

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВ ФОРМАТА КУБСАТ ДЛЯ МОНИТОРИНГА КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ТРАНЗИЕНТОВ

В.В. Богомолов^{1,2}, А.В. Богомолов¹, А.Ф. Июдин¹, В.В. Калегаев¹, В.И. Оседло¹,
А.А. Мути^{1,2}, О.Ю.Перетяцько¹, М.И. Прохоров^{1,2}, С.И. Свертилов^{1,2}, Ю.К.Зайко¹

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, физический факультет

bogovit@rambler.ru

В рамках космической программы Московского университета в 2023 году на солнечно-синхронную орбиту будет запущено несколько наноспутников. Среди них спутник Авион, выполненный в стандарте кубсат-6U, и ряд спутников в стандарте кубсат-3U: Монитор-2,3,4, Sirius-SINP-3U, UTMN2. Все эти спутники будут оснащены научной и образовательной полезной нагрузкой, разработанной в НИИЯФ МГУ – одним или несколькими приборами ДеКоР (Детектор Космической Радиации), предназначенными для изучения временных и спектральных характеристик электронов и гамма-излучения. Предметом исследования будут космические гамма-всплески, вспышки на Солнце, высыпания электронов и вариации потоков частиц, связанные с солнечной активностью.

Приборы семейства ДеКоР, предназначенные для запуска в 2023г, - это сцинтилляционные спектрометры, аналогичные запущенным ранее приборам ДеКоР, с помощью которых в течение нескольких лет проводились исследования околоземных потоков электронов на спутниках ВДНХ-80, Норби и нескольких других наноспутниках формата кубсат [1] [2]. Детекторный элемент приборов ДеКоР этой версии представляет собой комбинацию пластикового сцинтиллятора толщиной ~3 мм и кристалла CsI (Tl) толщиной ~10 мм чувствительной площадью 18 см², просматриваемую двумя миниатюрными ФЭУ. В некоторых дальнейших модификациях вместо ламповых ФЭУ использовались сборки полупроводниковых фотоприемников типа SiPM.

На рис. 1 приведена блок-схема, поясняющая функционирование прибора ДеКоР. Электроника прибора проводит анализ формы предварительно усиленного импульса с выхода фотоприемников, определяя тип сцинтиллятора, в котором произошло взаимодействие. Для этого производится раздельное интегрирование начальной части сигнала (за первые ~0.5 мкс от момента взаимодействия) и последующей его части, в результате чего формируются сигналы так называемых быстрой и медленной компонент, раздельно для каждого ФЭУ. Эти сформированные сигналы оцифровываются с помощью АЦП микроконтроллера, проводящего их дальнейшую обработку.

Выходные данные формируются в приборе как в виде мониторинга (скорость счета в нескольких каналах, соответствующих определенному сорту частиц и энергии), так и в виде подробной записи в событийном формате, когда для каждого случая взаимодействия в детекторе записывается набор амплитуд и точное время по таймеру с разрешением ~1 мкс. Данные хранятся в энергонезависимой памяти полезной нагрузки, откуда могут быть переданы либо непосредственно на радиопередатчик спутника, либо в память бортового компьютера. Таким образом, в ходе космического эксперимента можно выбрать наиболее важные разделы данных для передачи на Землю в первичном виде с учетом ограничения на объем передаваемых данных, что позволяет проводить исследования быстрой переменности измеряемых потоков радиации [3].

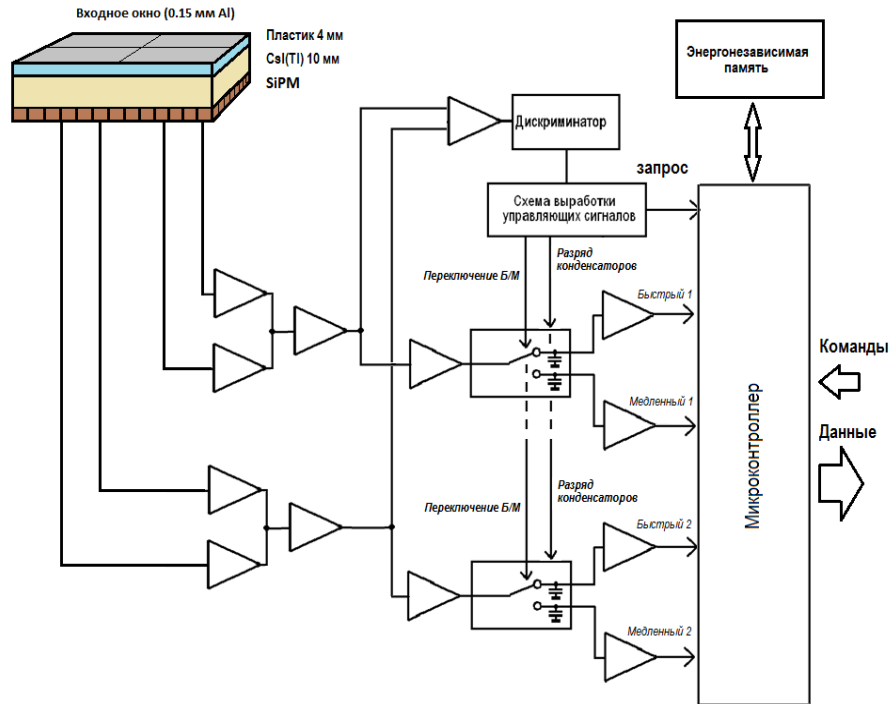


Рисунок 1 – Блок-схема прибора ДеКоР

Модифицированные детекторы ДеКоР, установленные на спутниках, запуск которых назначен на 2023 год, различаются чувствительной областью, оптимизированной для решения отдельных научных задач. Все спутники 2023 года будут оснащены прибором ДеКоР-2, оптимизированным для обнаружения и изучения космических гамма-всплесков различной природы. Этот прибор имеет эффективную площадь, увеличенную до $\sim 64 \text{ см}^2$, что необходимо как для повышения чувствительности при поиске слабых всплесков, так и для улучшения временного разрешения, которое определяется в первую очередь статистикой регистрируемых гамма-квантов. Составной сцинтилляционный детектор, состоящий из пластикового сцинтиллятора толщиной 3 мм и CSI (TI) толщиной 9 мм в форме квадрата со стороной 8 см просматривается сборкой кремниевых фотоумножителей (SiPM). Использование комбинации пластикового кристалла, с которым гамма кванты практически не взаимодействуют, и кристалла, имеющего высокую эффективность регистрации гамма-квантов, обеспечивает раздельное детектирование гамма-излучения и электронов в диапазоне энерговыведения от 20 кэВ до 1 МэВ. Это позволяет различать случаи роста показаний, вызванные космическими гамма-всплесками и высыпаниями электронов, что очень важно при проведении эксперимента по изучению гамма-всплесков на полярной орбите.

В приборах ДеКоР-2 используются две идентичных платы электроники, регистрирующих события в половине сцинтилляционного детектора. Каждая из этих плат содержит свои микросхемы аналоговой электроники и преобразователи питания, а также свой микроконтроллер, производящий обработку сигналов, накопление данных и их передачу бортовым системам по интерфейсу CAN. Такая архитектура прибора не только повышает надежность, но и увеличивает динамический диапазон прибора, а также позволяет сопоставлять вариации потока, наблюдаемые независимыми частями детектора.

Спутники Монитор-3, Монитор-4, Sirius-SINP-3U и UTMN2 оснащены прибором ДеКоР-2, установленным в торце кубсата 3U в качестве единственной полезной нагрузки. Управление и получение данных с этих космических аппаратов осуществляется в любительском УКВ диапазоне частот (~435 МГц). Ожидаемый объем научной информации с этих спутников составляет ~0.5 Мб в сутки в расчете на одну приемную станцию. Спутники Авион и Монитор-2, выполненные на платформах, разработанных НИЛАКТ ДОСААФ (г. Калуга) имеют кроме УКВ приемника/передатчика радиомодуль, осуществляющий передачу данных в S-диапазоне, который позволяет увеличить объем передаваемой научной информации до ~100 Мб в сутки.

Полезная нагрузка спутника Авион (кубсат 6U) включает в себя набор из трех различных приборов типа ДеКоР, характеристики которых дополняют друг друга. Кроме прибора ДеКоР-2, описанного выше, в состав комплекса входит спектрометр ДеКоР-1, аналогичный предшествующим вариантам прибора со сцинтилляторами площадью 18 см², наблюдаемый двумя обычными ФЭУ. Он предназначен в первую очередь для изучения быстрых вариаций потока электронов в диапазоне выделения энергии от 50 кэВ до 2 МэВ в различных частях околоземного пространства, а также для мониторинга потоков солнечных космических лучей. Устройство ДеКоР-3 добавлено для расширения диапазона регистрируемого гамма-излучения в область высоких энергий до 5 МэВ. Его основная цель - измерение спектров гамма-излучения солнечных вспышек и космических гамма-всплесков. Детектирующим элементом этого узла является сцинтилляционный кристалл CsI(Tl) размером 30x30x30 мм³. Фоновый спектр гамма-излучения, измеренный в лаборатории с помощью прибора ДеКоР-3 в ходе наземной отработки, приведен на рис. 2.

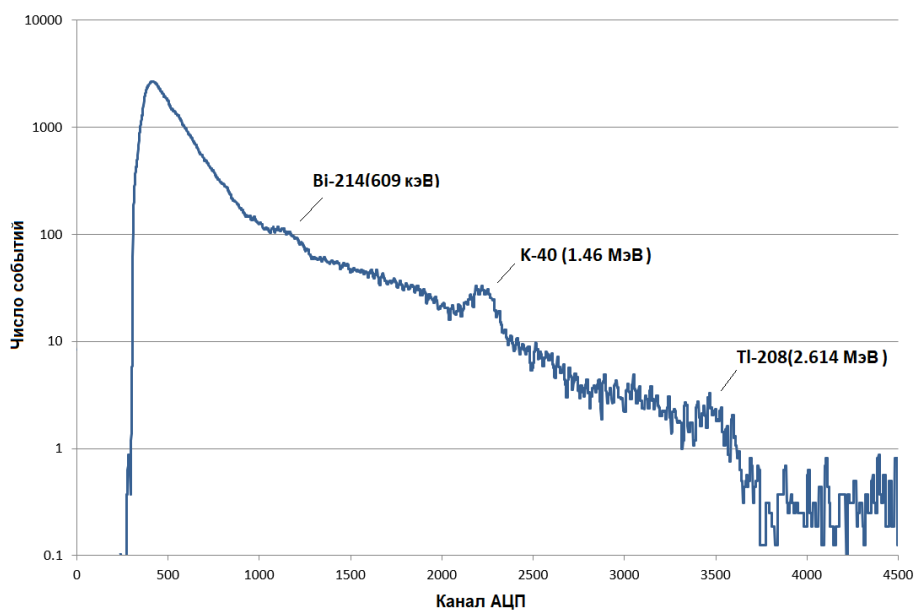


Рисунок 2 – Спектр фона гамма-излучения, измеренный с помощью прибора ДеКоР-3

Спутник Монитор-2 (кубсат 3U) также оснащен комплексом из двух приборов ДеКоР различной конфигурации. В торце этого космического аппарата размещен прибор ДеКоР-2. Как и на спутнике Авион, этот прибор дополнен спектрометрическим модулем, выполненным на основе кристалла CsI(Tl) размером 60мм x 60мм x 40мм, просматриваемым набором полупроводниковых фотоприемников. Данный модуль используется, чтобы расширить энергетический диапазон проводимых измерений спектров гамма-излучения, что очень важно при исследовании различных гамма-транзиентов, таких как космические гамма- всплески и солнечные вспышки.

Информационные и энергетические возможности спутника Монитор-2, как и спутника Авион, позволят вести непрерывный мониторинг радиации в околоземном пространстве в нескольких каналах, а также фиксировать и передавать на Землю данные о гамма-всплесках различной природы и о высыпаниях электронов в событийном режиме.

Все космические аппараты, перечисленные в настоящей работе, предназначены как для проведения научных исследований, так и для проведения занятий со студентами и школьниками. Начиная со спутников СириусСат-1(2), полезная нагрузка которых была прототипом приборов ДеКоР, специалисты МГУ проводили занятия как в форме выполнения учащимися дипломных работ или школьных проектов, так и путем проведения лекций, на которых демонстрировалась работа со спутниками, а также мастер-классов с целью популяризации исследований космоса и профориентации будущих специалистов [4]. Принимая непосредственное участие в проведении сеансов связи и в анализе поступающей космофизической информации, школьники и студенты получают необходимые навыки в работе с малыми космическими аппаратами.

Список литературы:

1. Первый опыт мониторинга космической радиации в мультиспутниковом эксперименте Московского университета в рамках проекта «Универсат-СОКРАТ / В.В. Богомолов, А.В. Богомолов, Ю.Н. Дементьев [и др.] // Вестник Московского университета. Серия 3: Физика, астрономия. 2019. Т.74, №6. С. 135–141.
2. Space weather effects from observations by Moscow university cubesat constellation / A.V. Bogomolov, V.V. Bogomolov, A.F. Iyudin [et al.] // Universe, 8:282, 2022. DOI: 10.3390/universe8050282.
3. Анализ быстрых вариаций потоков электронов в области зазора методом нормированного размаха по данным измерений на спутнике СириусСат-1 / М.И. Прохоров, В.В. Богомолов, А.В. Богомолов [и др.] // Космические исследования, 2022. 60(4):271–284.
4. Научные и образовательные итоги двухлетнего космического полета спутников СириусСат / В.В. Богомолов, А.В. Богомолов, Ю.Н. Дементьев [и др.] // Первая международная конференция по космическому образованию «Дорога в космос». Москва, Россия, ИКИ РАН, 5-8 октября 2021 г. Сборник тезисов. ФГБУН ИКИ РАН. 2021, сс.55-57. ISBN 978-5-00015-019-1.
URL: <https://roadtospace.cosmos.ru/docs/2021/RoadToSpace-AbstractBook-2021-v2.pdf> (дата обращения: 02.06.2023).