

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМОКОМПЕНСИРОВАННОГО ОБЪЕКТИВА ДЛЯ СПЕКТРАЛЬНОГО ДИАПАЗОНА 3–5 МКМ СИСТЕМ ДАЛЬНОГО НАБЛЮДЕНИЯ

А. И. Пучковская

Белорусский государственный университет, г. Минск;

nyusapuch@outlook.com;

науч. рук. – Лебедок Е. В., канд. физ.-мат. наук

В статье представлены результаты исследования по созданию схемы оптической системы тепловизионного прибора для обнаружения объекта на расстоянии 4 км при различных температурах окружающей среды. Объект исследования – термокомпенсированный объектив для спектрального диапазона 3–5 мкм систем дальнего наблюдения. В программе Zemax была спроектирована оптическая система тепловизионного прибора для обнаружения человека на расстоянии 4 км при 20°C и 1 атм. Был проведен анализ качества изображения разработанной оптической системы с помощью параметров кружка рассеяния, который показал, что при 60°C нужна термокомпенсация. В качестве наиболее оптимального способа термокомпенсации был выбран демонтаж взаимокompенсированных линейных размеров материалов. Оптическая схема объектива включает в себя шесть оптических компонентов, выполненных из фторида магния, бария и кальция, а также халькогенидов: германий, мышьяк, селен. Расчет производился на основе решения уравнений с использованием коэффициентов расширения материалов компонентов объектива.

Ключевые слова: системы дальнего наблюдения; тепловизионный измерительный прибор; объектив для спектрального диапазона 3–5 мкм; термокомпенсация.

В настоящее время в мире широко ведутся исследования по совершенствованию информационно-измерительных систем дистанционного мониторинга, которые нашли применение в самых разных областях человеческой деятельности.

Целью нашей работы было создание схемы оптической системы тепловизионного прибора для обнаружения объекта на расстоянии 4 км при различных температурах окружающей среды.

Тепловизионный измерительный прибор (теповизор) – это оптико-электронный прибор, предназначенный для бесконтактного (дистанционного) наблюдения, измерения и регистрации пространственного/пространственно-временного распределения радиационной температуры объектов, находящихся в поле зрения прибора [1].

Процесс обнаружения и распознавания объекта зависит от ряда случайных факторов и является вероятностным. Поэтому необходим критерий, позволяющий с определенной степенью достоверности принимать решение о выполнении задачи обнаружения, распознавания и идентификации. В качестве такого критерия широко применяется критерий Джонсона.

Основываясь на физических законах инфракрасного излучения можно сделать вывод, что для малых разностей температур или коэффициентов излучения спектральный диапазон 3–5 мкм обеспечивает дифференциальную чувствительность в 2,2 раза больше, чем диапазон 8–14 мкм, и это справедливо в широком диапазоне температур [2].

Для регистрации изображения нужен объектив. Материалы, используемые для создания оптических систем должны иметь широкую полосу пропускания излучения; высокую однородность и прозрачность; стойкость к внешним воздействиям; высокую механическую прочность; малый температурный коэффициент расширения и малый температурный коэффициент показателя преломления, обеспечивающий пассивную атермализацию.

Любая оптическая система характеризуется своей не идеальностью. Объективы должны иметь малый астигматизм, малые искажения, абerrацию и хроматизм.

В оптических системах полностью устранить aberrации невозможно. Их доводят до минимально возможных значений. Устраняют подбором линз, комбинациями из различных сортов стёкол, подбором радиусов кривизны. Иногда, также, минимизируют одни aberrации за счёт увеличения других.

Ещё один фактор влияющий на параметры оптической системы – это температура. Применяемые оптические материалы имеют значительные температурные коэффициенты изменения показателей преломления, возникает необходимость применения системы термокомпенсации (коррекции температурного влияния окружающей среды). Для реализации этой задачи возможны следующие решения:

- предусмотреть ручную подфокусировку;
- снабдить систему автоматической электромеханической подфокусировкой (активная компенсация, за счет применения приводов);
- исключить влияние температуры, подбирая материалы различных элементов системы;
- исключить влияние температуры, монтируя линзы системы таким образом, чтобы они перемещались с изменением температуры, компенсируя расфокусировку.

Программа Zemax позволяет моделировать, анализировать и проектировать оптические системы.

Для обнаружения человека на расстоянии 4 км при различных температурах окружающей среды была разработана оптическая система тепловизионного прибора с фокусным расстоянием 75 мм для спектрального диапазона 3–5 мкм с форматом кадра 640x512 элементов и шагом между чувствительными элементами 20 мкм (рис. 1). Оптическая схема

объектива включает в себя шесть оптических компонентов, выполненных из фторида магния (MgF2), бария (BaF2) и кальция (CaF2). А также халькогенидов (AMTIR1, IRG100): германий, мышьяк, селен.

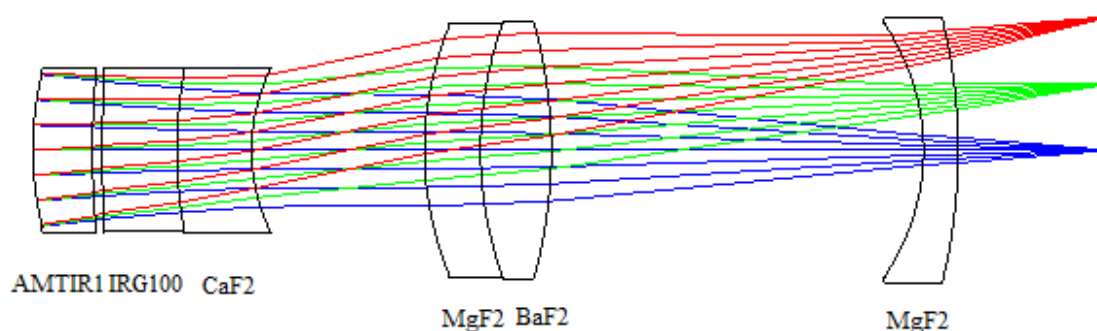


Рис. 1. Оптическая система объектива

Качество изображения разработанной оптической системы оценивается с помощью параметров кружка рассеяния.

В результате расчетов была получена точечная диаграмма пятна рассеяния при 20°C (рис. 2 а) и точечная диаграмма пятна рассеяния при 60°C без термокомпенсации (рис. 2 б) (характеризует критерий качества оптической системы). Расстояние от последней поверхности объектива до изображения равно 12.771 мм.

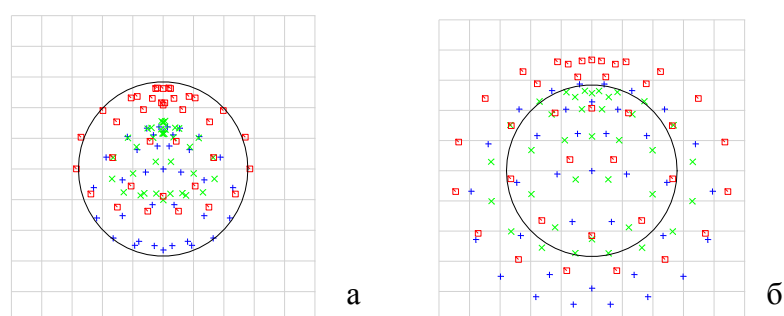


Рис. 2. Точечная диаграмма пятна рассеяния при 20°C (а) и 60°C без термокомпенсации (б)

При рассмотрении температуры при 60°C нужна термокомпенсация. Наиболее оптимальный способ – это компенсация в виде демонтажа взаимокompенсированных линейных размеров материалов. Решается на основе уравнений, зная коэффициенты расширения.

Для подбора материала (α) и длины L_1 , L_2 используется уравнение:

$$|\Delta BFL| = \alpha_2 L_2 \Delta T - \alpha_1 L_1 \Delta T = \Delta T (\alpha_2 L_2 - \alpha_1 L_1) = 0.0914 \text{ мм}, \quad (1)$$

где BFL - заднее фокусное расстояние,

$L_1 - L_2 = BFL_{20^\circ\text{C}} = 12.6568 \text{ мм}$, $\alpha_1 = 1.26 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $\alpha_2 = 23.6 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $\Delta T = 60^\circ\text{C}$.

Решение уравнений:

$$L_2 = \frac{(0.0036'') + \alpha_1 \Delta T (0.4983'')}{\alpha_2 \Delta T - \alpha_1 \Delta T} = 68.9331 \text{ мм}, \quad (2)$$

$$L_1 = 0.4983'' + L_2 = 81.5899 \text{ мм}, \quad (3)$$

Точечная диаграмма пятна рассеяния с учетом термокомпенсации при 60°C представлена на рисунке 3. Расстояние от последней поверхности объектива до изображения равно 12.683мм.

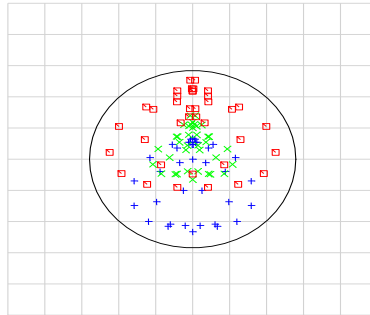


Рис. 3. Точечная диаграмма пятна рассеяния с учетом термокомпенсации при 60°C

Геометрический радиус кружка рассеяния точки не превышает 19 мкм в центре поля зрения и 23 мкм на краю поля зрения. Представленная оптическая система обладает разрешающей способностью, позволяющей использовать ее в оптико-электронных системах (ОЭС) для решения задач обнаружения, распознавания и идентификации объектов наблюдения. Приведенные данные показывают хорошее качество разработанной оптической системы.

Библиографические ссылки

1. Госсорг Ж. Инфракрасная термография. Основы, техника, применение. М., 1988.
2. Выбор спектральных диапазонов : отчет [Электронный ресурс] / ИРТИС. URL: http://www.irtis.ru/paper/ir_wavelength.pdf (дата обращения: 20.04.2019).