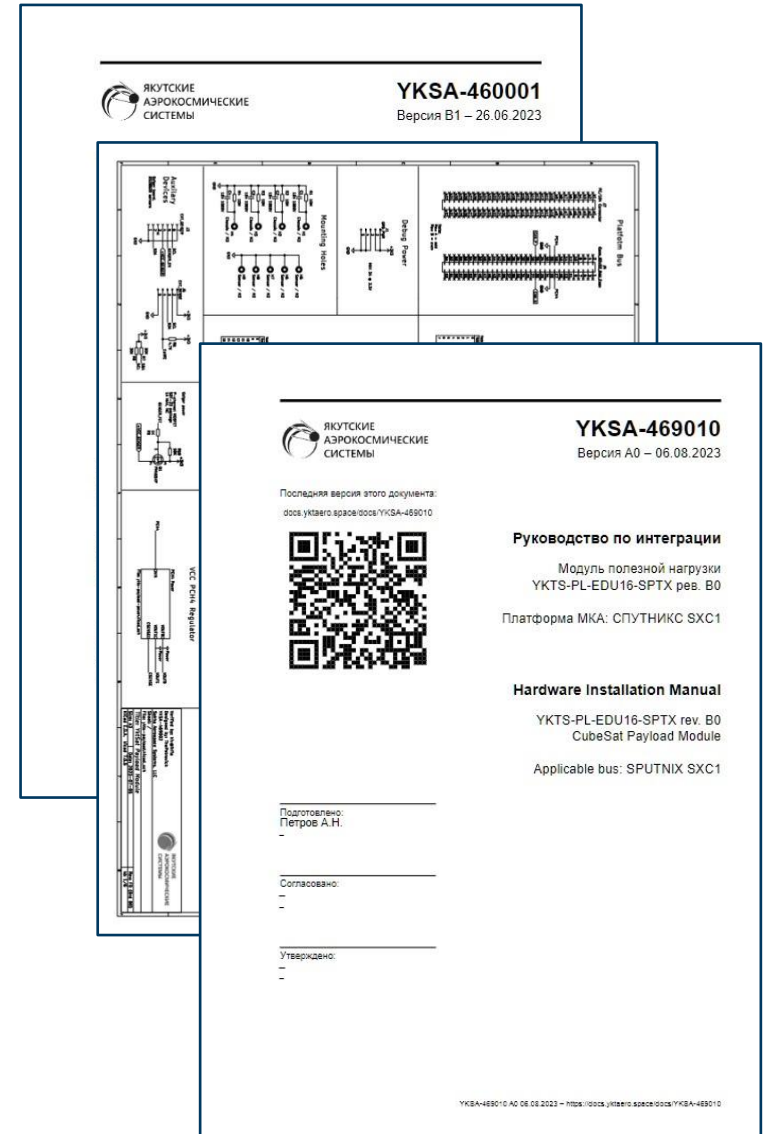
1. Спектр фонового излучения @ 3 часа
2. Спектр фонового излучения при температуре -20 град. С. @ 3 часа
3. Спектр ^{137}Cs @ 1 час; спектр ^{90}Sr @ 1 час; спектр ^{241}Am @ 1 час; спектр ^{40}K @ 6 часов
4. Спектр ^{40}K при температуре -20 град. С. @ 6 часов

Документация

Техническая документация по проекту доступна на сайте

docs.yksa.space

Конструкторская документация, прошивки и калибровочные данные будут опубликованы под открытыми лицензиями после запуска МКА.



Следите за новостями

Подробную информацию и новости проекта
можно найти на сайте:

www.yksa.space/projects/sakhascube-cholbon



Разработка полезной нагрузки для малого космического аппарата «Чолбон»

Докладчик:

Петров Андрей Николаевич

b11501091@ntu.edu.tw

Ведущий инженер, ООО «ЯКС» / Студент 4 курса, Национальный Университет Тайваня

Соавторы:

Илларионов Тимур Андреевич

illarionov.ta@yksa.space

Генеральный директор, ООО «ЯКС» / Педагог ДО, ГАНУО РЦ РС(Я) «МАН РС(Я)»

Мардин Артем Александрович

mardin.aa@yksa.space

Инженер-конструктор, ООО «ЯКС»

Иванов Карл Артурович

ivanov.ka@yksa.space

Инженер-программист, ООО «ЯКС» / Педагог ДО, МАНУО «ДДТ им.Ф.И.Авдеевой»

Благодарности

Выражаем благодарность:

Коллективу ГАНОУ РЦ РС(Я) «МАН РС(Я)» и Целевому фонду будущих поколений за материальную и финансовую поддержку;

Игорю Владимировичу Ксенофонтову и коллективу ИКФИА СО РАН за помощь с разработкой схемотехники детектора и модуля ПН;

НИИЯФ МГУ за безвозмездное предоставление двух фотодетекторов MICROFC 60035;

Коллективу радиологической лаборатории ФБУЗ ЦГиЭ РС(Я) г. Якутск за помощь с проведением испытаний;

Проекту OpenGammaProject за референсные схемы.

ИСТОЧНИКИ

1. СПУТНИКС - Интерфейсный контрольный документ SXC1 и SXC3 [Электронный ресурс]. URL: <https://sputnix.ru/ru/platformyi/interfejsnyij-kontrolnyij-dokument-icd> (дата обращения: 04.08.2025).
2. Geeroms D. [и др.]. ARDUSAT, an Arduino-based cubesat providing students with the opportunity to create their own satellite experiment and collect real-world space data / D. Geeroms, S. Bertho, M. De Roeve, R. Lempens, M. Ordies, [и др.], ESA Publications Division C/O ESTEC, 2015.
3. Ханов В. Х., Зуев Д. М., Шахматов А. В. РЕАЛИЗАЦИИ ПОЛЕЗНОЙ НАГРУЗКИ НАНОСПУТНИКА ReshUCube КАК РЕКОНФИГУРИРУЕМОЙ КОСМИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», 2021.С. 418–419.
4. Bonifacio D. A. B. [и др.]. Open-source hardware and cost-effective gamma-ray spectrometer using Raspberry Pi Pico // Radiation Physics and Chemistry. 2025. (234). С. 112728.