



ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНОЙ КАМЕРЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОПТИЧЕСКИХ ЖИДКИХ СРЕД С "ОСОБЫМ" ХОДОМ ДИСПЕРСИИ

М. В. Агринский¹, А. В. Голицин¹, В. В. Старцев²
¹ТЦ "Инженер", г. Лыткарино, Моск. обл.
²ОКБ "Астрон", г. Лыткарино, Моск. обл.

Гиперспектральный метод дистанционного зондирования позволяет обнаружить малые объекты, идентифицировать их состав и наблюдать происходящие в них процессы. Метод обладает высокой чувствительностью при работе с объектами, не имеющими характерных выделенных линий спектра. Представлена гиперспектральная камера с широким спектральным диапазоном на пяти длинах волн. В конструкции использованы жидкостные оптические материалы с "особым" ходом дисперсии для суперхроматической коррекции хроматических aberrаций.

Гиперспектральная аппаратура предназначена для проведения измерений в широком оптическом диапазоне спектра и получения как изображения, так и спектральных характеристик исследуемой поверхности. Поэтому такая аппаратура сочетает в себе параметры типичные как для спектральных приборов (спектральное разрешение), так и для средств регистрации изображений (пространственное разрешение).

Гиперспектральными называются измерения в диапазоне от нескольких сотен до тысячи спектральных каналов, а гиперспектрометром – прибор, осуществляющий одновременно измерение спектральной и пространственных координат. Гиперспектральная съемка представляет собой метод сбора и обработки информации из различных участков электромагнитного спектра. Каждый объект имеет уникальную спектральную характеристику излучения, что позволяет однозначно идентифицировать материалы, составляющие его структуру.

DESIGNING AN OPTICAL SYSTEM FOR A HYPERSPECTRAL CAMERA APPLYING OPTICAL FLUIDS WITH A "SPECIAL" DISPERSION PATH

M. V. Agrinsky¹, A. V. Golitsin¹, V. V. Startsev²
¹TC "Engineer", Lytkarino
²EDB "Astron", Lytkarino

The hyperspectral remote sensing method allows detecting small objects, identifying their composition and observing their internal processes. The method has high sensitivity when working with objects that do not have the characteristic selected lines of the spectrum. A hyperspectral camera with a wide spectral range at five wavelengths is presented. The design is based on liquid optical materials with a "special" dispersion path for the superachromatic correction of chromatic aberrations.

Hyperspectral instrumentation is designed to measure in a wide optical range of the spectrum and to obtain both the image and the spectral characteristics of the studied surface. Therefore, such equipment combines the parameters typical of both spectral instruments (spectral resolution) and image recording means (spatial resolution).

Measurements in the range from several hundred to thousands of spectral channels are referred to as the hyperspectral ones, and a device that simultaneously measures spectral and spatial coordinates is referred to as a hyperspectrometer.

Hyperspectral imaging is a method of acquiring and processing information from different parts of the electromagnetic spectrum. Each object has a unique spectral characteristic of radiation that allows you to uniquely identify the materials that make up its structure.

Hyperspectral sensors collect information in the form of "packets" of images (hyperspectral data), with each image representing a specific region of the electromagnetic spectrum (spectral channel).

Hyperspectral data allows you to work with an object that does not have the characteristic selected lines of the spectrum, and use the entire measured spectrum when processing them. This fact qualitatively distinguishes the hyperspectral remote sensing method from the multizone one.



Гиперспектральные сенсоры собирают информацию в виде "пакетов" изображений (гиперспектральных данных), при этом каждое изображение представляет определенную область электромагнитного спектра (спектральный канал). Гиперспектральные данные позволяют работать с объектом, не имеющим характерных выделенных линий спектра, и при их обработке использовать весь измеренный спектр. Это качественно отличается гиперспектральный метод дистанционного зондирования от многозонального метода.

Переход от традиционной многозональной съемки к гиперспектральной увеличивает не только количество информации, но и обеспечивает совершенно новый, уникальный, качественный характер данных гиперспектральной съемки.

Идентификация объектов и материалов при гиперспектральных измерениях базируется на способностях этих зондируемых объектов поглощать и отражать световые волны. Фундаментальной основой используемого метода дистанционного зондирования является однозначное соответствие между регистрируемым отраженным оптическим сигналом и элементарным составом отражающей поверхности. В качестве подсветки поверхности Земли в дневное время может использоваться солнечное излучение. При этом максимум спектральной плотности излучения подсветки приходится на видимый диапазон.

Информационной характеристикой гиперспектральных измерений является интенсивность излучения, отраженного определенной площадкой на поверхности Земли, в зависимости от значения длины волны λ регистрируемого излучения.

Высокая чувствительность коэффициентов отражения разнородных объектов к частоте и поляризации подсвечивающего излучения выделяет гиперспектральный метод среди других методов изучения поверхности Земли. Данные гиперспектральных измерений используются для решения сложных задач обнаружения малых объектов, идентификации их состава и происходящих в них процессов, выделения отличий между очень близкими классами объектов, оценки биохимических, геофизических и других параметров и т. п. Только гиперспектральные измерения могут выявить малые спектральные различия между отдельными элементами поверхности и служить индикатором интересующих нас объектов и процессов на поверхности Земли.

The transition from traditional multispectral imaging to hyperspectral increases not only the amount of information, but also provides a completely new, unique, qualitative character of hyperspectral imagery data.

Identification of objects and materials in hyperspectral measurements is based on the ability of these probed objects to absorb and reflect light waves. The fundamental basis of the used method of remote sensing is a one-to-one correspondence between the recorded reflected optical signal and the elemental composition of the reflecting surface. Sunlight can be used to illuminate the surface of the Earth during the daytime. In this case, the maximum spectral density of the illumination radiation falls on the visible range.

The information characteristic of hyperspectral measurements is the intensity of the radiation reflected by a specific area on the surface of the Earth, depending on the value of the wavelength of the detected radiation λ .

The high sensitivity of the reflection coefficients of heterogeneous objects to the frequency and polarization of illuminating radiation highlights the hyperspectral method among other methods for studying the surface of the Earth. The data of hyperspectral measurements are used to solve complex problems of detecting small objects, to identify their composition and their internal processes, to highlight differences between very close classes of objects, estimate biochemical, geophysical and other parameters, etc. Only hyperspectral measurements can reveal small spectral differences between individual surface elements and serve as an indicator of objects and processes of interest on the Earth's surface.

CALCULATION OF THE INPUT LENS WITH THE APPLICATION OF OPTICAL FLUIDS WITH A "SPECIAL" DISPERSION PATH

The imaging optical system of the hyperspectral camera operating in a wide range of the spectrum requires virtually diffraction aberration correction of both monochromatic and chromatic aberrations. Achromatic or superachromatic correction of the latter is possible only when using optical materials with different dispersion paths. For the first time, practical implementation was carried out at the end of the 19th century by an optician Ernst Abbe using fluorite as an optical material with a different dispersion path. In the twentieth century, special crown glass (OK1, OK4) and special flint glass (OF4, OF6) were created in the optical industry, having analogues in the catalogs of foreign firms. However, a relatively small "peculiarity" of the above, mainly flint glasses, limited the spectral



РАСЧЕТ ВХОДНОГО ОБЪЕКТИВА С ПРИМЕНЕНИЕМ ОПТИЧЕСКИХ ЖИДКИХ СРЕД С "ОСОБЫМ" ХОДОМ ДИСПЕРСИИ

Для формирующей изображение оптической системы гиперспектральной камеры, работающей в широком диапазоне спектра, требуется практически дифракционная абберационная коррекция как монохроматических, так и хроматических аббераций. Апохроматическая или суперхроматическая коррекция последних возможна только при использовании оптических материалов с разным ходом дисперсии. Впервые практическая реализация была осуществлена в конце XIX века оптиком Эрнестом Аббе с использованием флюорита в качестве оптического материала с другим ходом дисперсии. В XX веке в оптической промышленности были созданы стекла: особый крон (марки ОК1, ОК4) и особый флинт (ОФ4, ОФ6), имеющие аналоги в каталогах зарубежных фирм. Однако относительно небольшая "особость" вышеуказанных, преимущественно флинтовых стекол, ограничивала спектральный диапазон коррекции аббераций, что побуждало к поиску не стеклянных оптических материалов, а например, жидких оптических сред с "особым" ходом дисперсии (ОЖС) [1-6]. Предпосылкой служило то, что ход дисперсии зависит от состава вещества и концентрации в нем химических элементов. Удержать при традиционной технологии изготовления стекла в высокотемпературном расплаве требуемую концентрацию добавленных химических элементов очень проблематично, что приводило в стеклах к малой величине "особости". При синтезе жидких сред, не требующих высокотемпературной обработки, можно добиться значительно большей концентрации требуемых химических элементов, что и было подтверждено на практике. Применение ОЖС в объективах позволяет получить апохроматическую абберационную коррекцию в 1,5-2 раза большем спектральном диапазоне по сравнению со стеклянными аналогами.

На диаграмме, сопоставляющей относительные частные дисперсии и числа Аббе оптических материалов, подавляющее большинство стекол находятся вблизи прямой, называемой "нормальной прямой". Для исправления вторичного спектра объектива-апохромата хотя бы один из материалов должен иметь особую частную дисперсию, смещающую материал на диаграмме с нормальной линии.

Для использования в составе гиперспектральной камеры выбрана матрица ПЗС Sony ICX445AL. Матрица имеет рабочий спектральный диапазон

range of correction of aberrations, which prompted the search for non-glass optical materials, e. g., liquid optical media with a "special" dispersion path (OLM) [1-7]. The prerequisite was that the dispersion path depends on the composition of the substance and its concentration of chemical elements. It is very problematic to maintain the required concentration of the added chemical elements in high-temperature melt with the traditional technology of making glass, which led to a small amount of "peculiarity" in glasses. In the synthesis of liquid media that do not require high-temperature treatment, it is possible to achieve a significantly higher concentration of the required chemical elements, which was confirmed in practice. The use of OLM in lenses allows you to get apochromatic aberration correction in 1.5-2 times larger spectral range compared to glass analogues.

In the diagram comparing the relative partial dispersions and the Abbe numbers of optical materials, the vast majority of glasses are located near a straight line, referred to as the "normal straight line". To correct the secondary spectrum of the apochromat lens, at least one of the materials must have a special partial dispersion displacing the material on the diagram from the normal line.

For use as part of the hyperspectral camera, Sony ICX445AL CCD matrix is selected. The matrix has a working spectral range of 0.4-1 μm , the format is 1280·960 active elements located in 3.7 μm increments. The size of the diagonal of the photoreceiving zone is 6 mm. The maximum frame rate of the matrix is 22 Hz with a full frame, partial frame modes are possible with a frequency of up to 30 Hz. To fully use the spectral range of the matrix, the camera lens must have an image quality at the level of the diffraction limit in the range of 0.4-1 μm .

The spectral range of the optical system for a given image quality determines the number of corrected wavelengths. An illustration of the connection of the width of the working spectral range of the lens with the degree of correction of the chromatism of the position is shown in Fig. The world's best samples of superachromat lenses are corrected at four wavelengths. The first description of the superapochromat was made in 1963 [6-8] and, up to the present time, there is no information about the lenses with a higher degree of correction of chromatic aberrations, or the possibility of creating those.

Liquid optical materials are involved for implementing the wide spectral range required for a hyperspectral camera at 5 wavelengths (colors), which was done for the first time and exceeds the achieved world level.

Коэффициенты для вычисления спектрального показателя преломления жидкости
Coefficients for calculating the spectral refractive index of the liquid

Жидкость Liquid	A	B	C	D	E	F
296244	1,29248	$8,89871 \cdot 10^{-4}$	$5,37278 \cdot 10^{-6}$	$-1,20888 \cdot 10^{-3}$	$1,26650 \cdot 10^{-4}$	10^{-12}
458582	1,44693	$3,69784 \cdot 10^{-3}$	$-4,35732 \cdot 10^{-5}$	$-1,71500 \cdot 10^{-4}$	10^{-10}	10^{-12}

0,4-1 мкм, формат 1280×960 активных элементов, расположенных с шагом 3,7 мкм. Размер диагонали фотоприемной зоны 6 мм. Максимальная частота кадров матрицы составляет 22 Гц при полном кадре, возможны режимы неполного кадра с частотой до 30 Гц. Для полного использования спектрального диапазона матрицы, объектив камеры должен иметь качество изображения на уровне дифракционного предела в диапазоне 0,4-1 мкм.

Ширину спектрального диапазона оптической системы при заданном качестве изображения определяет количество исправляемых длин волн. Иллюстрация связи ширины рабочего спектрального диапазона объектива со степенью коррекции хроматизма положения приведена на рис. 1. Лучшие мировые образцы объективов класса суперахромат (superachromat) исправлены на четырех длинах волн. Первое описание суперахромата сделано в 1963 году [5-7], и до настоящего времени, сведений об объективах с более высокой степенью исправления хроматических aberrаций или возможности создания таковых не появлялось.

Для реализации требуемого для гиперспектральной камеры широкого спектрального диапазона на 5 длинах волн (цветах), что сделано впервые и превышает достигнутый мировой уровень, привлечены жидкостные оптические материалы.

Жидкости предоставляют больший диапазон дисперсий показателя преломления и на порядок большие значения частных дисперсий, при некоторых издержках в усложнении конструкции и более высокой температурной зависимости показателя преломления.

Объектив реализован в виде двух групп из трех линз каждая (рис. 2). Первая и третья линза в каждой группе работают оболочкой, формирующей линзу из оптической жидкости в промежутке между ними. Фокусное расстояние объектива $f' = 70$ мм.

Жидкость 296244 в первой группе линз имеет меньшую дисперсию, чем у флюорита и любого

Liquids provide a greater range of dispersions of the refractive index and an order of magnitude greater than the partial dispersions, with some costs due to complication in construction and a higher temperature dependence on the refractive index.

The lens is implemented as two groups of three lenses each (Fig. 2). The first and third lenses in each group function as a shell forming a lens from optical fluid in the gap between them. The focal length of the lens is $f' = 70$ mm.

Liquid 296244 in the first lens group has a dispersion less than that of fluorite and any optical glass ($v_d \approx 124$), with a refractive index $n_d \approx 1.3$.

Liquid 458582 in the second group is identical in refractive index of the fused quartz with a slightly larger dispersion ($v_d \approx 58$), since the liquids on the Abbe diagram

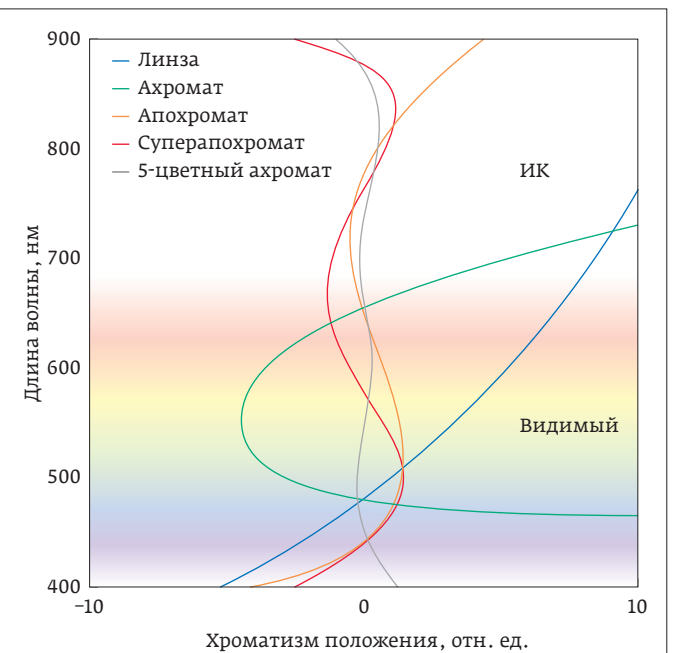


Рис. 1. Связь ширины рабочего спектрального диапазона объектива со степенью коррекции хроматизма положения

Fig. 1. Relationship of the width of the working spectral range of the lens with the degree of correction of the chromatism of the position

оптического стекла ($v_d \approx 124$) при показателе преломления $n_d \approx 1,3$.

Жидкость 458582 во второй группе идентична по показателю преломления плавленому кварцу при несколько большей дисперсии ($v_d \approx 58$), поскольку жидкости на диаграмме Аббе не могут располагаться в областях, занимаемых стеклами и кристаллами. Для расчета объектива в программе Zemax спектральный показатель преломления жидкостей аппроксимирован формулой Герцбергера вида:

$$n_\lambda = A + BL + CL^2 + D\lambda^2 + E\lambda^4 + F\lambda^6$$

где $L = 1/(\lambda^2 - 0,028)$. Расчетные данные коэффициентов формулы Герцбергера для каждой оптической жидкости приведены в таблице. Стекла в каждой группе представлены особым кроном и флинтм. Набор стекол по каталогу Schott, по ходу луча: SF59, LAKN13, SF59, LAFN23.

Найденные комбинации материалов позволяют удержать расчетный хроматизм положения для зонального луча ($P_y = 0,7$) в пределах 0,9 мкм (рис. 3). Кривая хроматизма положения для зонального луча ($P = 0,7$) пересекает нулевое положение фокальной плоскости в 5 точках, демонстрируя качественно новый уровень исправления.

Расчетный хроматизм положения для центра и края зрачка находится в пределах 1,8 мкм (рис. 4, 5), что для относительного отверстия 1:5 обеспе-

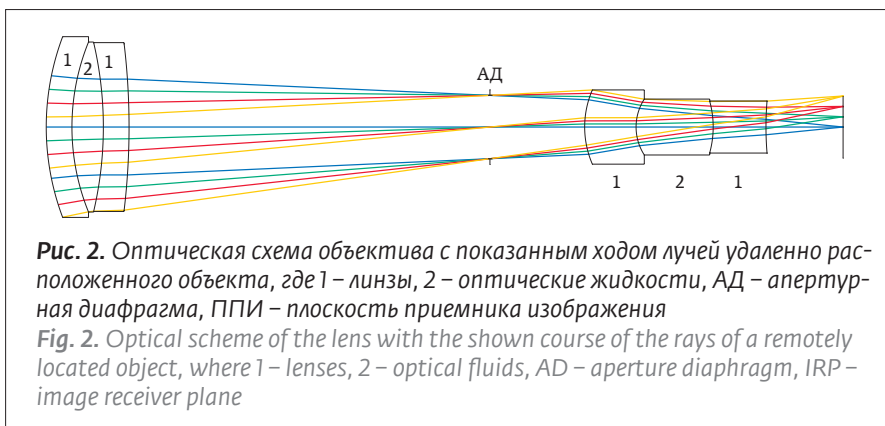


Рис. 2. Оптическая схема объектива с показанным ходом лучей удаленно расположенного объекта, где 1 – линзы, 2 – оптические жидкости, АД – апертурная диафрагма, ППИ – плоскость приемника изображения
Fig. 2. Optical scheme of the lens with the shown course of the rays of a remotely located object, where 1 – lenses, 2 – optical fluids, АД – aperture diaphragm, IRP – image receiver plane

cannot be located in the regions occupied by glasses and crystals. For the purpose of calculating the lens in the Zemax program, the spectral refractive index of liquids is approximated by the Herzberger formula of the following form:

$$n_\lambda = A + BL + CL^2 + D\lambda^2 + E\lambda^4 + F\lambda^6$$

where $L = 1/(\lambda^2 - 0,028)$.

The calculated results of the coefficients of the Herzberger formula for each optical liquid are given in the table. The glasses in each group are represented by a special crown and flint glasses. Set of glasses according to the Schott catalog, along the beam: SF59, LAKN13, SF59, LAFN23.

The combinations of materials found make it possible to keep the calculated chromatism of the position for the zonal beam ($P_y = 0.7$) within 0.9 μm (Fig. 3). The chromatism curve of the position for the zonal beam ($P = 0.7$) crosses the zero position of the

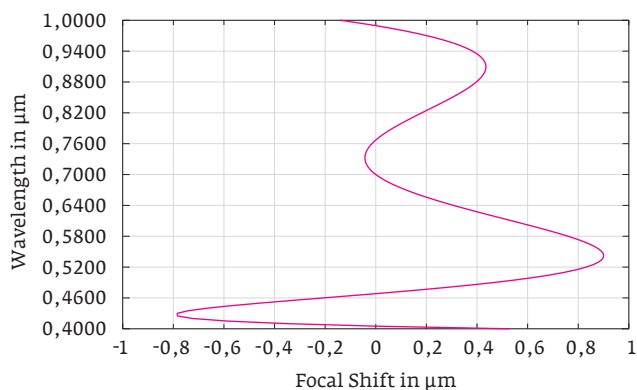


Рис. 3. Хроматизм положения объектива в спектральном диапазоне 0,4–1 мкм для зонального луча ($P_y = 0,7$)
Fig. 3. Chromatism of the lens position in the spectral range of 0.4–1 μm for the zonal beam ($P_y = 0.7$)

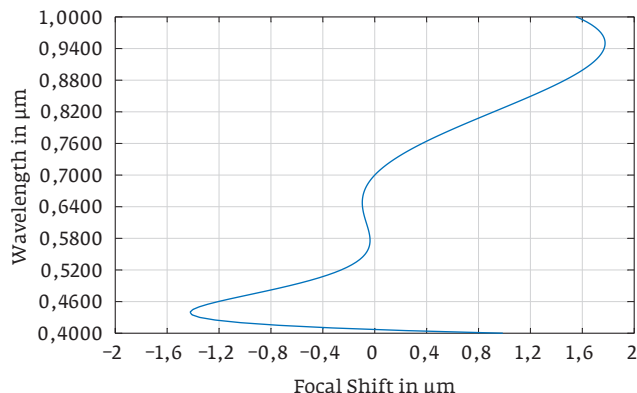


Рис. 4. Хроматизм положения объектива в спектральном диапазоне 0,4–1 мкм для центра зрачка ($P_y = 0$)
Fig. 4. Chromatism of the lens position in the spectral range of 0.4–1 μm for the center of the pupil ($P_y = 0$)

чивает полное исправление хроматизма положения по сравнению с дифракционным пределом (35 мкм в направлении продольной дефокусировки) и шагом элементов фотоприемной матрицы.

Расчетное геометрическое пятно рассеяния точки по всему полю не превышает дифракционного предела разрешения 4,3 мкм (рис. 6), а на оптической оси на порядок меньше.

Функция передачи модуляции таким образом ограничена дифракционным пределом разрешения (рис. 7). Разработанная модель не использует дорогие оптические кристаллы в отличие от известных объективов – суперахроматов.

РАСЧЕТ ОПТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ СПЕКТРАЛЬНОГО БЛОКА С ПЛОСКОЙ ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЕТКОЙ

Оптическая схема формирования гиперспектрального изображения может состоять из коллиматорного объектива, в фокальной плоскости которого располагается спектральная щель и который направляет формируемый пучок параллельных лучей на спектроделительный призмный блок, и изображающего объектива, формирующего изображение спектра в плоскости приемника излучения.

Использование в качестве спектроделительного элемента плоской дифракционной решетки в сравнении с призмным блоком отличается отсутствием искривления спектральных линий, а спектр остается линейным, что упрощает алгоритм обработки изображений, повышая оперативность и точность получения гиперспектральных данных.

Оптическая схема спектрального блока с плоской дифракционной решеткой показана на рис. 8. Здесь роль коллиматора и изображающего объектива выполняют одинаковые внеосевые зеркально-линзовые объективы типа Максудов-Ньютон.

Расчитанная оптическая схема полностью реализует дифракционный предел разрешения в пределах щели, согласованной с фотоприемной областью матрицы проекционной системой единичного увеличения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Петровский Г.Т., Токарев А.А., Волынкин В.М., Агринский М.В. Создание и применение жидких оптических сред с особым ходом дисперсии. Доклады Академии Наук СССР. 1988; 302 (1): 95–98.
Petrovskij G.T., Tokarev A.A., Volynkin V.M., Agrinskij M.V. Sozdanie i primenenie zhidkih opticheskikh sred s osobym hodom dispersii. Doklady Akademii Nauk SSSR. 1988; 302 (1): 95–98.

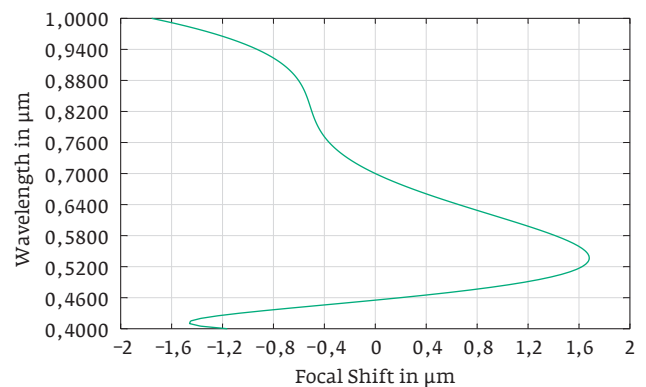


Рис. 5. Хроматизм положения объектива в спектральном диапазоне 0,4–1 мкм для края зрачка ($P_v = 0$)

Fig. 5. Chromatism of the lens position in the spectral range of 0.4–1 μm for the pupil edge ($P_v = 0$)

focal plane at 5 points, demonstrating a qualitatively new level of correction.

The calculated chromatism of the position for the pupil's center and edge is within 1.8 μm (Fig. 4, 5) that, for a relative aperture of 1:5, provides a complete correction of the chromatism of the position compared to the diffraction limit (35 μm in the direction of the longitudinal defocusing) and the pitch of the elements of the photodetector matrix.

The calculated geometric spot of scattering of a point over the entire field does not exceed the diffraction limit of 4.3 μm (Fig. 6), while on the axis it

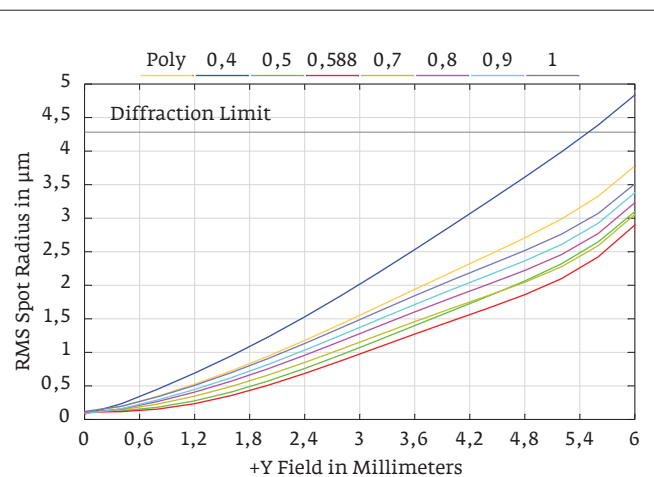


Рис. 6. Среднеквадратичный радиус пятна рассеяния точки по полю зрения (черная линия – среднее значение по длинам волн; цветные линии – на отдельных длинах волн)

Fig. 6. Root-mean-square radius of a scattering spot of a point over the field of view (black line – average value over wavelengths; colored lines – at individual wavelengths)

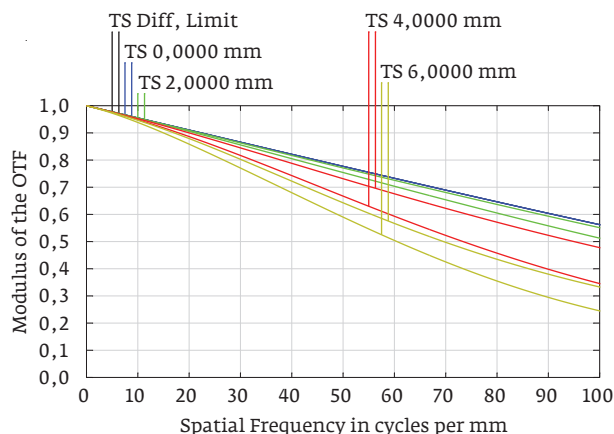


Рис. 7. Функция передачи модуляции объектива в диапазоне 0,4–1 мкм

Fig.7. Transfer function of the modulation of the lens in the range of 0.4–1 μm

2. **Голицын А.В., Ефремов В.С., Михайлов И.О., Оревова Н.В., Федоров Б.В., Шлишевский В.Б.** Жидкие линзы – новая элементная база оптических и оптико-электронных приборов. Интерэкспо GEO-Сибирь-2013. Сб. материалов. Новосибирск: СГГА; 2013; 1(5): 116–120.
Golicyn A.V., Efremov V.S., Mihajlov I.O., Orevova N.V., Fedorov B.V., Shlishevskij V.B. Zhidkie linzy – novaya ehlementnaya baza opticheskikh i optiko-ehlektronnykh priborov. Interehkspe GEO-Sibir'-2013. Sb. materialov. Novosibirsk: SGGA; 2013; 1(5): 116–120.
3. **Голицын А.В., Ефремов В.С., Шлишевский В.Б.** Некоторые варианты оптических систем на основе жидкостных элементов. Сборник трудов XI Международной конференции "Прикладная оптика-2014". Санкт-Петербург: Оптическое общество им. Д.С.Рождественского. 2014; 3: 55.
Golicyn A.V., Efremov V.S., Shlishevskij V.B. Nekotorye varianty opticheskikh sistem na osnove zhidkostnykh ehlementov. Sbornik trudov XI Mezhdunarodnoj konferencii "Prikladnaya optika-2014". Sankt-Peterburg: Opticheskoe obshchestvo im. D.S. Rozhdestvenskogo. 2014; 3: 55.
4. **Голицын А.В., Михайлов И.О., Шлишевский В.Б.** Конструкция миниатюрного комбинированного объектива–моноблока с жидкими линзами. Интерэкспо GEO-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. "СибОптика-2014" (Новосибирск, 8–18 апреля 2014). Сб. материалов. Новосибирск: СГГА; 2014;1: 76–80.
Golicyn A.V., Mihajlov I.O., Shlishevskij V.B. Konstrukciya miniatyurnogo kombinirovannogo ob'ektiva–monobloka s zhidkimi linzami. Interehkspe GEO-Sibir'-2014. H Mezhdunar. nauch. kongr. "SibOptika-2014" (Novosibirsk, 8 18 aprelya 2014). Sb. materialov. Novosibirsk: SGGA; 2014;1: 76–80.
5. **Герцбергер М.** Современная геометрическая оптика / Пер. с англ. / под ред. Д.Ю.Гальперна. Москва: Изд-во "Иностранная литература"; 1962:123.
Gercberger M. Sovremennaya geometricheskaya optika / Per. s angl. / pod red. D.YU. Gal'perna. Moskva: Izd-vo "Inostrannaya literatura"; 1962:123.
6. **Herzberger M., McClure N.R.** The Design of Superachromatic Lenses. Applied Optics. 1963; 2(6): 553–560.
7. Patent USA 3395962 / Superachromatic objective; Max Herzberger; 1965.

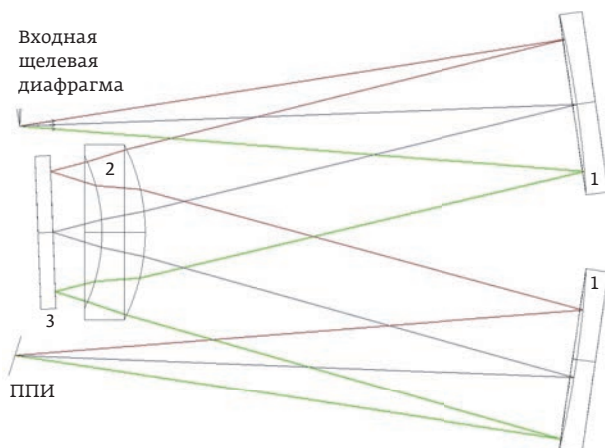


Рис. 8. Оптическая схема спектрального блока с плоской решеткой, где 1 – зеркала, 2 – линза, 3 – дифракционная решетка

Fig. 8. Optical scheme of a spectral unit with a flat grating, where 1 is a mirror, 2 is a lens, 3 is a diffraction grating

is an order of magnitude smaller. Modulation transfer function is thus limited by the diffraction limit of the resolution (Fig. 7). The developed model does not use expensive optical crystals, in contrast to the known lenses – superapochromats.

CALCULATION OF THE OPTICAL SCHEME OF A SPECTRAL UNIT WITH A FLAT DIFFRACTION GRATING

The optical scheme for the formation of a hyperspectral image can consist of a collimating lens, in the focal plane of which a spectral slit is located, and which directs the beam of parallel rays being formed onto the spectrodynamic prism unit and the imaging lens forming the spectrum image in the plane of the radiation receiver.

Use of a flat diffraction grating as a spectral-dividing element in comparison with the prism block, is characterized by the absence of curvature of spectral lines, and the spectrum remains linear, which simplifies the image processing algorithm, increasing the efficiency and accuracy of obtaining hyperspectral data.

The optical scheme of the spectral unit with a flat diffraction grating is shown in Fig.8. Here, the role of the collimating and imaging lenses is performed by the same off-axis catadioptric lenses of the Maksutov-Newton type.

The calculated optical scheme fully implements the diffraction limit of resolution within the slit, matched with the photodetector region of the matrix by a projection system of a single magnification.

ОПТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ С "ОСОБЫМ" ХОДОМ ДИСПЕРСИИ

Специалисты ОКБ "Астрон" представили свои разработки на X международной конференции "Фундаментальные проблемы оптики"-2018, которая проходила 5–19 октября 2018 года в Университете ИТМО в Санкт-Петербурге. Совместно с ИТМО организаторами ФПО-2016 выступили Санкт-Петербургский и Московский государственный университеты, Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе (ФТИ РАН), Оптическое общество им. Д. С. Рождественского, компании "ЛОМО" и Государственный оптический институт им. С. И. Вавилова. Кроме того, конференция проводилась при участии Оптического общества Америки (OSA), Международного общества по оптической технике (SPIE) и Международной комиссии по оптике (ICO). Тематика конференции охватывала следующие вопросы оптики: оптика фемто- и аттосекундных импульсов; квантовая оптика и фундаментальная

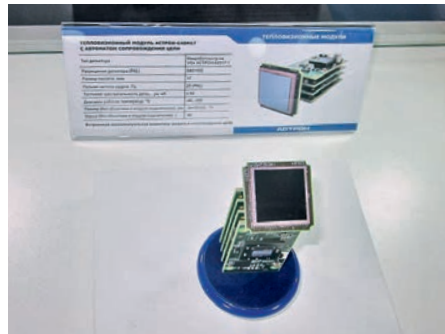
спектроскопия; когерентные процессы взаимодействия света с веществом; новые принципы оптической передачи, обработки и хранения информации; оптические материалы фотоники; оптика для биологии и медицины.

Сотрудники предприятия "АСТРОН" представили доклад "Проектирование оптической системы для гиперспектральной камеры с применением оптических жидких сред с "особым" ходом дисперсии". Впервые в отечественной практике создана гиперспектральная камера с широким спектральным диапазоном на 5 длинах волн (цветах), что превышает известный достигнутый мировой уровень (ее авторы ОКБ "АСТРОН" и ТЦ "Инженер"). Для решения задачи использовались жидкостные оптические материалы с "особым" ходом дисперсии. Объектив реализован в виде двух групп, из трех линз каждая. Гиперспектральная съемка позволяет обна-



руживать объекты по их физико-химическому составу, идентифицировать видовой состав и состояние растительного покрова, определять геологическую структуру, выявлять химический состав воды и многое другое. Разработка инженеров "ОКБ Астрон" поможет решить эти задачи.

www.astron.ru



АСТРОН

Оптико-механическое конструкторское бюро



ПРОИЗВОДСТВО ТЕПЛОВИЗИОННЫХ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ

140080, МО, г. Лыткарино, ул. Парковая, д.1; тел: +7 (495) 215-13-82; info@astrohn.ru, www.astrohn.ru