

УДК 681.782:621.384.326.3

Инфракрасный телескоп с двумя увеличениями и дифракционным оптическим элементом

И. В. Кергет, В. Л. Корнейчик, А. А. Кудряшов
АО "Пеленг", Республика Беларусь, Минск

Разработан телескоп с двумя увеличениями для области спектра 8—12 мкм. Оптическая система состоит из пяти линз и имеет высокий коэффициент светопропускания. Смена увеличения осуществляется перемещением одной из линз вдоль оптической оси. Для коррекции хроматизма использован дифракционный оптический элемент. Компенсация температурных искажений производится подвижкой двух линз с помощью двух электромеханических приводов.

Инфракрасные телескопы широко используются для работы в составе тепловизионных приборов, работающих в области спектра 8—12 мкм. Использование телескопа как насадки на тепловизионную камеру, состоящую из фокусирующего объектива, сканирующей системы и фотоприемника, позволяет с применением одной и той же тепловизионной камеры получать различные сочетания увеличений и полей зрения. В тепловизионных системах, как правило, необходимо менять увеличение. Большое увеличение обеспечивает опознавание объекта на максимальной дальности в узком поле зрения, а малое увеличение — поиск объекта в широком поле зрения.

Существуют телескопы с непрерывной и дискретной сменой увеличения. Телескопы с дискретной сменой увеличения применяются тогда, когда требуется быстрое переключение полей зрения. Существует множество ИК-телескопов, в которых смена увеличения осуществляется путем введения дополнительной системы линз. Вариант такого телескопа представлен в работе [1]. Такие системы имеют увеличенное число линз, что обуславливает усложнение конструкции телескопа и уменьшение коэффициента светопропускания. Существуют также системы, в которых один из компонентов имеет два фиксированных положения на оптической оси. При этом система обеспечивает два требуемых увеличения и одинаковые положения плоскостей предмета и изображения для этих увеличений.

Пример такого телескопа представлен в работе [2]. Основным материалом, применяемый для систем, работающих в области 8—12 мкм, — германий, который имеет более ошутимое поглощение света и более высокую зависимость показателя преломления и коэффициента линейного расширения от температуры по сравнению с традиционными оптическими материалами. Это накладывает жесткие требования на количество линз и обуславливает необходимость температурной компенсации. Необходимо также учитывать, что оптические материалы для ИК-оптики имеют высокую стоимость. Для ахроматизации телескопа оптическая система должна содержать дополнительно хотя бы одну линзу, изготовленную из материала с другим коэффициентом дисперсии, например из селенида цинка. Решить задачу ахроматизации без введения дополнительных линз можно с использованием дифракционного оптического элемента, сформированного на поверхности одной из германиевых линз. В области 8—12 мкм имеется возможность изготовить дифракционный элемент с непрерывным профилем внутри зоны с 100%-ной дифракционной эффективностью на основной длине волны. Задача термокомпен-

сацией телескопа может решаться путем применения дополнительных линз, изготовленных из материала с другими термооптическими коэффициентами.

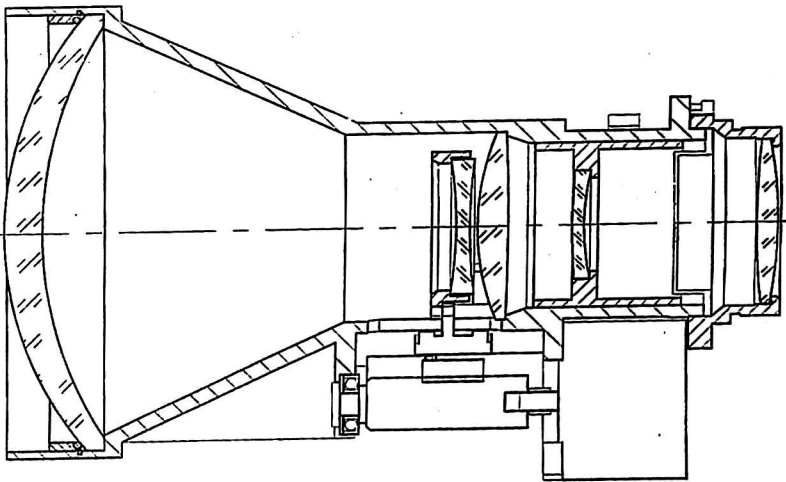
Другой способ термокомпенсации — использование перемещения некоторых линз в системе по определенному закону в зависимости от изменения температуры. Была поставлена задача спроектировать ИК-телескоп с двумя увеличениями и с минимальным количеством линз.

Проектирование телескопа велось согласно следующим техническим требованиям: рабочая область спектра 8—12 мкм; поле зрения в пространстве предметов: широкое поле — 6x4 град, узкое — 3x2 град; диаметр входного зрачка: в широком поле 76 мм, в узком — 110 мм. При этом телескоп должен сохранять работоспособность в температурном диапазоне $-30^{\circ}\div+65^{\circ}\text{C}$.

Оптическая система телескопа (рисунок) включает пять линз из германия. Телескоп состоит из объектива, включающего четыре линзы, и однолинзового окуляра. Первая линза строит изображение удаленного объекта и выполнена в виде положительного мениска. Вторая отрицательная линза имеет два фиксированных положения на оптической оси для смены увеличения. Третья линза формирует изображение в передней фокальной плоскости окуляра. Четвертая линза имеет такую оптическую силу, что входной зрачок при большом увеличении располагается вблизи первого линзового компонента. В этом случае диаметр первой линзы минимальный. Четвертая линза служит также для коррекции астигматизма и кривизны поля. Окуляр формирует параллельные световые пучки и совмещает их в выходном зрачке, сопряженном со зрачком сканера. Для лучшей коррекции aberrаций в широких пучках первая и третья линзы имеют по одной асферической поверхности. Для коррекции aberrаций в зрачках и дисторсии линза шестого окуляра, имеет асферическую поверхность. Уравнение асферических поверхностей имеет вид:

$$z = (a_0 \rho^2) \frac{1}{1 + (1 - (k + 1)a_0^2 \rho^2)^{1/2}} + a_1 \rho^4 + a_2 \rho^6 + \dots,$$

где $\rho^2 = x^2 + y^2$, (x, y, z) — координаты точки поверхности;
 k — квадрат эксцентриситета;
 a_i — коэффициенты.



Конструкция телескопа

Для ахроматизации в данном спектральном диапазоне используется дифракционный элемент, выполненный в виде киноформа, сформированного на вогнутой стороне первой линзы. Перемещение второй линзы вдоль оптической оси для смены увеличения происходит путем использования привода, состоящего из шагового двигателя, винтовой передачи и направляющей. Компенсация температуры осуществляется за счет подвижек второй и четвертой линз. Для этой цели служит второй привод, связанный с четвертой линзой.

Разработанный телескоп имеет минимальное количество линз. Светопропускание телескопа в заданном диапазоне с учетом дифракционной эффективности киноформа составляет не менее 0,85.

Качество изображения оценивалось с помощью параметра q в соответствии с соотношением $MTF = (MTF_{dif})^q$. Здесь MTF и MTF_{dif} — модуляционная передаточная функция реальной системы и дифракционно ограниченной системы, соответственно.

В рассчитанном телескопе параметр q имеет следующие значения. В узком поле зрения для основной пространственной частоты $3,4 \text{ мрад}^{-1}$ в пространстве предметов $q = 1,1$ для точки на оси, $q = 1,15$ — для центральной части поля зрения (ограниченной половиной поля зрения по азимуту и по высоте) и $q = 1,4$ — на краю поля. В широком поле зрения для основной пространственной частоты $1,7 \text{ мрад}^{-1}$ $q = 1,4$ для точки на оси, $q = 1,6$ — для центральной части поля зрения и $q = 2,1$ — на краю поля.

Дисторсия на краю поля зрения не превышает 2 %. Эквивалентная разность температуры из-за эффекта "Нарцисса" — не более 0,4 К. Размеры телескопа $200 \times 140 \times 120 \text{ мм}$.

Л и т е р а т у р а

1. *Iain A. Neil*. Afocal dual magnification refractor telescopes: U. S. Patent No 4,469,396. 4 Sept., 1984.
2. *Roberts M.* Dual magnification infra-red telescope. Patent EP 0,278,777 A2. 12 Feb., 1988.

Infrared dual magnification telescope using diffractive optics

I. V. Kerget, V. L. Korneychik, A. A. Kudryashov
"PELENG" Joint Stock Company, Minsk, Republic of Belarus

The optical system consists of five germanium lenses. Three lenses have aspherical surfaces. The diffraction pattern is formed on the second surface of the front lens. The switching of magnifications implements by moving of the second lens along an optical axis with using of the drive, consisting of the motor, screw gear and guideway. The focussing on a distance implements an adjustment of the fourth lens with the help of the second drive.