

УДК 681

## Методы атермализации оптических систем тепловизионных приборов

© 2017 г. **А. Р. НАСЫРОВ, КАНД. ФИЗ.-МАТ. НАУК**

Научно-производственное объединение "Государственный институт прикладной оптики", Казань

E-mail: [arnasyrov@mail.ru](mailto:arnasyrov@mail.ru)

Поступила в редакцию 17.10.2016

---

Выполнен анализ методов атермализации, используемых в оптических системах тепловизионных приборов. Рассмотрены различные способы пассивной атермализации за счет применения конструктивных элементов с различными температурными коэффициентами линейного расширения, а также способы активной атермализации за счет управляемого осевого перемещения одного из оптических элементов.

**Ключевые слова:** атермализация, инфракрасные оптические системы, тепловизионные приборы.

**Коды OCIS:** 220.0220

---

Как известно, при изменении температуры меняются показатели преломления оптических сред, происходят изменения линейных размеров оптических и механических деталей, вследствие чего изменяется качество фокусировки оптических систем (ОС).

Одним из известных методов компенсации (атермализации) изменения линейных размеров в зависимости от температуры является подбор на стадии расчета оптической схемы оптимальной комбинации оптических элементов (ОЭ), их материалов, обеспечивающих постоянство плоскости наилучшего изображения при изменении температуры [1–3]. Применение этого метода, хорошо зарекомендовавшего себя при проектировании ОС видимого и ближнего инфракрасного (ИК) диапазонов, не всегда возможно при разработке тепловизионных приборов (ТП) [3, 4], в первую очередь, из-за ограниченного выбора оптических материалов, пригодных в спектральных диапазонах 3–5 и 8–12 мкм.

По этой причине для атермализации ОС ТП, как правило, используют осевое перемещение одного из ОЭ (в большинстве случаев, это последний элемент), обеспечивающее сохранение качества изображения при изменении температуры окружающей среды [5].

Один из таких методов атермализации обеспечивается применением компенсационного элемента, соединяющего оправу подвижного элемента с корпусом ОС ТП. При этом температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) материала, из которого изготовлен компенсационный элемент, существенно отличен от ТКЛР материала корпуса ОС. За счет подбора длины и материала компенсационного элемента стараются

обеспечить температурную зависимость осевого перемещения ОЭ, совпадающую с расчетной.

Атермализация этим методом проще реализуется при изготовлении компенсационного элемента из сложных пластмасс, имеющих высокие значения ТКЛР. В работе [4], например, предложено использовать фторопласт Ф-4.

Однако этот материал имеет сложную зависимость ТКЛР от температуры, а также локальный экстремум в области 20 °С со значениями, превышающими в 4 раза значения при –20 °С и в 2,5 раза превышающими значения при 50 °С [6]. В связи с этим расхождение между значениями реализуемой и требуемой подвижек ОЭ в определенных интервалах температур может оказаться неприемлемым. Более-менее пригодным для этой цели является полиамид (капролон), ТКЛР которого монотонно изменяется в диапазоне температур от –50 до 50 °С в пределах  $(68–85) \times 10^{-6}$  град<sup>-1</sup>. Представляет интерес применение нового материала Арфлон AP200 с наиболее оптимальными для атермализации характеристиками [7].

При выборе пластмасс также необходимо учитывать возможный «гистерезис» температурной зависимости линейных размеров, а также неизбежную пластическую деформацию компенсационного элемента при длительных знакопеременных нагрузках.

По перечисленным выше причинам применение пластмасс для атермализации ОС при всей привлекательности из-за простоты и дешевизны реализации возможно только в таких ТП, к которым не предъявляются высокие требования по качеству получаемого изображения.

Приведенные выше недостатки пластмасс отсутствуют у металлов. Однако в силу относительно небольших (по сравнению с пластмассами) значений ТКЛР использование их для атермализации ОС также имеет свои ограничения. Действительно, если корпус ТП изготовлен из алюминиевого сплава, а компенсационный элемент из сплава типа 32НКД с ТКЛР  $\approx 0,6 \times 10^{-6}$  град $^{-1}$ , разность относительного удлинения (укорочения) такой пары при изменении температуры на  $\pm 50$  °С составляет  $\pm 10^{-3}$ , а для обеспечения осевого перемещения ОЭ, например на 1 мм, требуется обеспечить длину этой пары в 1 м, что, безусловно, в абсолютном большинстве случаев нереализуемо.

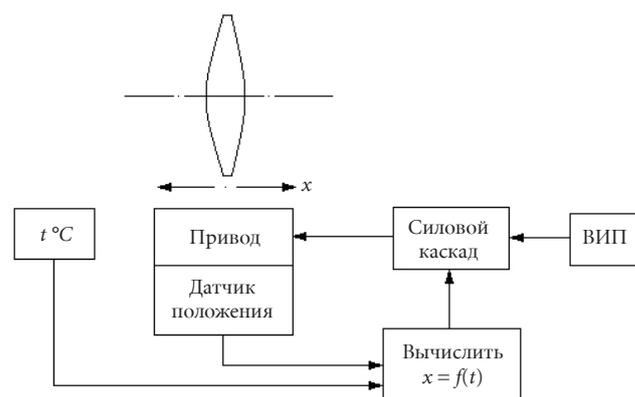
В патенте [8] была предложена конструкция, в которой компенсационный элемент является элементом шарнирного механизма, обеспечивающего осевое перемещение ОЭ в 6–8 раз большее, чем при жестком креплении компенсационного элемента. При этом в диапазоне температур от  $-50$  до  $50$  °С обеспечивается осевое перемещение подвижного элемента ОС в пределах от  $-1$  до  $1$  мм в компактных габаритах ТП: длина компенсационного элемента не превышает 120 мм.

Метод особенно эффективен для устройств длительного автономного функционирования, он использован в конструкциях нескольких типов оптико-электронных систем, работающих в ИК диапазоне спектра, разработанных и изготовленных в АО “НПО ГИПО”.

Однако методу присущ тот же недостаток, что и любым другим пассивным методам атермализации: соответствие реализуемого температурного хода осевого положения подвижного ОЭ расчетному всегда является приблизительным и долго оптимизируется при настройке и испытаниях. Поэтому в ОС, к которым предъявляются повышенные требования по качеству изображения в широком диапазоне изменения температур, обеспечивать атермализацию целесообразно активным методом, т.е. непосредственным управлением перемещения подвижного элемента.

Простейшим активным методом атермализации ОС ТП является ручная подвижка ОЭ при визуальном контроле качества изображения. Естественно, этот метод может быть применен только в приборах носимого класса или в стационарных приборах с постоянным обслуживанием.

Наиболее универсальным является метод активной атермализации с помощью управляемого привода, широко применяемый при разработке и из-



Функциональная схема управления приводом.

готовлении изделий для ИК диапазона в АО “НПО ГИПО”. Функциональная схема управления приводом представлена на рисунке. В вычислительное устройство одновременно поступает информация о текущих значениях температуры  $t$  °С из нескольких датчиков, расположенных внутри ТП, и координаты  $x$  подвижного элемента вдоль оптической оси. Выполняется сравнение координаты текущего положения с расчетным значением  $x_{\text{cal}} = f(t)$ , хранящимся в памяти вычислителя и соответствующим текущему значению температуры, получаемому усреднением измеренных значений. По результатам сравнения выдается команда в силовой каскад, в котором формируется электрический сигнал управления приводом для перемещения подвижного ОЭ в положение  $x \rightarrow x_{\text{cal}} = f(t)$ .

Конечно, этот метод атермализации является наиболее сложным в исполнении, но в нем точность позиционирования зависит только от конструктивного исполнения привода и, как правило, с гарантией удовлетворяет требования оптической схемы.

Логическим продолжением этого метода является обеспечение атермализации за счет управления приводом непосредственно с анализатора тепловизионного изображения. Однако в силу сложности технического исполнения этот метод не нашел широкого применения.

В заключение еще раз подчеркнем, что представленный анализ возможных вариантов атермализации ОС не претендует на полноту, и выводы по ним сделаны исключительно с позиции применимости в конструкциях современных ТП.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Слюсарев Г.Г.* Методы расчета оптических систем. Л.: Машиностроение, 1969. 672 с.
2. *Тягур В.М., Кучеренко О.К., Муравьев А.В.* Пассивная оптическая атермализация инфракрасного трехлинзового ахромата // Оптический журнал. 2014. Т. 81. № 4. С. 42–47.
3. *Погорельский С.Л., Шилин А.А.* Пассивная атермализация малогабаритных оптических систем в дальнем ИК диапазоне // Известия Тул. ГУ. Технические науки. 2014. № 7. С. 202–209.
4. *Медведев А.В., Гринкевич А.В., Князева С.Н.* Атермализация объективов прицельно-наблюдательных комплексов как средство обеспечения жизнедеятельности объектов БТВТ // Фотоника. 2016. Т. 56. № 2. С. 94–108.
5. *Латыев С.М.* Компенсация погрешностей в оптических приборах. Л.: Машиностроение, 1985. 248 с.
6. *Голубева А.И., Кондакова Л.А.* Уплотнения и уплотнительная техника. М.: Машиностроение, 1986. 464 с.
7. ТУ 2291-003-14502248-2016. Заготовки из структурно-модифицированного политетрафторэтилена. ООО “АР-ПРО”, 2016. 16 с.
8. *Иванов В.П., Насыров А.Р., Ремизов Б.И., Хисамов Р.Ш.* Оптическая система с температурной компенсацией фокусировки // Патент РФ № 343511. 2007.