

# ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ

УДК 535.8

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХЛИНЗОВЫХ ОБЪЕКТИВОВ-АХРОМАТОВ КАК БАЗОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СВЕТОСИЛЬНЫХ ОБЪЕКТИВОВ ПРИБОРОВ НОЧНОГО ВИДЕНИЯ

© 2009 г. С. В. Олейник; Т. Н. Хацевич, канд. техн. наук

Сибирская государственная геодезическая академия, Новосибирск

E-mail: shafrai@risp.ru

Исследованы двухлинзовые объективы из комбинаций стекол различных марок, получен набор базовых двухлинзовых объективов с относительным отверстием 1:3–1:2,5, ахроматизированных для спектрального диапазона 0,6–0,9 мкм.

Коды OCIS: 220.0220, 220.1000, 220.3620.

Поступила в редакцию 21.10.2008.

Двухлинзовые объективы остаются базовыми элементами для расчета светосильных объективов современных приборов ночного видения (ПНВ), при этом область их ахроматизации должна быть согласована со спектральной характеристикой используемых электронно-оптических преобразователей (ЭОП), а высокий предел разрешения современных ЭОП 2-го и 3-го поколений ( $45\text{--}60\text{ мм}^{-1}$ ) диктует необходимость качественной коррекции остаточных aberrаций в базовом элементе объектива.

Целью работы являлось создание набора базовых двухлинзовых объективов с относительным отверстием до 1:2,5, ахроматизированных в спектральном диапазоне от  $\lambda_1 = 0,6$  мкм до  $\lambda_2 = 0,9$  мкм, соответствующем спектральной чувствительности фотокатодов ЭОП, с одновременным устранением сферической aberrации путем исследования комбинаций стекол марок российских производителей.

В оптической системе, состоящей из двух вплотную расположенных компонентов, ахроматическая коррекция в определенном спектральном интервале осуществляется при выполнении известных условий

$$\begin{aligned}\Phi &= \Phi_1 + \Phi_2, \quad \Phi_1 = \Phi v_1 / (v_1 - v_2), \\ \Phi_2 &= \Phi v_2 / (v_2 - v_2),\end{aligned}\quad (1)$$

связывающих оптические силы  $\Phi_1$ ,  $\Phi_2$  первого и второго компонентов и всей системы  $\Phi$  с коэффициентами средних дисперсий  $v_1$  и  $v_2$  материалов линз.

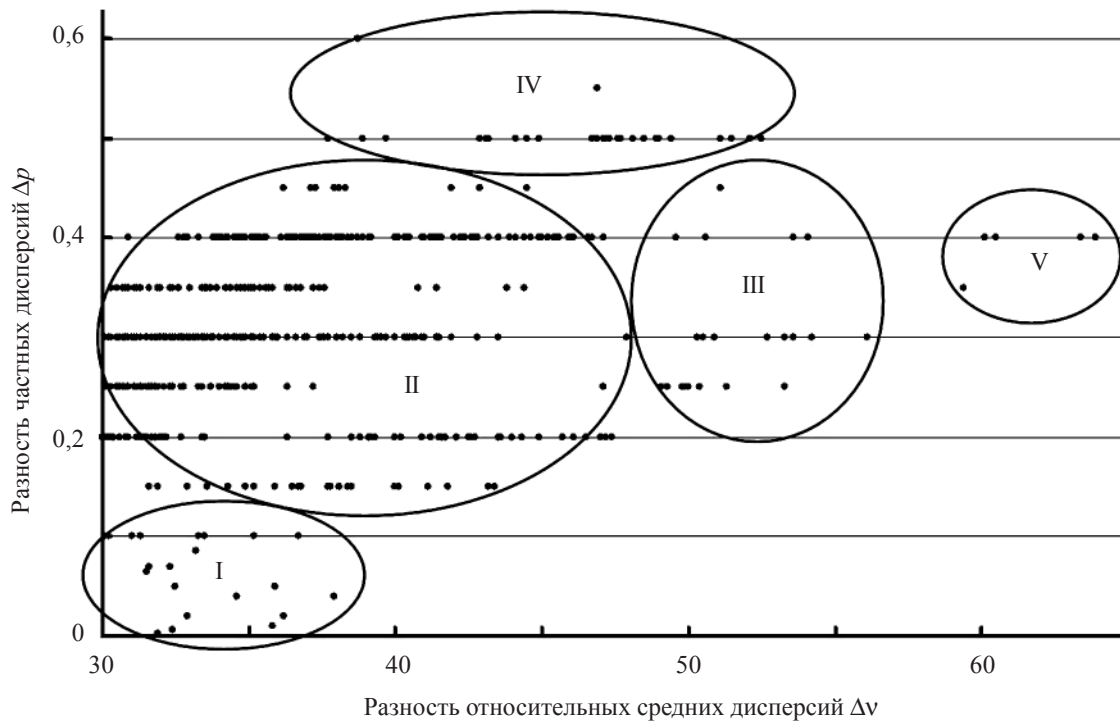
Одновременное уменьшение вторичного спектра  $\Delta s'_{\lambda_1, \lambda_0}$ , которое в двухлинзовом объективе-ахромате определяется формулой

$$\Delta s'_{\lambda_1, \lambda_0} = -f'_{\lambda_0} (p_1 - p_2) / (v_1 - v_2), \quad (2)$$

возможно при соблюдении равенства относительных частных дисперсий  $p_1$  и  $p_2$  используемых марок стекол.

В формулу (1) входят оптические силы линз  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$ , пропорциональные разности кривизн их преломляющих поверхностей. Заданная разность кривизн может быть определена бесконечным множеством решений. Однако эта разность однозначно определяет сферическую aberrацию линзы. Комбинируя линзы с различными кривизнами  $r$  преломляющих поверхностей, разность  $\Delta r$  между которыми строго задана, можно добиться в двухлинзовом объективе принципиального устранения сферической aberrации.

Для отечественных марок стекол был проведен расчет относительной частной  $p$  и средней  $v$  дисперсий в указанном диапазоне длин волн ( $\lambda_1 = 0,6$  мкм,  $\lambda_0 = 0,75$  мкм,  $\lambda_2 = 0,9$  мкм), при этом показатели преломления  $n$  рассчитывались по дисперсионной формуле. Далее по формулам (1) и (2) определялись параметры линз, комбинация которых позволяет скорректировать в двухлинзовом объективе хроматизм положения и сферическую aberrацию. Общее число исследованных сочетаний марок стекол – более пятисот. Исследованные комбинации разбиты на пять групп (см. рис.), для каждой из которых на втором этапе работы методом оптимизации определены предельные возможности по коррекции осевых и внеосевых aberrаций (для малых угловых полей – до  $2,5^\circ$ ). При этом для оценки качества изображения был использован критерий, предложенный в работе [1]: “объектив должен обладать возможно



Распределение исследованных базовых двухлинзовых объективов по группам в зависимости от  $\Delta p$  и  $\Delta v$ .

высокими коэффициентами передачи контрастов в пределах того диапазона частот, в котором он работает с данным приемником изображений”.

К группе I отнесены пары оптических материалов, обладающие малой разностью относительных частных дисперсий  $\Delta p$ , в результате чего появляется возможность существенного уменьшения вторичного спектра при разработке объектива. В эту группу включены 22 пары, составленные из следующих оптических материалов: ОК1–БФ16, ОК2–БФ27, ОК1–БФ8, ОК1–БФ25, ОК1–ЛФ11, ОК1–БФ32, ОК1–ОФ7, ОК1–ЛФ10, ОК2–ОФ3, ОК2–ОФ8, ОК2–ОФ4, ОК1–ЛФ12, ОК2–ЛФ5, ОК2–ЛФ7, ОК2–ОФ5, ОК1–ТБФ9, ОК1–ОФ3, ОК1–ОФ8, ОК1–ОФ4, ОК1–ЛФ5, ОК2–ЛФ5 и ОК1–ОФ5. К сожалению, в перечисленных парах разности средних дисперсий  $\Delta v$  применяемых материалов лежат в довольно узком промежутке  $\Delta v = 30,1-37,9$ . Такой малый интервал разностей  $\Delta v$  затрудняет расчет объективов с увеличенным относительным отверстием.

Оптические пары группы V обладают весьма большой разностью коэффициентов средней дисперсии  $\Delta v$ , что благоприятствует уменьшению кривизны преломляющих поверхностей объектива, а, следовательно, и увеличению его относительного отверстия. В эту группу включены всего пять объективов со следующими комбинациями оптических матери-

алов: ОК1–СТФ11, ОК1–СТФ3, ОК2–СТФ11, ОК2–СТФ3 и ОК1–СТФ2. Однако недостаточно малая разность относительных частных дисперсий  $\Delta p$  не позволяет уменьшить хроматическую aberrацию в двухлинзовом склеенном объективе этой группы. При отказе от склеенности линз появляется дополнительная возможность влияния на сферохроматическую aberrацию.

Оптические пары групп II–IV могут иметь при большой разности частных относительных дисперсий  $\Delta p$  достаточно большую разность средних дисперсий  $\Delta v$ . Применение таких пар при разработке двухлинзовых объективов позволяет одновременно с уменьшением вторичного спектра увеличить относительное отверстие. К таким относятся, например, следующие: ЛК3–СТФ11 ( $\Delta p = 0,05$ ,  $\Delta v = 52,5$ ), ЛК8–ТБФ14 ( $\Delta p = 0,05$ ,  $\Delta v = 42$ ), СТК12–СТФ3 ( $\Delta p = 0,06$ ,  $\Delta v = 38,7$ ).

В результате получен набор “базовых” двухлинзовых объективов с относительными отверстиями 1:3–1:2,5, ахроматизированных для спектрального интервала 0,6–0,9 мкм, которые могут служить основой для расчета светосильных объективов ПНВ, работающих с современными ЭОП 2-го и 3-го поколений. В ходе исследования также было выявлено следующее: наилучшие результаты получаются при компоновке объектива по схеме “положитель-

ный крон – отрицательный флинтвый мениск”. Первый элемент выполняет чисто силовую функцию и в большей степени определяет фокусное расстояние объектива. Толщина по оси коррекционно-силового мениска является мощным коррекционным параметром, а выбор марок стекла имеет важное значение для проектирования форсированных по светосиле объективов. Однако отсутствие необходимых оптических материалов можно до определенной степени компенсировать за счет изменения размера воздушного промежутка между компонентами.

Найденные оптимальные комбинации использованы при разработке светосильных объективов ПНВ с относительными отверстиями до 1:1,5, например [2]. Объективы изготовлены и внедрены в производство в ОАО “Катод” (Новосибирск).

#### *ЛИТЕРАТУРА*

1. *Волосов Д.С.* Фотографическая оптика. М.: Искусство, 1971. 671 с.
2. *Хацевич Т.Н., Олейник С.В.* Линзовый объектив // Патент России № 2239855. 2004.