

УДК 681.7.015.2+535.317

ИНФРАКРАСНЫЙ ОБЪЕКТИВ ДЛЯ ПРИБОРОВ НАВЕДЕНИЯ

Чернавчиц Д.А., Артюхина Н.К.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В настоящее время широкое распространение приобрела различная аппаратура, работающая в инфракрасном диапазоне (ИК) спектра, применяемая в промышленности и научных исследованиях. Приборы наведения применяются в различных сферах деятельности, начиная от метеорологии (определения типа облаков и их движения) и заканчивая приборами военной техники.

При рассмотрении оптических систем, работающих в ИК области спектра, предпочтение очень часто отдают зеркальной оптике в связи с трудностями подбора линзовых материалов, прозрачных в этой области [1, 2]. К линзовым системам предъявляются жёсткие требования по весу и габаритным характеристикам, технологии и стоимости их изготовления.

Зеркальные объективы, работающие в дальней ИК области спектра и предназначенные для регистрации излучения слабых и достаточно протяженных источников, должны быть светосильными и обладать значительными угловыми полями зрения [3,4]. Они должны обеспечивать анастигматическую коррекцию aberrаций. Увеличение поля зрения исключает применение сканирующих элементов, но делает необходимой разработку более сложной схемы объектива.

Современные зеркальные системы применяют в оптических приборах, работающих как в ИК, так и в УФ областях спектра. В отличие от линзовых систем, в зеркальных, отсутствуют хроматические aberrации для любых значений апертуры.

Развитие приборов наведения невозможно представить без модернизации и введения в эксплуатацию новых оптических систем. Остается актуальным разработка и модернизация имеющихся линзовых объективов, расширения используемого спектра излучения и использования новых марок стекол, а также исправление хроматических aberrаций для двух и более длин волн.

Цель настоящей работы – разработка модификации оптической схемы приемного канала прибора наведения по средствам использования ахроматического объектива для двух длин волн ($\lambda = 579$ нм и $\lambda = 1,06$ мкм), а также проведение сравнительного анализа ИК материалов.

Ахроматизация ИК объектива. Условием ахроматизации является выражение:

$$dS' = \Sigma \frac{\Phi}{\nu} = 0.$$

где Φ – оптическая сила линзы.

Оптические силы линз ахроматического двухлинзового объектива равны:

$$\Phi_1 = \frac{\nu_1}{\nu_1 - \nu_2}; \quad \Phi_2 = 1 - \varphi_1,$$

где ν_1 и ν_2 – коэффициенты дисперсии материалов линз объектива. В таких склейках используют линзы, изготовленные из оптических стекол различных марок стекол [5].

В работе рассматриваются методики расчета ахроматических линзовых объективов применяемых в приемных каналах приборов наведения.

Проведено моделирование с помощью компьютерных пакетов программ проектирования оптики Oral и Zemax и разработана оптимальная оптическая система. Компьютерная модель объектива приведена на рисунке 1. Проведена коррекция хроматических и сферической aberrаций.

С целью проведения коррекции хроматических и сферической aberrаций была проведена компьютерная оптимизация значений конструктивных параметров поверхностей линз. Рассчитаны геометрические aberrации и частотно-контрастная характеристика (ЧКХ). Качество изображения в модернизированной системе значительно улучшено по сравнению с аналогом: значение ЧКХ значительно выше ($N_{ст} = 60$ мм-1; $N_n = 145$ мм-1).



Рисунок 1 – Модель объектива

Сравнительный анализ оптических ИК материалов. Сравнительный анализ проведен по величине спектрального пропускания. Многие важнейшие оптические детали в ИК объективах сделаны из специальных материалов. Эти материалы должны удовлетворять ряду жестких эксплуатационных требований, таких, как достаточная прозрачность в рабочем спектральном диапазоне спектра, хорошая обрабатываемость и негигроскопичность, прочность и т. д.

Коррекция хроматизма в оптических системах, работающих в том или ином ИК спектральном диапазоне, бывает весьма затруднительна ввиду небольшого выбора оптических материалов, прозрачных в этом диапазоне. Обычно оптические стекла практически непрозрачны в области длин волн свыше 2,5 мкм, в средних диапазонах ИК области применяются оптические кристаллы и специальные марки стекол [2].

Вопросам анализа материалов для различных диапазонов ИК спектрального диапазона посвящен ряд работ: в [7] обобщены результаты исследований различных физико-химических свойств оптических материалов для ИК области; в [8] рассмотрены вопросы выбора оптических материалов при расчете двухлинзовых объективов для определенных спектральных окон ИК области и проанализированы вопросы выбора комбинаций оптических материалов при расчете двухлинзовых склеенных и несклеенных объективов в ближней ИК области.

Различие оптических диапазонов работы обуславливает необходимость самостоятельного решения выбора оптических материалов и абберационного расчета в каждом конкретном случае при заданных параметрах ГЗ.

В табл.1 приведены оптические постоянные ИК материалов.

Таблица 1 – Оптические постоянные ($\lambda = 1,8-3,5$ мкм)

Материал	$n_{2,6}$	$\frac{n_{1,8} - n_{2,6}}{n_{2,6}}$	$v = \frac{n_{2,6} - 1}{n_{1,8} - n_{2,6}}$	$\gamma = \frac{n_{2,6} - n_{3,5}}{n_{1,8} - n_{3,5}}$
Иртран-1	1,3675	0,0145	25,85	0,6069
LiF	1,3720	0,0219	16,99	0,6073
CaF ₂	1,4205	0,0108	38,94	0,5926
SiO ₂ (плавл)	1,4279	0,0350	12,23	0,6257
BaF ₂	1,4625	0,0060	77,08	0,5500
KCl	1,4742	0,0027	175,63	0,4815
NaCl	1,5253	0,0041	128,12	0,5122
KBr	1,5371	0,0027	198,93	0,3704
CsBr	1,6700	0,0028	239,29	0,5000
Al ₂ O ₃	1,7230	0,0464	15,58	0,5991
CsI	1,7445	0,0037	201,22	0,2973
AgCl	2,0035	0,0065	154,38	0,3846
KRS-6	2,2011	0,0114	105,36	0,3421
Иртран-2	2,2582	0,0130	96,79	0,3923
KRS-5	2,3886	0,0157	88,45	0,3248
As ₂ S ₃	2,4205	0,0172	82,59	0,4302
As(Se)	2,4917	0,0209	71,37	0,2967
Si	3,4379	0,0331	73,65	0,2870
Ge	4,068	0,111	27,64	0,3243

Для сравнительного анализа были использованы характеристики спектрального пропускания ряда материалов для определенных толщин образцов материалов [2] (без применения просветле-

ния) при учете прозрачности в заданном диапазоне ($\lambda = 1,8-3,5$ мкм). При величине коэффициента пропускания $\tau = 70$ % могут быть применены все приведенные материалы, приведенные в табл. 1, кроме As(Se) и Иртран-2. Для увеличения коэффициента пропускания таких материалов, как Si, Ge можно использовать просветляющие покрытия.

Перспективы проведенной работы состоят в дальнейшем усовершенствовании прибора наведения, выпускаемого предприятиями оптической отрасли, в части модернизации приемного канала. Развитие работ по разработке данного изделия позволит создать конкурентно-способный образец прибора на отечественном и международном рынке.

Литература

1. Тарасов, В.В. Инфракрасные системы 3-го поколения / В.В. Тарасов, И.П. Торшина, Ю.Г. Якушенок. – М. : Логос, 2011. – 240 с.
2. Night thermal sight <http://dlib.eastview.com/browse/doc/13113060\2505.11.afqks\mht>.
3. Запрягаева, Л.А. Расчет и проектирование оптических систем / Л.А. Запрягаева, И.С. Свешникова. – М. : Логос, 2010. – 581 с.
4. Артюхина Н.К., Чернавчиц Д.А., Седун Д.Н. Зеркальный инфракрасный объектив. 11-я МНТК молодых ученых и студентов «Новые направления развития приборостроения». Минск, 18-20 апреля 2018, Мн. : БНТУ, 2018. – С.274.
5. Запрягаева, Л.А. Расчет и проектирование оптических систем / Л.А. Запрягаева, И.С. Свешникова. – М.: Логос, 2010. – 581 с.
6. Артюхина Н.К., Чернавчиц Д.А., Бобко А.Н., Ахроматический объектив для схемы приемного канала системы наведения. - Материалы 12-ой Международной научно-технической конференции молодых ученых и студентов «Новые направления развития приборостроения», Минск, 2019 г.
7. Артюхина Н.К. Коррекция хроматизма и анализ оптических материалов в ИК объективах / Н.К. Артюхина, И.Н. Батуро // Материалы 6-й МНТК «Приборостроение 2013», г. Минск, 20–22.11.2013. Сборник трудов 6-й международной научно-технической конференции «Приборостроение – 2013» – С. 261–263.
8. Воронкова, Е.М. Оптические материалы для инфракрасной техники / Е.М. Воронкова и [др.]. – М. : Наука, 1965. – 268 с.
9. Лившиц, И.Л. Выбор исходной системы для расчёта объективов / И.Л. Лившиц, А.В. Сальников, Unchung Cho // Оптический журнал. – 2007. – Т. 74, № 11. – С. 74–78.