

## РАСЧЕТ ДВУХДИАПАЗОННОГО ГОЛОГРАММНОГО ОБЪЕКТИВА

*Юрий Цыдыпович Батомункуев*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры физики, тел. (913) 794-84-78, e-mail: opttechnic@mail.ru

*Александра Алексеевна Печенкина*

АО «Новосибирский приборостроительный завод», 630049, Россия, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 179/2, заместитель начальника лаборатории, тел. (923) 107-79-46, e-mail: dianova.aleksandra@mail.ru

В работе предложены двухкомпонентные голограммные объективы, имеющие два рабочих спектральных диапазона: инфракрасный и видимый диапазоны спектра.

**Ключевые слова:** хроматическая aberrация, голограммный объектив, ахроматизация

## CALCULATION OF DUAL-BAND HOLOGRAPHIC LENS

*Yury Ts. Batomunkuev*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor of Department of Physics, phone: (913) 794-84-78, e-mail: opttechnic@mail.ru

*Alexandra A. Pechenkina*

Novosibirsk Instrument-Making Plant, 179/2, D. Kovalchuk St, Novosibirsk, 630049, Russia, Deputy Head of Laboratory, e-mail: dianova.aleksandra@mail.ru

The paper proposes two-component holographic systems with two working spectral ranges: infrared and visible spectral ranges.

**Keywords:** chromatic aberration, holographic lens, achromatization

Известен метод уменьшения хроматической aberrации положения в изображении, полученном с использованием двух и более голограммных пропускающих оптических элементов. Например, в работах [1,2] описываются ахроматические голографические оптические системы, состоящие из двух или трех голограммных пропускающих оптических элементов, расположенных на одной оптической оси. Недостатками этих голографических оптических систем являются: исправление только хроматической aberrации положения, маленькое относительное отверстие и невысокая светосила. Недостатком голографической оптической системы из трех элементов является более низкая дифракционная эффективность по сравнению с системой из двух элементов. Эти системы также рассчитаны лишь для одного рабочего спектрального диапазона. Нерешенные вопросы ахроматизации голографических оптических элементов ограничивают

применение этих элементов в технических решениях устройств наблюдения и целеуказания.

Целью настоящей работы является расчет дополнительного (второго) рабочего спектрального диапазона двухкомпонентного голограммного объектива в инфракрасной области спектра и повышение светосилы системы, при одновременном исправлении хроматической аберрации положения и сферохроматической аберрации третьего порядка.

В работе стандартным методом минимизации характеристической функции рассчитана голографическая система, содержащая расположенные на оптической оси точечный полихроматический источник инфракрасного и видимого диапазона спектра, голограммный объектив из двух параллельных голограммных пропускающих оптических элементов и предметную плоскость, причем оба голограммных оптических элемента являются фокусирующими и плоскими, и расположены перпендикулярно оптической оси.

Устройство объектива поясняется рис/ 1, на котором изображены два варианта двухдиапазонного голограммного объектива, имеющего рабочие диапазоны в видимой и инфракрасной областях спектра. Двухдиапазонная голографическая система содержит точечный полихроматический источник излучения  $S_1$ , имеющий светящуюся поверхность размером (диаметром), равным  $s_1\lambda/F_1$ , где  $s_1$  – расстояние от полихроматического источника до первого голограммного пропускающего оптического элемента (ГОЭ 1),  $\lambda$  – выбранная рабочая длина волны излучения этого источника. Два голограммных пропускающих оптических элемента ГОЭ 1 и ГОЭ 2 голограммного объектива располагаются на одной оптической оси. Плоскости обоих этих элементов ГОЭ 1 и ГОЭ 2 перпендикулярны оптической оси.

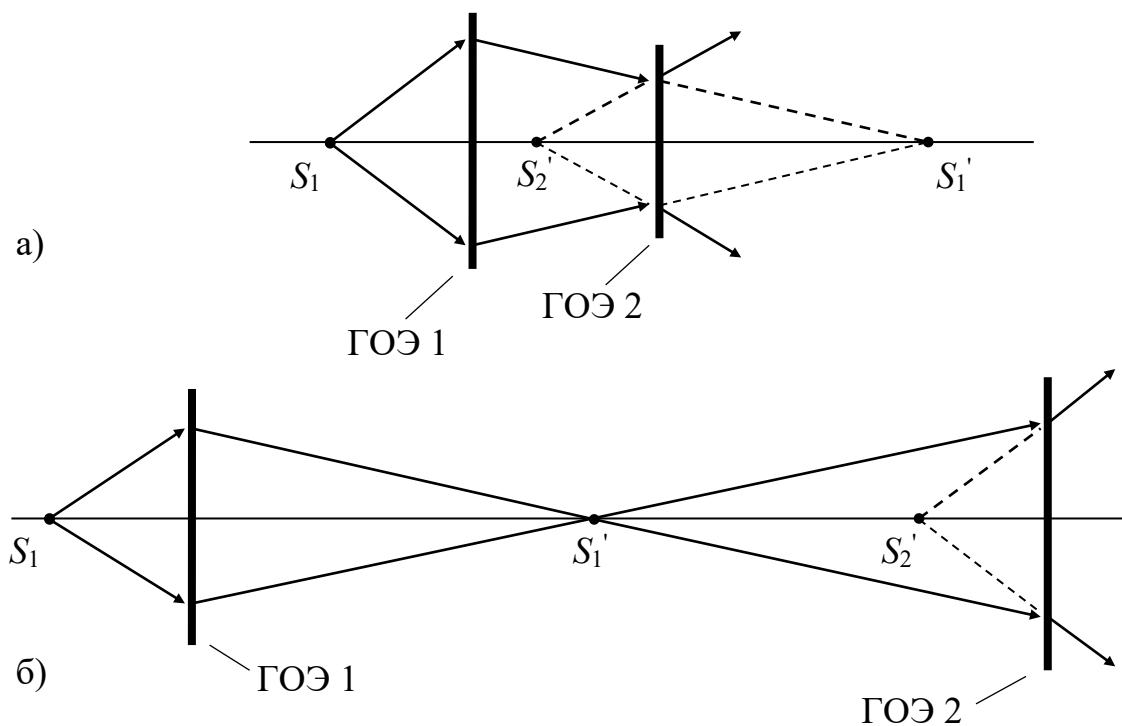


Рис. 1. Двухдиапазонная голографическая система

Двухдиапазонная голографическая система работает следующим образом. От точечного полихроматического источника света  $S_1$  идет расходящаяся световая волна, которая, попадая на первый голограммный пропускающий оптический элемент и дифрагируя на нем, становится сходящейся. Причем первый голограммный пропускающий оптический элемент формирует во втором порядке дифракции изображения  $S_1'$  точечного полихроматического источника в заданном участке видимой области спектра, а в первом порядке дифракции – изображения  $S_1'$  в заданном участке инфракрасной области спектра. Изображения  $S_1'$  точечного полихроматического источника в видимом и в инфракрасном диапазонах спектра располагаются на оптической оси и образуют в видимом диапазоне непрерывный ряд окрашенных цветных точечных изображений, как показано на рис. 1: (рис. 1, а) – мнимые изображения, (рис. 1, б) – действительные изображения. В первом и во втором порядках дифракции голограммного пропускающего оптического элемента имеет место наложение спектров, и изображения  $S_1'$  полихроматического источника пространственно совпадают для длин волн излучения, отличающихся в два раза. Сходящаяся после первого голограммного пропускающего оптического элемента полихроматическая волна дифрагирует на втором голограммном пропускающем оптическом элементе и становится расходящейся, формируя ахроматическое изображение  $S_2'$  точечного полихроматического источника. Причем это полихроматическое изображение  $S_2'$  является результатом пространственного совмещения изображений, сформированных волнами, дифрагировавшими в первый и во второй порядки дифракции. Достигается это тем, что при дифракции на втором голограммном пропускающем оптическом элементе сходящихся волн происходит обратное наложение спектров первого и второго порядков дифракции, приводящее к возникновению расходящейся из одной точки уже полихроматической волны. Указанная ахроматизация изображения имеет место при двух определенных расстояниях  $L$  между первым и вторым голограммными пропускающими оптическими элементами, задаваемых выражением [3]

$$L = 3F_1 \pm 3(F_1F_2)^{0,5},$$

где  $F_1$  и  $F_2$  – фокусные расстояния первого и второго голограммных пропускающих оптических элементов в первом порядке дифракции на заданной рабочей длине волны. Расстояние от второго голограммного пропускающего оптического элемента до изображения точечного полихроматического источника задается известной формулой тонкого голограммного оптического элемента.

Таким образом, образование дополнительного рабочего спектрального диапазона в инфракрасной области спектра, увеличение светосилы голограммного объектива при одновременном исправлении хроматической аберрации положения и исправление сферохроматической аберрации третьего порядка достигаются за счет того, что оба голограммных пропускающих оптических элемента объектива являются фокусирующими и плоскими и расположены перпендикулярно оптической оси, причем первый голограммный пропускающий оптиче-

ский элемент находится от предметной плоскости на расстоянии, в полтора раза превышающем его фокусное расстояние в первом порядке дифракции, а второй голограммный пропускающий элемент расположен от первого голограммного элемента на расстоянии, равном утроенной разности фокусного расстояния первого голограммного элемента и корня квадратного из произведения фокусных расстояний первого и второго голограммных элементов. Кроме того, в двухдиапазонном голограммном объективе второй голограммный пропускающий оптический элемент может быть расположен от первого элемента на расстоянии, равном утроенной сумме фокусного расстояния первого голограммного элемента и корня квадратного из произведения фокусных расстояний первого и второго голограммных элементов. Предлагаемые технические решения защищены патентом [3].

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Bennet, S. J. Achromatic combinations of hologram optical elements // Applied optics. – 1976. – V. 15, N. 2. – P. 542–545.
2. Sweatt, W. C. Achromatic triplet using hologram optical elements // Applied optics. – 1977. – V. 16, N. 5. – P. 1390–1391.
3. Патент на полезную модель RU 184965 U1, 15.11.2018. Двухдиапазонная голографическая оптическая система. Батомункуев Ю.Ц., Дианова А.А.

© Ю. Ц. Батомункуев, А. А. Печенкина, 2021