

КОМПАКТНЫЙ ЗЕРКАЛЬНЫЙ ТЕЛЕСКОП ДЛЯ КУБСАТОВ

С.В. Кузин^{1,2}, С.А. Богачев¹, И.П. Лобода¹

¹Институт космических исследований РАН

²Институт солнечно-земной физики СО РАН

s.v.kuzin@cosmos.ru

В настоящее время наблюдается значительный прогресс по интеграции различных изображающих инструментов на наноспутники типа кубсат [1-3]. В первую очередь это оптические камеры для дистанционного зондирования Земли и геофизических наблюдений, и, в меньшей степени, для астрофизических наблюдений. Этот тренд связан с быстрыми сроками реализации этих проектов и их сравнительно низкой ценой по сравнению с большими космическими обсерваториями. В то же время на инструменты, устанавливаемые на кубсаты, накладывается целый ряд ограничений: масса, габариты, телеметрия, терморезим, и пр.

Для наиболее распространенного на сегодняшний день формата кубсата 6U основное ограничение накладывается на размер инструмента, который должен быть в пределах 2U...3U. При этом размер входного зрачка оптической системы не может превышать 90 мм, что соответствует дифракционному пределу на длине волны 0.5 мкм примерно 1.5 угловых секунды. С высоты 600 км это соответствует 5 м на поверхности Земли. Для реализации такого разрешения на матрице с размером ячейки 3 мкм необходим объектив с фокусным расстоянием 300 мм.

Телеобъектив с таким фокусным расстоянием дифракционного разрешения может быть реализован на линзовых, зеркальных или зеркально-линзовых системах. Основное преимущество линзовой системы – в ее компактности и наличии большого количества уже рассчитанных базовых схем. Кроме того, на рынке есть достаточное количество коммерческой оптики с близкими к дифракционным характеристиками. В то же время у линзовой оптики существенные недостатки. Основные – сравнительно большой вес, ограниченный спектральный диапазон, термодетформации. Практически всех этих недостатков лишена зеркальная оптика [4].

В рамках создания аппаратуры для проекта «УниверСат» [5] были разработаны 2 зеркальных телескопа форматов 2U и 3U. Телескопы были разработаны для регистрации изображений Солнца в вакуумном ультрафиолетовом диапазоне (ВУФ) спектра. Телескопы имеют двухзеркальную модифицированную систему Ричи-Кретьена (рис.1).

Первый из телескопов, «Сол», был разработан и изготовлен для спутника «Норби-2» [6]. Телескоп имеет формат 2U и малый вес – менее 1.6 кг. Телескоп оснащен многоразовой крышкой, которая является защитой входного фильтра при выводе космического аппарата на орбиту, а также может использоваться как затвор. В телескопе установлен солнечный датчик, который служит для определения текущей ориентации инструмента и текущей угловой скорости вращения кубсата относительно центра диска Солнца (рис.2). Для уменьшения термодетформаций зеркала телескопа были изготовлены из плавленого кварца, а ферма - из специального инварового сплава. Оба материала имеют коэффициент термического расширения менее 10^{-6} мм/град, что обеспечивает отсутствие термодетформаций, включая разъюстировку, в диапазоне температур от -30°C до +40°C.

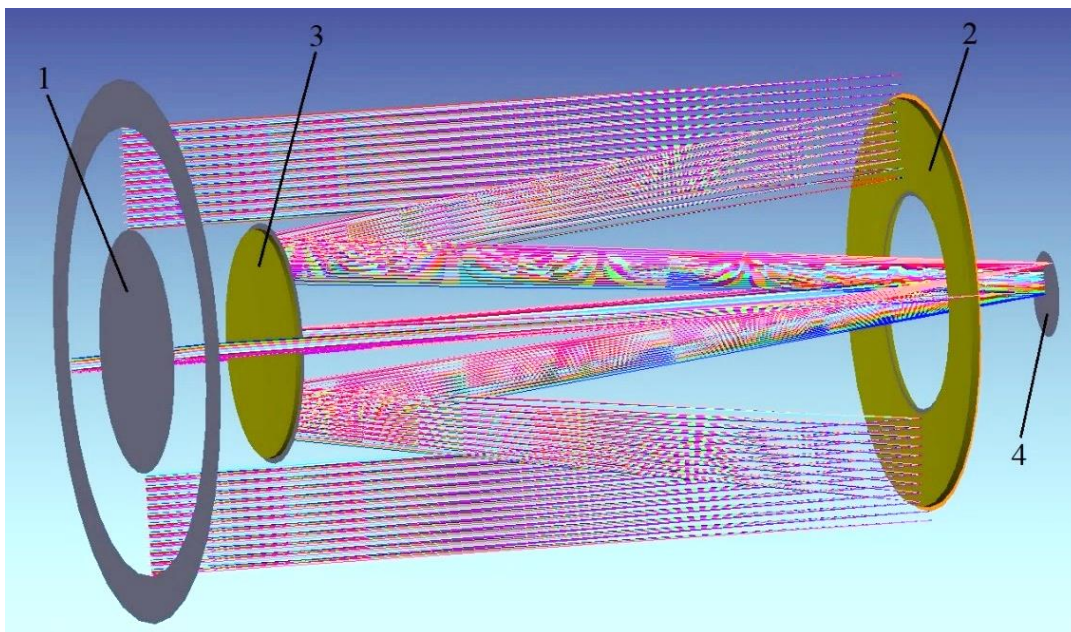


Рисунок 1 – Оптическая схема телескопа. 1 – входная апертура (фильтр), 2 - первичное зеркало, 3 – вторичное зеркало, 4 – детектор

Несмотря на то, что телескоп создан для солнечных наблюдений он может быть легко адаптирован для задач ДЗЗ. Спектральный диапазон телескопа определяется покрытием многослойных зеркал и фильтра. Для проведения наземных наблюдений на зеркала могут быть напылены широкодиапазонные алюминиевые покрытия, а выбор спектрального диапазона может осуществляться оптическими фильтрами – цветными стеклами или фильтрами с интерференционными покрытиями.

Поскольку для дистанционного зондирования Земли для телескопа важно знать направление оси визирования, солнечный датчик может быть заменен на компактный звездный датчик и/или датчик горизонта.

Основные характеристики телескопов для задач ДЗЗ приведены в таблице 1.

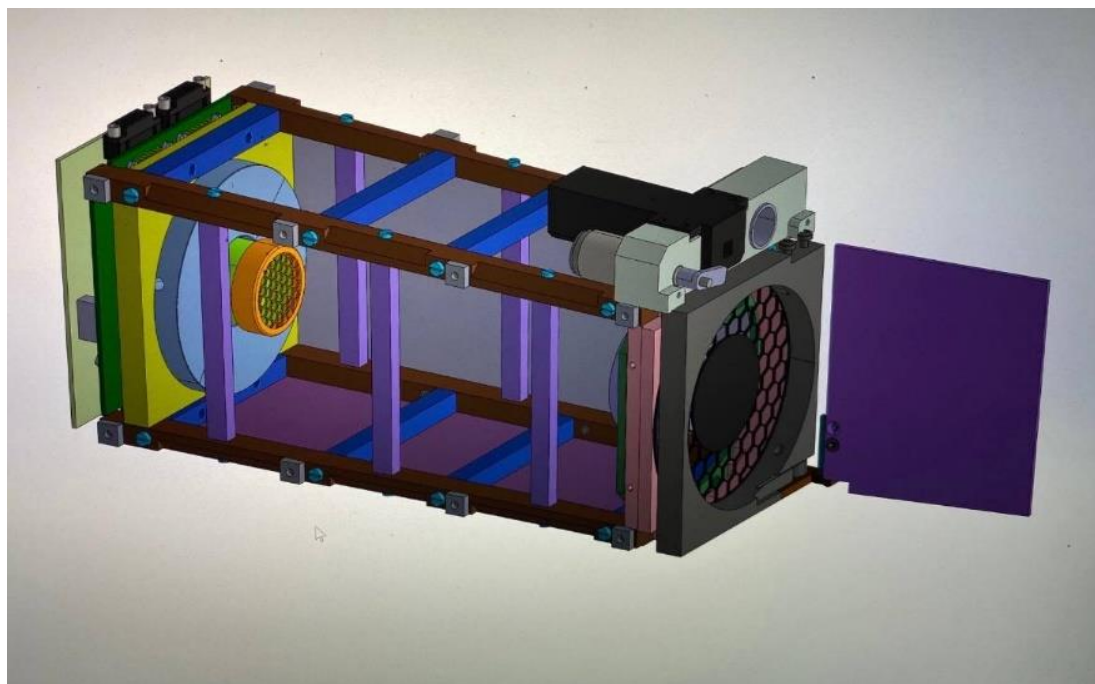


Рисунок 2 – Компоновка телескопа

Таблица 1. Основные характеристики телескопов

Телескоп	2U	3U
Разрешение на местности (высота орбиты 600 км), м/пиксел	7	2
Полоса захвата, км	10	4
Динамический диапазон	2000	
Частота получения изображений, Гц	20	
Спектральный диапазон, мкм	0.4-0.8 (панхром) и/или спектральные участки в этом диапазоне	
Интерфейсы	RS485/CAN/LVDS	
Формат, U	2	3
Габариты (по оси визирования х ш х в), мм	195 x 95 x95	295 x 95 x95
Масса, не более, кг	1.6	2.6
Напряжение питания, В	4.5...12	
Энергопотребление, не более, Вт	2.5	

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-72-30002, <https://rscf.ru/project/23-72-30002/>.

Список литературы:

1. The DAILI (Daily Atmosphere and Ionosphere Limb Imager) CubeSat Mission / J.H. Hecht, L.J. Gelinas, D.A. Hinkley [et al.] // American Geophysical Union, Fall Meeting 2019, abstract #SA44A-08.
2. Hyperspectral camera as a compact payload architecture for remote sensing applications / D. Morales-Norato, S. Urrea, H. Garcia [et al.] // Applied Optics, 2023. Vol. 62, issue 8, p. C88, DOI: 10.1364/AO.476978.
3. The CubeSat Imaging X-ray Solar Spectrometer (CubIXSS) Mission Concept / A. Caspi, A.Y. Shih, H. Warren [et al.] // American Astronomical Society, 2017, SPD meeting #48, id.305.03.
4. Chen C.W., Chen C.R. Optical design and tolerance analysis of a reflecting telescope for CubeSat // Proceedings of the SPIE, 2015 Volume 9602, id. 96020P 9 pp, DOI: 10.1117/12.2188734.
5. Программа запуска малых космических аппаратов «УниверСат» // Официальный сайт «Роскосмос». – URL: <https://www.roscosmos.ru/23836/> (дата обращения: 25.06.2023).
6. A Telescope for Imaging the Sun on Board CubeSat Small Spacecraft / A.A. Pertsov [et al.] // Instruments and Experimental Techniques. 2022. V. 65 (2). P. 326-331. doi: 10.1134/S0020441222020051.