

# ШИРОКОДИАПАЗОННЫЙ МНОГОЦЕЛЕВОЙ ДИСПЕРСИОННЫЙ СПЕКТРОМЕТР ДЛЯ СПЕКТРОСКОПИИ С ПРОСТРАНСТВЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ

И.М. Гулис, А.Г. Купреев, И.Д. Демидов

Белорусский государственный университет, Минск

E-mail: [kupreev@bsu.by](mailto:kupreev@bsu.by)

Спектроскопия с пространственным разрешением (СПР) используется в дистанционном зондировании земной поверхности, биологии, сельском хозяйстве, промышленности и других областях. В случае существенной нестационарности объектов наблюдения для получения куба данных необходимо малое время регистрации. Мгновенная гиперспектроскопия (МГС, *snapshot hyperspectroscopy*) является методом, обеспечивающим получение полного куба данных в одном акте измерения, то есть, за малый временной интервал [1]. Один из вариантов МГС предусматривает регистрацию на фотодетекторе совокупности спектральных изображений фрагментов объекта, формируемых, к примеру, матрицей микролинз либо маской, содержащей регулярно расположенные отверстия (щели) [2].

Разработана оптическая схема многоцелевого дисперсионного спектрометра, в котором в качестве диспергирующего элемента используется дифракционная решетка, работающая в неколлимированных пучках и размещаемая на малом расстоянии от входной апертуры прибора, представляющей собой многощелевую маску [3]. Оптическая система, формирующая диспергированное изображение многощелевой маски на многоэлементном (ПЗС, КМОП) фотоприемнике, выполнена как телецентрическая на основе внеосевых параболических зеркальных объективов (см. рисунок). В общей фокальной плоскости между указанными объективами размещается диафрагма, отсекающая нежелательные порядки дифракции решетки. Принципиальным достоинством системы является возможность оперативного варьирования линейной дисперсии (соответственно, спектрального разрешения и спектрального диапазона) простым перемещением пропускающей дифракционной решетки вдоль оптической оси. Перестройка рабочих спектральных диапазонов (в пределах, определяемых используемой решеткой) достигается простой заменой полосовых фильтров, выделяющих требуемый диапазон, и не требует поворота диспергирующего элемента. Применение зеркальной оптики и кварцевых оптических элементов обеспечивает возможность работы спектрометра в диапазоне 0,2–2,0 мкм.

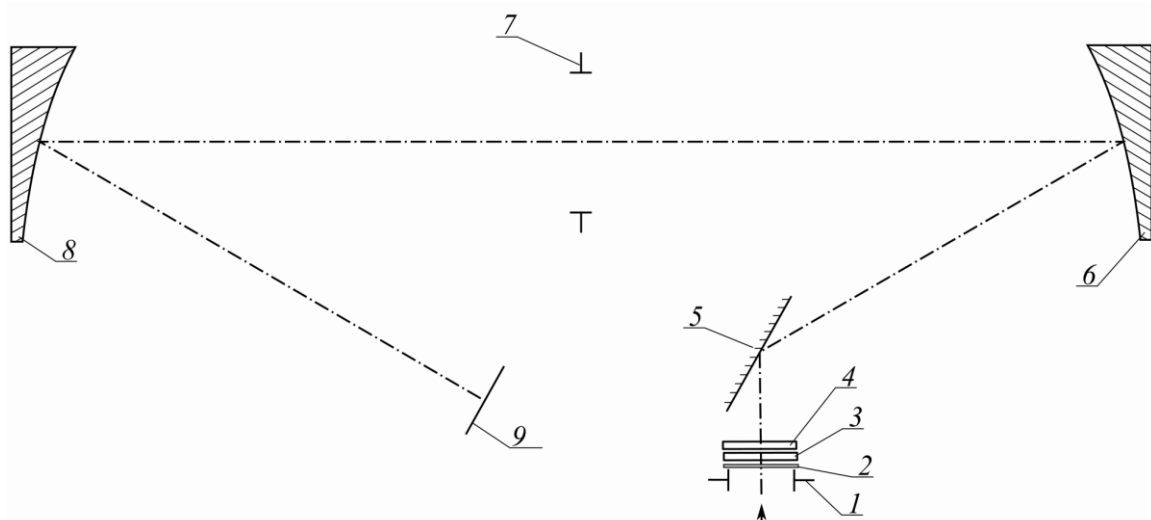


Рисунок. Схема МДС: 1 – входная апертура, 2 – светофильтр, 3 – многослойная маска, 4 – дифракционная решетка, 5 – плоское зеркало, 6, 8 – объектив, 7 – диафрагма, 9 – матрица фотоприемника

При численном моделировании использовались следующие параметры объективов: угол отклонения оптической оси  $30^\circ$ , диаметр рабочей области 50,8 мм, радиус кривизны 254 мм, эффективное фокусное расстояние 136,12 мм, фокусное расстояние образующей параболы 127 мм, расстояние между базовыми плоскостями зеркал 297,65 мм. Толщина подложки маски и пропускающей дифракционной решетки (300 штрих./мм) – 2 мм, материал – кварц ( $n = 1.458$ ). Напыление маски – со стороны входной апертуры 1, рабочая поверхность решетки – со стороны зеркала 5. Диаметр входного поля 16 мм.

Моделирование проводилось для спектрального диапазона 450–750 нм (расстояние между подложками маски и дифракционной решетки 0,8 мм) – дисперсия  $\sim 1,3 \times 10^3$  мм/нм. При изменении расстояния меняется и дисперсия: при его увеличении до 3,6 мм рабочий диапазон составляет 250–450 нм (дисперсия  $\sim 2,0 \times 10^3$  мм/нм), при расположении подложек решетки и маски вплотную – 600–1100 нм (дисперсия  $\sim 0,8 \times 10^3$  мм/нм).

Использование приборов на базе МДС перспективно для многих приложений СПР, в том числе спектроскопии биообъектов, медицинских приложений (фотодинамической терапии). Широкий рабочий спектральный диапазон и простота перестройки дисперсии позволяют разрабатывать универсальные приборные решения.

1. Hagen N., Kudenov M.W. // Opt. Engineering. 2013. Vol. 52, № 9. P. 090901-1–090901-23.
2. Bodkin A., Sheinis A., Norton A. et al. // Proc. SPIE. 2009. Vol. 7334. P. 73340H-1–73340H-11.
3. Гулис И.М., Купреев А.Г., Демидов И.Д., Воронай Е.С. // Журн. Белорус. гос. ун-та. Физика. 2017. № 3. С. 4–11.