

# СОЗДАНИЕ ГРУППИРОВКИ КУБСАТОВ КАК КОСМИЧЕСКОЙ АСТРОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ

К.И. Стариков<sup>1</sup>, Д.С. Свинкин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ООО «Геоскан»

<sup>2</sup>ФТИ им. А.Ф. Иоффе

[k.starikov@geoscan.ru](mailto:k.starikov@geoscan.ru)

## Аннотация

В настоящее время активно развиваются проекты, основанные на использовании спутников формата CubeSat, для реализации группировок для проведения наблюдений за гамма-всплесками. Для развития данного направления Геоскан совместно ФТИ им. А.Ф. Иоффе создает собственную научную аппаратуру и концепцию группировки наноспутников для обнаружения гамма-всплесков (GRB), их точной локализации и интеграции с многоканальными наблюдениями (включая гравитационные волны). Основой служат успехи миссий GRBAlpha (доказавшей работоспособность 1U-детектора) и HERMES (реализующей распределенную сеть CubeSat).

## Введение

Современная астрофизика переживает революцию, связанную с переходом к многоканальным наблюдениям, объединяющим данные о гравитационных волнах, электромагнитном излучении, нейтрино и космических лучах. Особое место в этом направлении занимают гамма-всплески (GRB) – кратковременные, но экстремально энергичные события, сопровождающие рождение черных дыр, слияния нейтронных звезд и другие релятивистские процессы. Они выделяют огромное количество электромагнитной энергии ( $E_\gamma \sim 10^{53}$  эрг) за короткий промежуток времени ( $\sim 10^{-2} - 10^3$  секунд) в результате диссипации энергии в узком коллимированном джете (шириной несколько градусов), где частицы движутся с ультрарелятивистскими скоростями ( $\Gamma \gtrsim 100$ ). Изучение гамма-всплесков требует не только высокой чувствительности инструментов, но и оперативной локализации для последующих наблюдений в других диапазонах. Однако традиционные космические обсерватории, такие как Fermi или Swift, несмотря на их эффективность, остаются дорогостоящими и сложными в масштабировании. Хотя ожидается, что в следующем десятилетии частота обнаружения слияний компактных объектов возрастет благодаря совместным наблюдениям Advanced Virgo, Advanced LIGO и KAGRA (Akutsu et al., 2020). Прогнозирование совместных электромагнитных (ЭМ) и гравитационно-волновых (ГВ) детектирований активно развивается (Colombo et al., 2022, 2024). Значительный прорыв в возможностях регистрации ГВ-сигналов ожидается с вводом интерферометров третьего поколения, таких как Einstein Telescope (Punturo et al., 2010; Maggiore et al., 2020; Branchesi et al., 2023) и Cosmic Explorer (Abbott et al., 2017a; Reitze et al., 2019), которые позволят обнаруживать сотни сопутствующих электромагнитных транзиентов (Ronchini et al., 2022).

В этом контексте наноспутники формата CubeSat становятся перспективным дополнением существующих и запланированных инструментов. Их компактность (1–16 юнитов, 1 юнит =  $10 \times 10 \times 10$  см) и низкая стоимость производства и запуска позволяют развертывать орбитальные группировки, обеспечивающие глобальное покрытие неба и высокую частоту детектирования транзиентных событий. Первым шагом в этом направлении стали миссии GRBAlpha – 1U CubeSat и VZLUSAT-2 – 3U CubeSat, доказавшие возможность обнаружения GRB даже

в ультракомпактном формате. Дальнейшее развитие концепции представлено проектом HERMES – сетью из 6–30 спутников CubeSat, ориентированным на мультиканальную астрономию.

Цель данной статьи – представить проект создания российской группировки CubeSat для решения ключевых задач: обнаружение и классификация GRB, включая слабые и высокоэнергетические всплески на космологических расстояниях ( $z \sim 9$ ); точная локализация событий с использованием триангуляции между спутниками; интеграция с наземными гравитационно-волновыми интерферометрами (LIGO/Virgo/KAGRA, Einstein Telescope) для поиска электромагнитных отождествлений слияний нейтронных звезд.

Работа демонстрирует, как миниатюризация и распределенность систем открывают новые возможности для изучения экстремальных явлений Вселенной, сочетая доступность с научной эффективностью.

### **Проект группировки**

В качестве спутников за основу взята платформа Геоскан 3U. Данная платформа предлагает 2U под полезную нагрузку, занимая всего 1U под все необходимые системы. В состав платформы входит 12 солнечных кремниевых панелей с пиковой мощностью, выделяемой на одной солнечной панели равной 1,7 Вт. Встроенные в платформу маховики и магнитные катушки обеспечивают точность системы ориентации до  $1^\circ$ . Под полезную нагрузку платформа предлагает 2 Вт в качестве доступной средневитковой мощности. Два канала передачи данных – УВЧ и X-диапазон – позволят варьировать возможности передачи от надежной и простой до быстрой при необходимости.

В качестве основной научной полезной нагрузки будет служить гамма-детектор совместной разработки ФТИ им. А.Ф. Иоффе и Геоскана. Он представляет из себя сцинтилляционный детектор на основе NaI(Tl) с размером кристалла  $64 \times 72 \times 15$  мм. Кристалл будет просматриваться 4-мя многопиксельными кремниевыми ФЭУ MICROFJ-60035-TSV или аналогичными.

Запуск первых спутников группировки планируется в рамках проекта Space-п. Так первый спутник «239Алфёров» президентского физико-математического лицея № 239 и академического лицея «Физико-техническая школа» им. Ж.И. Алфёрова с июля 2025 года начнет работу на орбите. Этот спутник станет частью группировки школьных малых космических аппаратов, которая получила название «Охотники за сверхновыми». Кроме научной работы будет организован образовательный процесс, в котором активное участие примут учащиеся лицеев. Школьники будут проходить лабораторные работы с гамма-детектором на Земле, совмещенные с лекциями от научных сотрудников ФТИ, а также принимать участие в обработке научных спутниковых данных.

Все спутники планируемой группировки будут радиолюбительскими. Это значит, что кроме передачи научной и образовательной информации аппараты будут иметь открытый протокол транслируемой по каналу вниз информации, а также иметь радиолюбительскую задачу. Это подразумевает работу приемо-передатчиков спутников в выделенном под радиолюбителей диапазоне частот. Для обеспечения открытости все спутники будут подключены к открытому проекту СОНИКС. Для встраивания его в данную сеть будут предоставлены протоколы передачи телеметрии, данных с научной полезной нагрузки и с камеры, установленной на спутнике. Фотографии Земли из космоса также будут являться частью радиолюбительской службы, которую будут выполнять спутники группировки. Трансляции будут проводиться для школьников и радиолюбителей не только России, но и всего мира.

Спутник «239Алфёров» позволит положить начало выстраиваемой группировке. Он должен подтвердить работоспособность всей системы и дать старт реализации следующих спутников проекта. Далее создаваемая группировка благодаря количеству спутников и двум запускам с разным наклоном будет основана на методе триангуляции, как показано в (Hurley, 2020). Это обеспечит хорошее сочетание покрытия неба с увеличением точностью локализации событий.

### **Заключение**

Создание группировки на базе технологий, разработанных Геосканом и ФТИ, открывает новую страницу в исследовании транзиентных явлений. Такие системы сочетают доступность, масштабируемость и научную ценность, позволяя реализовывать новые возможности инструментов для поиска гамма-всплесков и мультиканальной астрономии. Дальнейшее развитие проекта связано с увеличением числа спутников и переходом на больший размер платформы, улучшением детекторов и интеграцией с новыми поколениями гравитационных интерферометров. Уже в ближайшее десятилетие CubeSat-группировки могут стать неотъемлемой частью астрофизической инфраструктуры, дополняя, а в некоторых аспектах и превосходя, традиционные обсерватории.

### **Список литературы:**

1. Pál A. et al. GRBA $\alpha$ : The smallest astrophysical space observatory // A&A. 2023. 677. A40. DOI: 10.1051/0004-6361/202346182
2. Ghirlanda G. et al. HERMES: Gamma-ray burst and gravitational wave counterpart hunter // A&A. 2024. 689. A175. DOI: 10.1051/0004-6361/202450006