

Т. Г. ДИЛБАЗОВ, Н. Я. ЯГУБЗАДЕ, Е. А. ГУСЕЙНОВА

ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА С ВЫСОКОЙ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТЬЮ ДЛЯ МАЛОГАБАРИТНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО ПРИБОРА

Предложена дифракционная система для спектрометрических приборов, в которой на плоскости формирования спектра установлено цилиндрическое зеркало. С помощью такой системы удастся значительно повысить спектральное разрешение, не увеличивая массогабаритных параметров системы. Экспериментальные исследования показали появление элементов тонкой структуры зеленой и синей линий в спектре ртутной лампы при использовании предложенной системы.

Ключевые слова: диспергирующий элемент, дифракционная решетка, разрешающая сила, сканирование.

Серьезное индустриальное воздействие на природную среду привело к тому, что требуется постоянный контроль экологической обстановки для своевременного принятия неотложных мер по сохранению уровня загрязнений окружающей среды в допустимых пределах.

К дистанционным методам контроля относятся оптические вследствие их высокой информативности. Они являются единственно возможным инструментом для наблюдения глобальных и долговременных антропогенных изменений состава атмосферы.

Наряду с общими тенденциями развития для всего оптического приборостроения можно отметить некоторые специфические направления в создании спектральных приборов. К таким тенденциям относится дальнейшее совершенствование конструкций классических щелевых дифракционных приборов, а также разработка специализированных спектральных приборов и оптимизация их параметров.

Настоящая работа посвящена исследованию возможности создания оптической системы для малогабаритных спектральных приборов с высокой разрешающей способностью. Приборы с такими характеристиками разрабатываются для оценки состояния окружающей среды и для природно-ресурсных исследований при дистанционном зондировании Земли.

Разрешающая способность и линейная дисперсия спектрального прибора влияют как на качественные его характеристики, так и на конструктивные особенности. Поэтому исследованию этих характеристик посвящено достаточно много работ [1—4]. Из этих работ следует, что повышение разрешающей способности и дисперсии оптических систем достигается введением дополнительных оптических элементов, что приводит к увеличению размеров, усложнению кинематических механизмов согласования движений отдельных оптических элементов при сканировании спектра, дополнительным потерям в светосиле и усложнению оптических деталей, что делает их значительно дороже.

В работе [5] предложен способ эффективного повышения линейной дисперсии оптических систем. Для разработки систем малогабаритного монохроматора и повышения практической разрешающей способности в настоящей работе выбран этот способ. Предлагается классическая система спектрального прибора, объектив которого выполнен в виде выпуклого цилиндрического зеркала (рис. 1, 1 — входная щель; 2 — вогнутая дифракционная решетка; 3 — цилиндрическое зеркало; 4 — выходная щель). Образующая цилиндрическая поверхность этого зеркала расположена в плоскости, перпендикулярной плоскости дисперсии дис-

пергирующего элемента. Спектральный прибор с высокой разрешающей способностью может использоваться в полевых условиях и применяться в бортовых системах.

Излучение ртутной лампы через входную щель заполняет дифракционную решетку, которая формирует спектр на поверхности цилиндрического зеркала.

На поверхности зеркала невозможно фиксировать в виде отдельных линии (с длиной волны $\lambda + \Delta\lambda$ и $\lambda - \Delta\lambda$), разрешенные решеткой. Это связано с реальным пределом разрешения, обусловленным искажениями волнового фронта, проходящего через прибор. Чтобы фиксировать полосы излучения в отдельности, принадлежащие этим лучам, требуется увеличение расстояния между решеткой и зеркалом, что приводит к росту массогабаритных параметров прибора.

При отражении от сферической поверхности лучей угол между ними увеличивается, спектр „растягивается“ и становится возможным

фиксировать по отдельности полосы излучения линий с длиной волны $\lambda + \Delta\lambda$, $\lambda - \Delta\lambda$. Поскольку спектральная линия является изображением щели, а спектр — совокупностью этих линий, можно говорить об увеличении угловой дисперсии этих лучей. В дифракционных системах с вогнутой дифракционной решеткой разрешающая способность определяется угловой дисперсией. Поэтому наличие цилиндрического зеркала в классической дифракционной системе с вогнутой решеткой увеличивает ее разрешающую способность.

В работе [6] получено выражение для разрешающей способности таких систем:

$$\frac{\lambda}{\delta\lambda} = D \left[3 - 2 \frac{S'}{r} \right] \left(\frac{d\varphi}{d\lambda} \right)_p = \frac{ADS''}{\cos\theta} \left[3 - 2 \frac{S'}{r} \right] \left(\frac{d\varphi}{d\lambda} \right)_p \dots$$

где $\frac{d\varphi}{d\lambda}$ — дисперсия решетки, $A = \frac{D}{f}$ — относительное отверстие выходного объектива,

D — ширина диафрагмы, f — фокусное расстояние выходного объектива, S' и S'' — расстояние между решеткой и зеркалом, зеркалом и выходной щелью соответственно, r — радиус цилиндрического зеркала, θ — угол между средней линией светового потока (интервала) и нормалью к поверхности спектра.

Из выражения следует, что разрешающую способность системы (при D и $A = \text{const}$) можно повысить увеличением расстояний S' , S'' и уменьшением радиуса r цилиндрического зеркала. Более эффективным является уменьшение r , так как в этом случае не увеличиваются массогабаритные параметры прибора.

Исследованы изменения спектра излучения ртутной лампы ДРШ-250 в видимой области спектра после отражения от плоского и цилиндрического зеркал, помещенных на фокальной плоскости дифракционной решетки. Отраженные лучи проходят через выходную щель и фиксируются приемно-регистрирующим устройством. Сканирование спектра осуществляется поворотом дифракционной решетки вокруг оси, проходящей через ее вершину. Приемником излучения является ФЭУ-85, спектр регистрируется автоматически одноточечным потенциометром.

В спектре, сформированном плоской решеткой и отраженном от плоского зеркала (рис. 2, а), определяется положение полосы излучений только синей ($\lambda_{\text{max}} = 404\text{—}410; 435,8 \text{ нм}$) и зеленой ($\lambda_{\text{max}} = 546,1 \text{ нм}$) линий. В спектре, сформированном вогнутой решеткой и

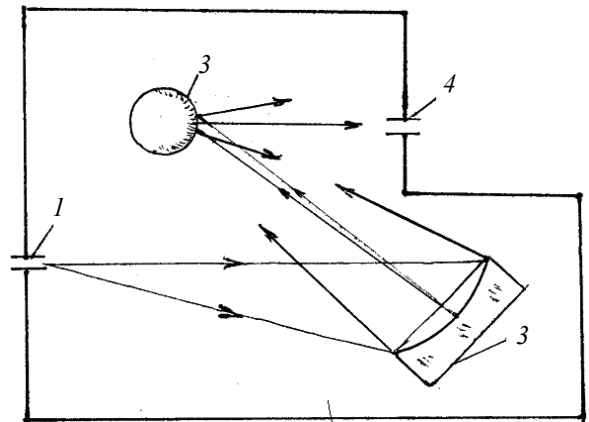


Рис. 1

отраженном от цилиндрического зеркала появляется несимметричность этих полос (рис. 2, б). С уменьшением диаметра зеркал в отраженном спектре появляются „новые“ полосы с хорошо выраженными максимумами.

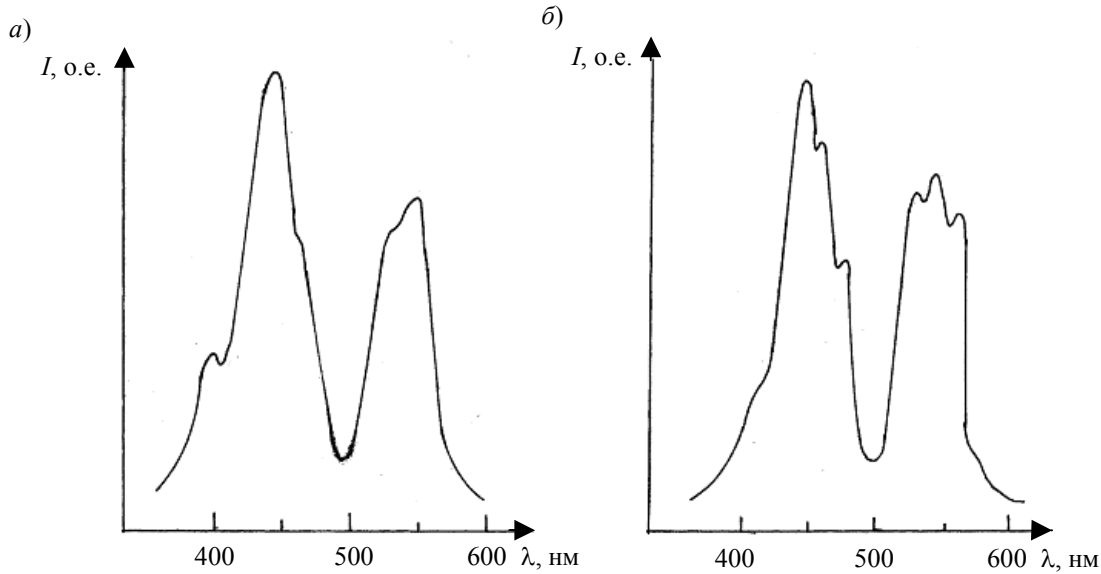


Рис. 2

Хорошо изученная [7] зеленая линия ртути возникает в результате перехода $6^3P_2 - 7^3S_1$ и насчитывает 14 компонентов, 4 из которых более интенсивные и принадлежат изотопам Hg^{198} , Hg^{200} , Hg^{202} , Hg^{204} . Можно полагать, что наблюдаемые после отражения от цилиндрического зеркала новые полосы излучения принадлежат этим изотопам. Новые полосы излучения, появляющиеся в спектре после отражения от цилиндрического зеркала в синей области, также принадлежат изотопам.

Результаты ряда исследований (например, [7, 8]) показывают, что наличие цилиндрического зеркала в дифракционной оптической системе с вогнутой решеткой позволяет использовать высокую разрешающую способность самой решетки. При этом не увеличиваются массогабаритные параметры системы. С помощью таких систем можно создавать спектральные приборы для дистанционных исследований.

Оптическая система с цилиндрическим зеркалом может быть применена с аналогичным эффектом также в дисперсионных системах измерений.

Следует отметить, что выбирая диспергирующий элемент с высокой разрешающей способностью и цилиндрические зеркала с разными покрытиями, можно создавать малогабаритные спектральные приборы с высокой разрешающей способностью также в других областях оптического диапазона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скоков И. В. Оптические спектральные приборы. М.: Машиностроение, 1984. 135 с.
2. Hindblom P., Stenman F. // Appl. Opt. 1989. Vol. 28, N 13. P. 254.
3. Mazzacurati V., Ruokko G., Signorelli G. // Opt. Commun. 1988. Vol. 67, N 6. P. 399.
4. Савушкин Н. В., Соколова А. В., Старцев Г. П. // ОМП. 1989. № 1. С. 34.
5. А. с. № 1453187. СССР / Т. Г. Дилбазов. 1989. БИ № 3.
6. Дилбазов Т. Ш., Ягубзаде Н. Й. // Физика. 2006. Т. 12, № 4. С. 71.
7. Королев Ф. А., Одинцов В. И. // Опт. и спектр. 1956. Т. 1, вып. 1. С. 17.
8. Yaqubzade N. Y., Abbasova R. B., Süleymanova S. A., Dilbazov T. H. // AMAKA xeberleri. 2006. N 2. S. 117.

Сведения об авторах

- Тариел Гаджи оглы Дилбазов*** — канд. физ.-мат. наук; Институт аэрокосмической информатики Национального аэрокосмического агентства республики Азербайджан, отдел исследования и разработки оптико-электронных устройств, старший научный сотрудник, Баку
- Наиля Ягуб кызы Ягубзаде*** — Институт аэрокосмической информатики Национального аэрокосмического агентства республики Азербайджан, отдел исследования и разработки оптико-электронных устройств, старший научный сотрудник, Баку; E-mail: naile_yaqub@mail.ru
- Ельвира Али кызы Гусейнова*** — Институт аэрокосмической информатики Национального аэрокосмического агентства республики Азербайджан, отдел исследования и разработки оптико-электронных устройств, старший научный сотрудник, Баку

Рекомендована институтом

Поступила в редакцию
06.07.09 г.