

# РАСЧЕТ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПРОИЗВОДСТВО ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

УДК 681.7.015.2; 681.7.067.252.2; 681.7.012

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНТРОЛЬ ШИРОКОУГОЛЬНЫХ ИК ОБЪЕКТИВОВ

© 2013 г. О. А. Лебедев; В. С. Нужин, канд. техн. наук; С. В. Солк, канд. техн. наук

НИИ оптико-электронного приборостроения, г. Сосновый Бор, Ленинградская обл.

E-mail: solk@sbor.net

Рассмотрены вопросы проектирования и контроля ИК широкоугольных объективов для работы в областях спектра 3–5 мкм и 8–12 мкм, предназначенных для обзорно-панорамных систем. Описана методика измерения дисторсии с использованием матричного фотоприемника.

*Ключевые слова:* широкоугольный ИК объектив, измерение дисторсии.

Коды OCIS: 110.0110, 220.0220.

*Поступила в редакцию 09.07.2012.*

При проектировании оптических систем, предназначенных для обзора пространства в пределах, близких к полусфере, используются три основных подхода. Это использование систем с механическим сканированием, систем с составным полем и систем с использованием панорамной оптики. Принципы построения, достоинства и недостатки таких систем рассмотрены в работе [1].

Широкоугольные объективы видимого диапазона спектра характеризуются полем зрения от 50° до 100°. Относительное отверстие находится в пределах 1:2,8–1:8. Оптическая схема широкоугольных объективов состоит из трех частей [2]. Первая (головная) часть состоит из одного или нескольких отрицательных менисков и предназначена для увеличения поля зрения.

Апертурная диафрагма, располагается внутри объектива перед второй частью или внутри нее. Вторая часть представляет собой положительный компонент, состоящий из нескольких линз различной оптической силы. Эта часть работает с небольшими угловыми полями, и ее назначение состоит в увеличении относительного отверстия объектива и коррекции аберраций объектива широких наклонных пучков по всему полю. Чем больше относительное отверстие объектива, тем сложнее вторая часть.

Третья часть состоит из нескольких отрицательных менисков для коррекции дистор-

сии. Отсутствие требования коррекции дисторсии позволяет не использовать третью часть и вследствие этого значительно повысить относительное отверстие объектива.

В работе [3] рассмотрены разработанные схемы широкоугольных объективов с полями зрения 45°, 60° и 90° для приемников без охлаждаемых диафрагм.

В данной работе рассмотрены вопросы проектирования и контроля широкоугольных объективов, работающих в ИК среднем (3–5 мкм) и дальнем (8–12 мкм) спектральных диапазонах. Объективы работают с охлаждаемыми матричными фотоприемниками излучения (МФПУ), в состав которых входят “холодные” диафрагмы и предназначены для систем с составным полем зрения.

При проектировании широкоугольных объективов систем кругового обзора необходимо обеспечить перекрытие полей зрения отдельными объективами и учитывать линейные размеры фоточувствительного слоя матричного фотоприемника (рис. 1). По сравнению с объективами видимого диапазона ИК объективы должны иметь относительные отверстия 1:1,5–1:3, определяемые конструкцией приемника. Если в видимом диапазоне спектра есть большой выбор материалов с требуемыми оптическими свойствами, то в ИК диапазоне круг применяемых материалов ограничен. В среднем ИК диапазоне это, как правило, Ge,

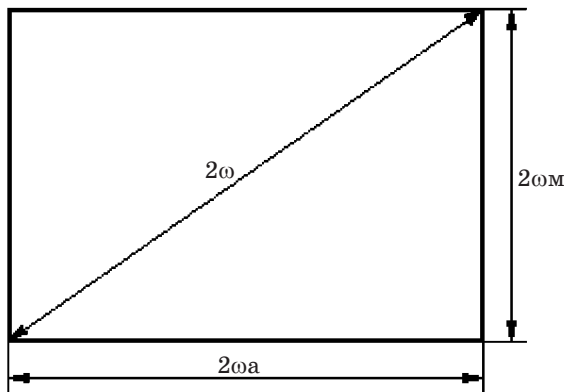


Рис. 1. Фоточувствительная зона МФПУ.  $2\omega$  – полное угловое поле зрения объектива,  $2\omega a$  – поле зрения объектива по азимуту,  $2\omega m$  – поле зрения объектива по углу места.

Si и ZnSe, в дальнем Ge и ZnSe. Следует отметить, что Ge и Si, Ge и ZnSe образуют “хроматические” пары материалов и используются для коррекции хроматических aberrаций в среднем и дальнем ИК диапазонах соответственно. Указанные материалы обладают большим показателем преломления по сравнению с материалами, применяемыми в видимой области спектра. Это позволяет создавать широкоугольные ИК объективы с более высоким относительным отверстием при меньшем количестве линз.

Тепловое излучение линз и механических элементов ИК объектива вызывает “паразитную” фоновую засветку чувствительных элементов МФПУ. Для ее устранения или снижения необходимо совместить выходной зрачок ИК объектива с “холодной диафрагмой” МФПУ.

На наш взгляд, широкоугольные ИК объективы необходимо проектировать состоящими из двух частей. Это позволяет сократить количество линз, что повышает коэффициент пропускания объектива. Исключение третьей части позволяет так же увеличить задний фокальный отрезок. Его увеличение необходимо для размещения МФПУ. Вместо третьей части, состоящей из нескольких отрицательных менисков, для коррекции дисторсии возможно введение асферических поверхностей в первую (головную) часть объектива. Так же возможно тщательное измерение дисторсии для последующего ее устранения программно-аппаратными методами.

При таком подходе – первая часть ИК объектива состоит из одной и более линз с отри-

цательной оптической силой, собирающей наклонные пучки относительно оси объектива и направляющей их во вторую функциональную часть. Вторая часть имеет общую положительную оптическую силу и состоит из четырех и более оптических элементов с различной оптической силой. Оптические элементы второй части преобразуют расходящийся после первой части осевой поток излучения в сходящийся с одновременной коррекцией aberrаций осевых и широких наклонных пучков излучения. Такое построение широкоугольных ИК объективов позволяет их относить к реверсивным (обратным) телеобъективам, которые характеризуются коротким фокусным расстоянием с увеличенным задним фокальным отрезком [4]. Задний фокальный отрезок превышает фокусное расстояние в 8–12 и иногда более раз. Это позволяет использовать довольно габаритные охлаждаемые МФПУ с “холодной” диафрагмой.

В качестве примера на рис. 2 приведен инфракрасный линзовый объектив с фокусом  $F' = 8,5$  мм, относительным отверстием 1:1,5 и полным полем зрения  $2\omega = 79^\circ$  [5]. МФПУ имеет матрицу с соотношением сторон  $9,216 \times 6,912$  мм что обеспечивает поле зрения по азимуту  $63^\circ$  и по углу места  $45^\circ$ . Шесть таких объективов обеспечат полный круговой обзор при угле перекрытия  $1,5^\circ$ . Рабочий спектральный диапазон 3–5 мкм. При концентрации энергии 80% кружок рассеяния энергии составляет 15 мкм и 77 мкм в центре и на краю поля соответственно. Дисторсия на краю поля изображения не превышает 18%. Объектив состоит из двух частей. Первая часть – мениск с отрицательной оптической силой. Вторая часть имеет общую положительную оптическую силу и состоит из четырех линз. Объектив имеет большую длину – 88,1 мм (10,4 фокуса), что в данном случае обусловлено жесткими требованиями технического задания к диаметру объектива и отсутствием требований к его длине. Большая длина позволила обеспечить лучшую коррекцию aberrаций по полю и обеспечить требуемый задний фокальный отрезок.

С целью отработки методики нами были проведены измерения дисторсии ИК объектива, работающего в спектральном диапазоне 3–5 мкм и имеющего фокусное расстояние 300 мм, относительное отверстие 1:2, полное поле зрения  $2,3^\circ$ . Измерения проводили на коллиматорном стенде, описанном в работе [6], со штатным охлаждаемым МФПУ, размер

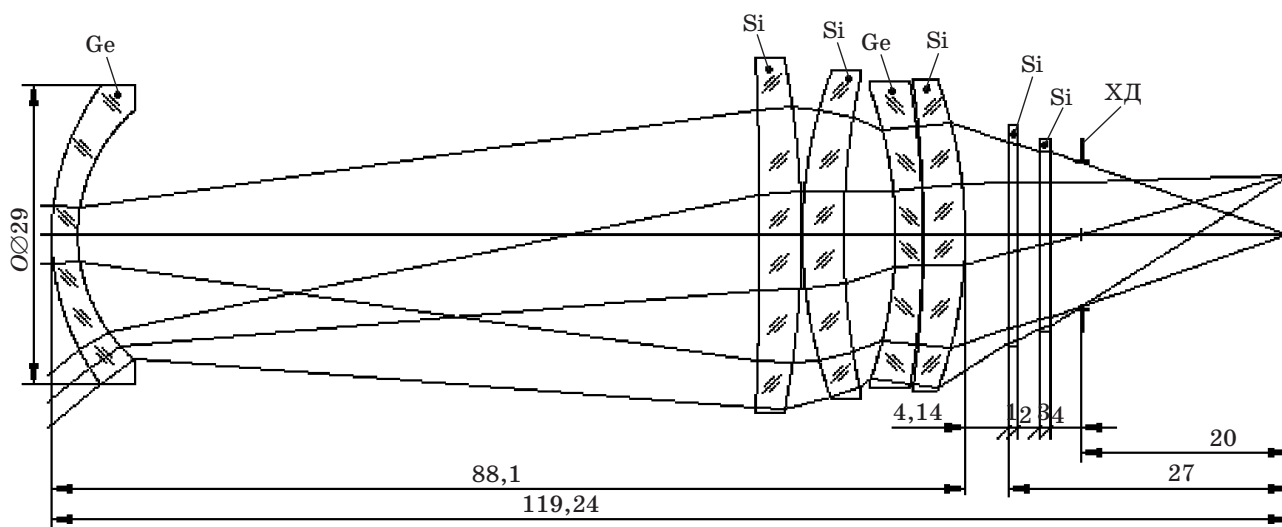


Рис. 2. Широкоугольный ИК объектив. 1 и 2 – защитные пластины, входящие в состав МФПУ, ХД – “холодная” диафрагма.

пикселя которого составлял 15 мкм. В качестве тест-объектов использовали щелевую и точечная диафрагмы. Их размеры выбирались исходя из фокусных расстояний объектива и коллиматора таким образом, чтобы размеры изображения тест-объектов составляли 15–20 пикселей. Разворот объектива на углы в пределах поля зрения осуществлялся при помощи поворотного рычага коллиматорного стенда. Отсчет угла поворота с повышенной точностью выполнялся на дополнительном зеркальном устройстве по автоколлимационной схеме с помощью плоского зеркала, укрепленного на поворотном рычаге, и автоколлимационного теодолита 2Т2А. Затем определяли геометрический центр изображения тест-объекта и его координаты на МФПУ. Полученные результаты показали, что при использовании обоих тест-объектов погрешность

измерений не превышает размеров одного пикселя. Следует учитывать, что у исследуемого объектива исправлена кома. При ее наличии погрешность может увеличиться и, возможно, придется наводить не на геометрический, а на энергетический центр изображения тест-объекта. Кроме того, для повышения точности может быть использован ИК проекционный объектив.

В заключение отметим, что предложенные технические решения пригодны лишь для объективов, работающих в ИК диапазоне. Оптические элементы ИК объективов, в отличие от оптических элементов объективов видимого и ближнего ИК диапазонов, изготавливают, как правило, из материалов с высокими показателями преломления. Это позволяет осуществить необходимую коррекцию aberrаций широких наклонных пучков по полю изображения.

\* \* \* \* \*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Елизаров А.В., Куртов А.В., Соломатин В.А., Якушенков Ю.Г. Обзорно-панорамные оптико-электронные системы // Изв. вузов. Приборостроение. 2002. Т. 45. № 2. С. 37–45.
2. Тарабукин В.В. О расчете особоширокоугольных фотографических систем // ОМП. 1971. № 11. С. 20–23.
3. Потапова Н.И., Цветков А.Д. Малогабаритные светосильные объективы для инфракрасной области // Оптический журнал. 2009. Т. 76. № 9. С. 45–48.
4. Заказнов Н.П., Кирюшин С.И., Кузичев В.Н. Теория оптических систем. М.: Машиностроение, 1992. 448 с.
5. Лебедев О.А., Сабинин В.Е., Солк С.В. Светосильный широкоугольный линзовый объектив для ИК области спектра // Патент России № 2434256. 2011.
6. Васильева Л.В., Лебедев О.А., Нужин В.С., Солк С.В. Проектирование и изготовление линзовых объективов для работы в инфракрасной области спектра // Оптический журнал. 2003. Т. 70. № 4. С. 72–75.