

ОПТИЧЕСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ

УДК 681.7.06; 681.7.03; 681.7.015.2

ИНФРАКРАСНЫЙ ТЕРМОНЕРАССТРАИВАЕМЫЙ ОБЪЕКТИВ

© 2012 г. С. В. Солк, канд. техн. наук; О. А. Лебедев

НИИ комплексных испытаний оптико-электронных приборов и систем, г. Сосновый Бор, Ленинградская обл.

E-mail: solk@sbor.net

Рассмотрены пути повышения таких качественных показателей инфракрасных оптических систем, как термонерасстраиваемость и коэффициент пропускания. Предложена конструкция, позволяющая осуществлять оперативный контроль за состоянием покрытий рабочих поверхностей оптических элементов внутри оптической системы.

Ключевые слова: термонерасстраиваемый ИК объектив, стойкость к внешним воздействиям.

Коды OCIS: 120.0120, 310.1620.

Поступила в редакцию: 07.10.2011.

Инфракрасные (ИК) оптические системы (ОС), как правило, работают в сложных климатических условиях. Это большой рабочий температурный диапазон, повышенная влажность, виброударные нагрузки. Поэтому перед проектировщиками таких систем ставятся задачи не просто обеспечить такие качественные показатели ОС, как высокий коэффициент пропускания, качество изображения и др., но и обеспечить их сохраняемость как во время работы прибора, так и в течение всего рабочего цикла изделия. В данной работе рассмотрен ряд подходов, позволяющих повысить уровень качества ИК ОС.

При изменении температуры изменяются показатели преломления линз и пластин, радиусы кривизны, толщины оптических элементов и расстояния между ними, что приводит к расфокусировке объектива. Особенно это заметно в ИК линзовых объективах, имеющих высокие (до 1:0,7) относительные отверстия и изготовленные из материалов с большими показателями преломления.

Для сохранения качества изображения при проектировании необходимо предусмотреть термокомпенсацию путем перемещения одной или нескольких линз или всего объектива

в целом. Обычно для перемещения выбирают оптические элементы (ОЭ), с помощью которых будет осуществляться перефокусировка объектива из положения бесконечность на конечные расстояния. Следует отметить, что наличие движущихся компонентов понижает устойчивость объектива к виброударным нагрузкам и усложняет выполнение требований к пылевлагозащищенности или герметичности ОС.

В ряде случаев проблема решается подбором материалов оптических элементов и механических деталей. Большой опыт накоплен проектировщиками ОС видимого диапазона. К сожалению, в ИК диапазоне этот опыт не может быть использован из-за ограниченного выбора прозрачных в ИК диапазоне материалов и отсутствия среди них атермальных [1] материалов.

Термокомпенсация перемещением ОЭ эффективна для устранения расфокусировки, вызванной однородным распределением температуры в ОС. Ряд специалистов считает более важным для практических целей рассмотрение влияния радиальных температурных градиентов. В работе [2] показано, что при работе ИК объектива в полевых условиях имеют место не

радиальные, а более сложные градиенты температур, различные для различных ОЭ.

На наш взгляд, проектирование термонерастраиваемых ИК ОС должно вестись по двум направлениям. Первое – подбор материалов ОЭ и корпусных деталей с определенными коэффициентами линейного расширения ($\alpha_{ЛР}$). Второе – разработка конструкций, позволяющих избежать температурных градиентов.

На рисунке показан объектив, предназначенный для наблюдения удаленных “точечных” объектов в спектральном диапазоне 3–5 мкм, спроектированный по схеме Максутова. Мениск 1 и зеркало 2 изготовлены из кремния, корпус объектива 3 – из инвара. Трехлинзовый (Si-Ge-Si) блок переноса изображения 4 служит для уменьшения фоновых засветок. Объектив предназначен для работы с охлаждаемым приемником излучения 5. Выходной зрачок объектива совпадает с холодной диафрагмой (ХД) приемника. Входной зрачок расположен на оправе мениска. Относительное отверстие объектива 1:6, фокусное расстояние 600 мм, коэффициент экранирования 0,26. Полное угловое поле зрения составляет $1,1^\circ$ и определяется размером диагонали фоточувствительного слоя приемника. Пятно рассеивания для 83,8% энергии составляет 95 мкм и 110 мкм для центра и края поля соответственно.

Для спроектированного объектива изменение положения плоскости наилучшей установки (ПНУ) в температурном диапазоне $\pm 40^\circ\text{C}$ составляет 0,002 мм. Незначительное изменение положения ПНУ не вызывает изменения качества изображения.

Недостатком такой системы является малое относительное отверстие. Однако в работе [3] показано, что локальный световой поток от бесконечно удаленного предмета пропорционален площади входного зрачка и не зависит от фокусного расстояния ОС. Таким образом, уменьшение относительного отверстия приводит только к увеличению дифракционного пятна, что в ряде случаев является допустимым.

Для защиты от нагревания объектива солнечным излучением служит дополнительный экран 6, окрашенный краской с низкой (в спектральной области излучения Солнца) поглощательной способностью. Наибольший эффект возникает в случае применения стального листа с полированной поверхностью. Между экраном и корпусом объектива размещаются шарики 7 из материала с низкой те-

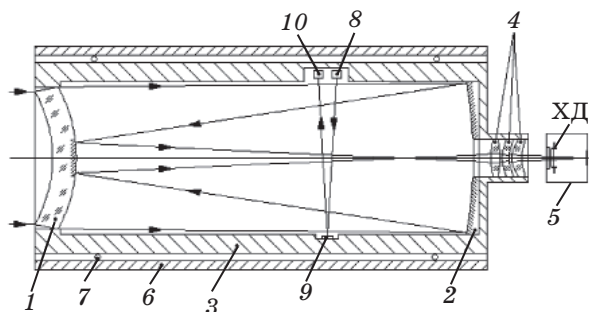


Схема ИК объектива. Пояснения в тексте.

плопроводностью, например из ситалла. Такие конструктивные решения, а также то, что ОЭ объектива изготовлены из материала с высокой теплопроводностью (Si), позволили уменьшить температурные градиенты ОЭ в несколько раз.

Другой проблемой, существенно влияющей на качественные показатели ИК ОС при ее эксплуатации, является разрушение (деградация) просветляющих, отражающих, спектроразделительных и других покрытий ОЭ, приводящее к ухудшению пропускания. С целью повышения работоспособности на первую и последнюю поверхности ОЭ ОС наносят покрытия с худшими оптическими характеристиками, но наиболее стойкие к внешним воздействиям. Корпус оптической системы герметизируют, заполняют специальным газом или создают вакуум. Однако в процессе работы герметичность может нарушиться, внутрь системы попадет наружный воздух и начнется разрушение оптических покрытий. Важной задачей является оперативный контроль состояния как газовой среды внутри ОС, так и состояния покрытий. В первую очередь это важно для ИК оптических систем, оптические элементы которых изготавливаются из материалов с высокими показателями преломления, для которых разрушение просветляющих покрытий приводит к резкому падению пропускания системы.

На практике часто используется контейнер с силикагелем (адсорбентом, меняющим окраску при поглощении влаги), размещаемый внутри корпуса ОС. Контейнер имеет прозрачное окно для наблюдения. Недостатки устройства – невозможность автоматизации контроля и его необъективность, так как изменение цвета определяется “на глаз”. Кроме того, изменение цвета не отвечает на вопрос, произошло ли разрушение покрытий ОЭ, а провести измерение пропускания не всегда возможно, особенно

в случае крупногабаритных ОС и систем, находящихся на удаленных полигонах.

В работе [2] описано устройство, состоящее из светодиода и фотоприемника. Фотоприемник регистрирует поток излучения, отраженный от рабочей поверхности ОЭ. Разрушение покрытия приводит к изменению сигнала, снимаемого с фотоприемника. Недостатками такого устройства является то, что его не всегда возможно разместить таким образом, чтобы излучение отражалось от наименее стойкого покрытия, и то, что устройство срабатывает, когда деградация покрытий ОЭ уже началась и необходима переполировка ОЭ и повторное нанесение покрытий.

Нами разработано и испытано устройство, свободное от указанных недостатков. излу-

чение от оптического излучателя 8 видимого диапазона отражается от контрольного ОЭ 9, на рабочую поверхность которого нанесено покрытие (его стойкость ниже стойкости остальных покрытий ОЭ), и попадает на приемник излучения 10. Излучатель видимого диапазона прост в юстировке и не создает дополнительных помех. Также возможно устройство, работающее с пропускающими излучение ОЭ.

Использование нескольких таких устройств, контрольные элементы которых имеют покрытия с различной степенью стойкости, совместно с устройствами, предложенными в [2], позволяет получать максимум информации о состоянии ОЭ и принимать решения о возможности работы прибора или необходимости его восстановления.

* * * * *

ЛИТЕРАТУРА

1. *Щавелев О.С., Архипова Л.Н.* Атермальные оптические стекла и термостабильные космические апохроматы // Оптический журнал. 2003. Т. 70. № 8. С. 58–69.
2. *Солк С.В., Лебедев О.А.* Проектирование термически стабильных ИК объективов // Тез. докл. XXI Международной научно-технической конференции по фотоэлектронике и приборам ночного видения. М., 2010. С. 186–187.
3. *Сакин И.Л.* Инженерная оптика. Л.: Машиностроение, 1976. 288 с.