

## КОСМИЧЕСКИЙ ТЕЛЕСКОП СО ВСТРОЕННЫМ ГИПЕРСПЕКТРОМЕТРОМ

М. Н. СОКОЛЬСКИЙ<sup>1</sup>, Н. М. АСАДУЛИН<sup>2</sup>

<sup>1</sup>АО „ЛОМО“, 194044, Санкт-Петербург, Россия  
E-mail: mnsokolski@rambler.ru

<sup>2</sup>Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Россия

Рассмотрен актуальный тип космических видеоспектральных систем — гиперспектрометр. Приведена оптическая схема гиперспектрометра и рассчитаны его основные характеристики.

**Ключевые слова:** оптико-электронный комплекс, гиперспектр, видеоспектрометр.

Современные оптико-электронные комплексы (ОЭК) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) обеспечивают съемку поверхности Земли с линейным разрешением ( $L_m$ ) и полосой обзора ( $B$ ) в различных спектральных интервалах [1]:

$$L_m = \frac{H\lambda}{2KD};$$

$$B \geq 2H \operatorname{tg} \omega,$$

здесь  $H$  — высота орбиты;  $D$  — диаметр входного зрачка объектива ОЭК;  $\lambda$  — средняя длина волны в рабочем спектральном диапазоне,  $K$  — коэффициент, равный отношению предельно разрешенной частоты эталона к предельной частоте объектива в плоскости изображения объекта ( $K = 0,25 \dots 0,35$ );  $2\omega$  — угловое поле ОЭК [1].

Оптико-электронный комплекс, предназначенный для ДЗЗ, осуществляет мониторинг объектов, при этом в последнее время особое внимание уделяется гиперспектральной съемке в десятках и сотнях спектральных интервалов. Обычно гиперспектральная аппаратура (ГСА) выполняется как самостоятельный модуль и устанавливается параллельно оптической оси ОЭК. ГСА строится по классическим схемам с применением диспергирующих элементов (дифракционных решеток, диспергирующих призм) или на основе фурье-спектрометров. В обеих схемах используются двухкоординатные матричные приемники. Двухкоординатный пространственный фрагмент изображения объекта формируется сканированием одной из сторон матрицы фотоприемного устройства, другая сторона матрицы формирует спектр объекта. Тем самым строится гиперспектральный куб, или „куб данных“.

В настоящей статье рассматривается вариант построения ГСА, совмещенной с оптической системой ОЭК, т.е. гиперспектральный модуль встроен в систему [2, 3]. На рис. 1, а показан вариант размещения минивидеоспектрометров при наличии двух щелей размерами  $T$  и  $T'$ , расположенных параллельно на небольшом расстоянии друг относительно друга.

Минивидеоспектрометры расположены в шахматном порядке против каждой из щелей. В фокальной плоскости  $l$  основного ОЭК устанавливается входная щель 2 шириной  $S$  и высотой  $T$ , определяющая линейное поле  $B$  просматриваемой среды:

$$\left. \begin{aligned} B &= \frac{TH}{f'}; \\ t &= \frac{T}{2P}, \end{aligned} \right\}$$

где  $f'$  — эквивалентное фокусное расстояние объектива ОЭК; вдоль основной щели 2 устанавливаются  $P$  минивидеоспектрометров.

Минивидеоспектрометр, оптическая схема которого представлена на рис. 1, б, построен по схеме с вогнутой дифракционной решеткой 3, которая обладает свойствами как диспергирующего, так и фокусирующего элемента. Вершина решетки 3, входная щель 4 и все монохроматические изображения 5 на ПЗС-матрице 6 сопряжены с поверхностью кругового цилиндра, радиус которого равен половине радиуса кривизны  $R$  решетки [4]; значение  $R$  выбрано исходя из требований по габариту с целью достижения минимальной полуширины аппаратной функции спектрометра по всей высоте щели.

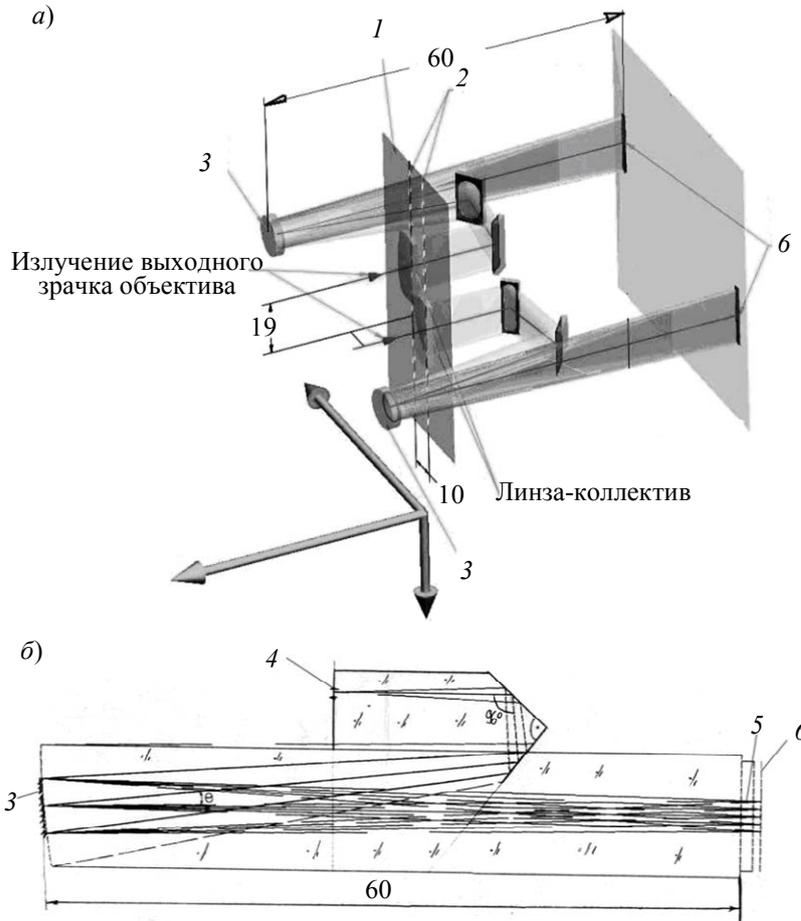


Рис. 1

Для обеспечения стабильности и нерасстраиваемости минивидеоспектрометра все его элементы расположены в стеклянной среде с показателем преломления  $n$ . Направления главных максимумов интерференции пучков, дифрагированных на вогнутой решетке, определяются формулой

$$\sin \varphi + \sin \varphi' = mN\lambda,$$

где  $\varphi$  — угол падения луча, исходящего из входной щели, на центр решетки;  $\varphi'$  — угол дифракции этого луча;  $m=1$  — рабочий порядок спектра;  $N$  — число штрихов дифракционной решетки на 1 мм.

Ниже приведены основные оптические параметры реализованного видеоспектрометра.

Радиус дифракционной решетки, мм .....	60
Количество штрихов дифракционной решетки, штр/мм.....	250
Спектральный диапазон, мкм .....	0,5—0,8
Размер пиксела, мкм .....	50×50
Углы $\varphi$ , $\varphi'$ , ... ° .....	1; 6

Конструкция фокального узла оптико-электронного комплекса показана на рис. 2.

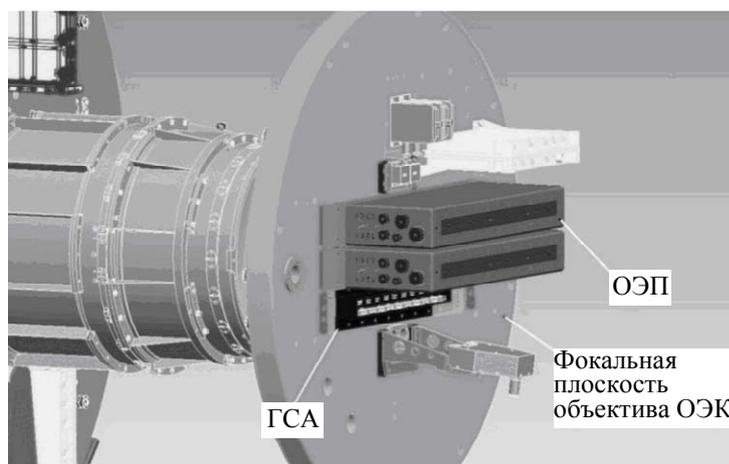


Рис. 2

Реализация рассмотренного варианта построения гиперспектрального модуля, совмещенного с оптической системой оптико-электронного комплекса дистанционного зондирования Земли, позволяет значительно снизить массогабаритные характеристики аппаратуры.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лысенко А. И., Маламед Е. Р., Сокольский М. Н., Пименов Ю. Д., Путилов И. Е. Оптические схемы объективов космических телескопов // Оптич. журн. 2002. Т. 69, № 9.
2. Пат. 128732 РФ. Савицкий А. М., Сокольский М. Н., Левандовская Л. Е., Путилов И. Е., Данилов В. А., Петров Ю. М., Лысенко А. И., Бакланов А. И., Ключников М. В. Приор. от 21.12.2012.
3. Савицкий А. М., Сокольский М. Н., Бакланов А. И., Ключников М. В. Оптические системы космических телескопов для дистанционного зондирования Земли со встроенным гиперспектральным модулем // Материалы X науч.-техн. конф. „Системы наблюдения, мониторинга и дистанционного зондирования Земли“. М., 2013.
4. Пейсахсон И. В. Оптика спектральных приборов. Л.: Машиностроение, 1975.

#### Сведения об авторах

**Михаил Наумович Сокольский**

— д-р техн. наук, профессор; АО „ЛОМО“, отдел вычислительной оптики; начальник отдела; E-mail: mnsokolski@rambler.ru

**Наиль Маратович Асадулин**

— магистр; Университет ИТМО, кафедра оптико-цифровых систем и технологий

Рекомендована кафедрой оптико-цифровых систем и технологий

Поступила в редакцию 31.08.15 г.

**Ссылка для цитирования:** Сокольский М. Н., Асадулин Н. М. Космический телескоп со встроенным гиперспектрометром // Изв. вузов. Приборостроение. 2015. Т. 58, № 11. С. 874—877.

#### SPACE TELESCOPE WITH INBUILT HYPERSPECTROMETER

M. N. Sokolsky<sup>1</sup>, N. M. Asadulin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>LOMO JSC, 194044, St. Petersburg, Russia  
E-mail: mnsokolski@rambler.ru

<sup>2</sup>ITMO University, 197101, St. Petersburg, Russia

Hyperspectrometer is considered as an important type of space-based spectral imaging system. A hyperspectrometer is designed; the optical scheme of the instrument is presented, main characteristics are estimated.

**Keywords:** optical-electronic complex, hyperspectral system, imaging spectrometer.

**Data on authors**

- Mikhail N. Sokolsky** — Dr. Sci., Professor; LOMO JSC, Department of Computational Optics; Head of the Department; E-mail: mnsokolski@rambler.ru
- Nail M. Asadulin** — Master Sci.; ITMO University, Department of Optical and Digital Systems and Technologies

**For citation:** Sokolsky M. N., Asadulin N. M. Space telescope with inbuilt hyperspectrometer // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Priborostroenie. 2015. Vol. 58, N 11. P. 874—877 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2015-58-11-874-877