

УДК 535.21

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ТЕРМОРАСФОКУСИРОВКУ ФОКУСИРУЮЩЕГО УЗЛА В ИНФРАКРАСНЫХ СИСТЕМАХ

Кучеренко О.К., Муравьев А.В., Куцурук В.Н., Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина

Представлены основные характеристики оптических и механических материалов, наиболее часто применяемых при конструировании инфракрасных систем. Приведены основные соотношения для использования этих данных при расчете терморасфокусировки в фокусирующих узлах инфракрасных систем. Рассмотрен пример данного расчета. В статье приведены рекомендации выбора оптического и механического материалов конструкции для взаимной компенсации погрешностей изменения температуры. Эти данные могут быть использованы в исследованиях по влиянию температуры на сложные конструктивные узлы с целью разработки автоматических термокомпенсаторов различных типов.

Ключевые слова: инфракрасные системы, фокусирующие узлы, терморасфокусировка.

Вступление

Одной из важных задач при проектировании оптико-электронных приборов (ОЭП), работающих в инфракрасной (ИК) области спектра, является задача сохранения их основных характеристик при изменении температуры. [1]. Это изменение может быть вызвано изменением температуры окружающей среды, а также спецификой работы ОЭП. Например, обтекатель тепlopеленгатора, входящий в конструкцию ИК головок самонаведения ракет, скорость полета которых достигает пяти махов, нагревается вследствие трения с атмосферой до температуры близкой к 600°C. В тоже время при выходе на рабочий режим фотоприемная часть тепlopеленгатора охлаждается до криогенной температуры - 196°C подачей жидкого азота [2]. Ощутимому температурному влиянию подвергаются ИК приборы, применяемые в металлургической промышленности для контроля температуры, а так же геометрических параметров выпускаемого проката. Такой градиент температур меняет конструктивные параметры фокусирующего узла, что неизбежно приводит к терморасфокусировке. Механические несущие детали под действием температуры вносят не менее весомый вклад в ухудшение качества изображения, чем оптика. Это проявляется в изменении линейных размеров, плотности, вязкости материала, что приводит к пережатиям линз в оправках и другим негативным явлениям. Компенсация этих явлений является важной задачей при проектировании фокусирующих узлов ИК систем.

Постановка задачи

Номенклатура материалов применяемых при проектировании фокусирующих узлов ИК систем ограничена. Это обусловлено спецификой спектрального диапазона. Основные термофизические характеристики наиболее часто применяемых в ИК системах оптических материалов приведены в табл. 1. Достоинства рассмотренных материалов заключаются в их выгодных механических и оптических свойствах, таких как: малая температурная зависимость приращения

показателя преломления в зависимости от длины волны λ , малые тепловое расширение и теплопроводность, хорошая обрабатываемость, отсутствие токсичных и вредных для здоровья человека примесей и т.п.

Таблица 1. Термофизические характеристики оптических материалов

Материал	Диапазон работы, λ , мкм	Диапазон изменения показателя преломления, $n(\lambda)$	Тепловое расширение, ТКЛР, град ⁻¹ × 10 ⁻⁶ (20°C-60°C)	Коеф. температурного приращения показателя преломления, $\beta_\lambda \times 10^{-4}$
KO12	0,6-7,0	1,3778-1,2924	11,3	1,28-1,13
Al₂O₃	0,555-5,577	1,7688-1,5863	6,66	1,41-1,0
Si	1,05-11,00	3,565-3,4176	2,33	2,2-1,05
ZnSe	0,6-21	2,446-2,318	7,1	3,2-1,3
ТБФ512	0,4047-3,6	2,0248-1,8646	8,4	1,5-1,0
SiO₂	0,50-3,50	1,4623-1,4060	0,5	0,95-1,48

Как следует из таблицы, для создания ИК систем в основном применяются: оптическое стекло (тяжелые флинты), оптическая керамика на основе ZnSe, MgF₂, оптические монокристаллы Si, SiO₂, Al₂O₃, ZnSe. Оптическая керамика чаще всего применяется для создания «входного колпака» ИК прибора, который обеспечивает хорошую защиту внутренних элементов прибора, выдерживает высокие температуры без кардинального изменения своих свойств, но при этом также обеспечивает прохождение потока излучения от источника внутрь ИК системы. Оптические кристаллы применяются для фокусировки излучения в системе на фотоприемник.

В работе поставлена задача анализа термооптических характеристик материалов, применяемых в отечественном производстве при проектировании фокусирующих узлов инфракрасных систем. На основании анализа этих характеристик с учетом температурных характеристик материалов корпусных деталей можно предложить методику предварительного инженерного расчета, позволяющего произвести рациональный выбор материалов для заданного спектрального диапазона и конструктивных параметров фокусирующих узлов.

Результаты исследования и их обсуждение

Температурное приращение показателя преломления для рассматриваемых материалов является нелинейной величиной. Проведенный анализ свойств рассмотренных оптических материалов показал, что на отдельных участках спектрального диапазона температурное приращение показателя преломления возрастает, а на других уменьшается, что вносит дополнительные трудности в

температурний расчет. Зависимость коэффициента температурного приращения показателя преломления β_λ от длины волны λ для этих материалов, приведена на рис. 1.

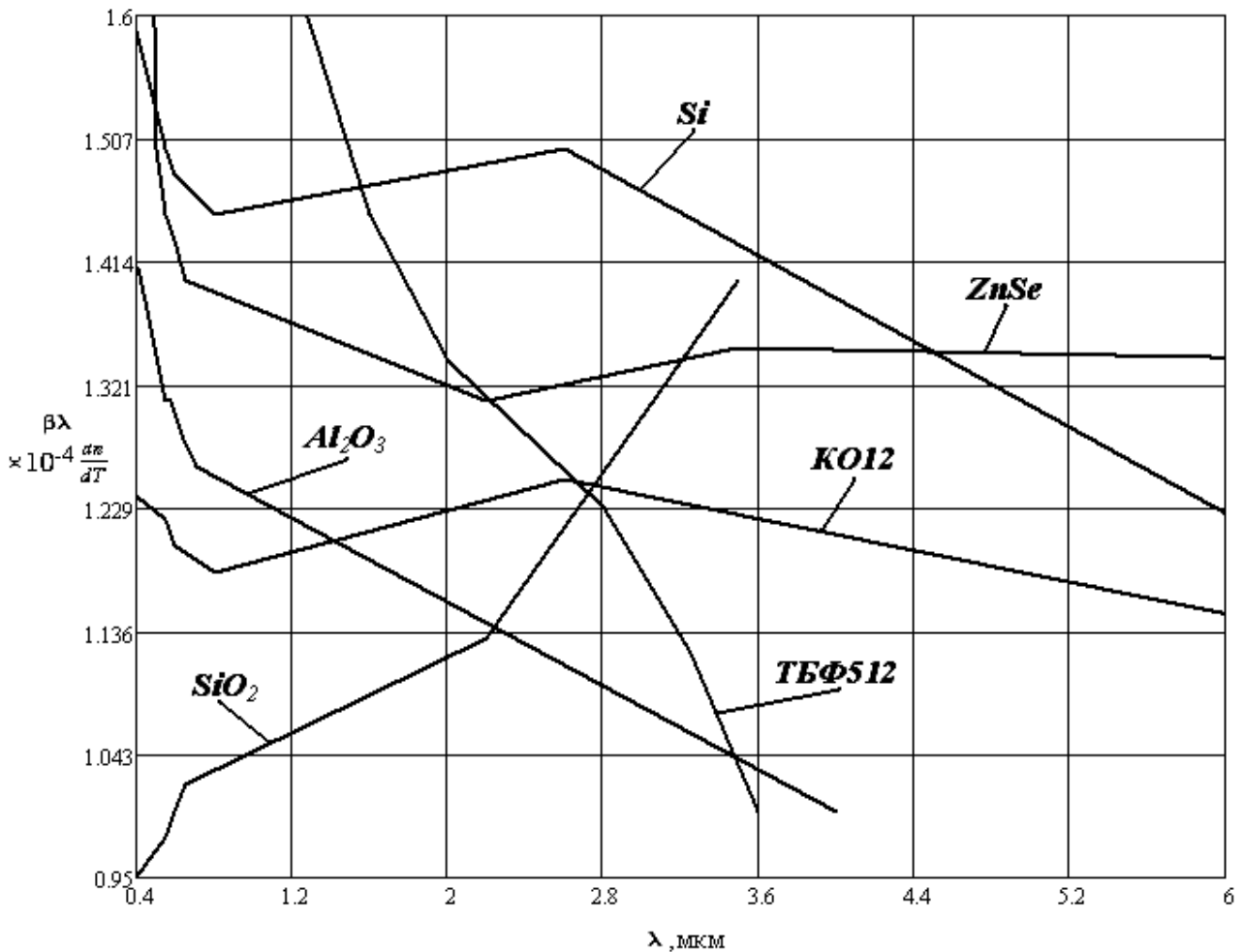


Рис. 1. Зависимость коэффициента температурного приращения показателя преломления β_λ от длины волны λ

Для крепления оптических деталей в конструкциях ИК приборов наиболее часто применяются механические материалы, характеристики которых приведены в табл. 2. При выборе механических материалов необходимо учитывать условия работы деталей и конструкций, характер нагрузок и напряжений, а также такие свойства материалов, как: обрабатываемость, прочность, упругость, вязкость, сопротивляемость изнашиванию, высокое отношение прочности к весу, высокую стойкостью к коррозии, теплопроводность и ряд других. По обобщенному показателю качества преимуществом обладает титан, который в настоящее время чаще всего применяется для изготовления несущих деталей в конструкциях. Из табл. 2 следует, что температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) механических материалов отличаются от ТКЛР оптических материалов. Для таких материалов, как сталь и титан, ТКЛР больше, чем для оптических материалов, а для инвара меньше.

Таблица 2. Характеристики механических материалов

Материал	ТКЛР, град ⁻¹ ×10 ⁻⁶	Модуль упругости, Н/мм ²	Тепло- проводность, Вт/м×град	Удельная теплоемкость, Дж/кг×град	Плотность материала, кг/м ³
<i>Титан BT-1</i>	8.2	112000	18.85	540	4505
<i>Титан BT-5</i>	8.3	105000	10.47	586	4400
<i>Сталь 95X18</i>	11.8	204000	24	483	7750
<i>Инвар</i>	1	120000	75	450	7100
<i>Сталь 12X18H12T</i>	16.6	205000	16.3	460	7900

Рассмотрим влияние температуры на терморасфокусировку фокусирующего узла типичной ИК системы, включающей объектив и фотоприемник, установленные в общем корпусе. Для оценочного расчета рассмотрим упрощенный вариант конструкции фокусирующего узла, представленный на рис. 2.

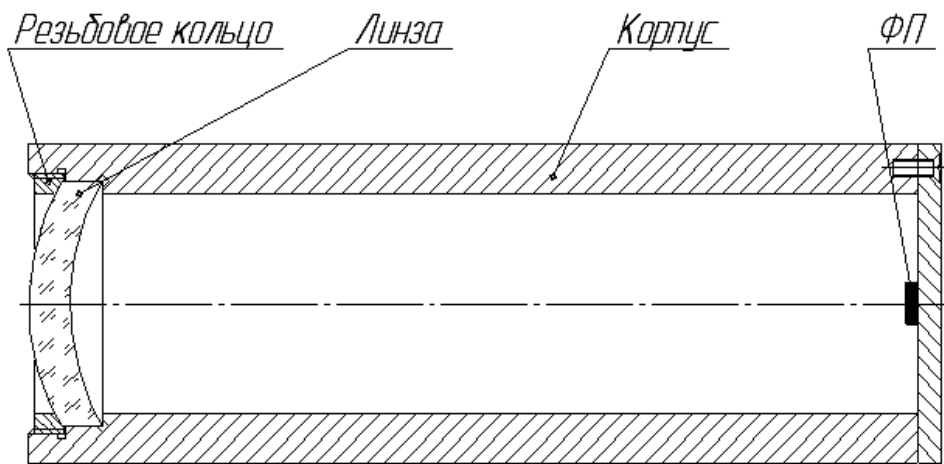


Рис.2. Фокусирующий узел

Отклонение фокусного расстояния однолинзового объектива при изменении температуры определяется соотношением [3]:

$$\Delta f'_{\Delta t} = -f' \cdot V_t \cdot \Delta t \quad (1)$$

где f' - фокусное расстояние объектива; $V_t = \beta_\lambda (n - 1)^{-1} - \alpha$ - термооптическая постоянная оптического материала; β_λ - коэффициент температурного приращения показателя преломления для длины волны света λ ; α - линейный температурный коэффициент расширения оптического материала; n - показатель преломления; Δt - диапазон колебания температур.

Механическая часть конструкции прибора также претерпевает изменения. Это проявляется в продольных и поперечных деформациях элементов конструкции. При поперечных деформациях имеют место сдвиги и пережатия в оправах линз, которые влияют на поперечную и угловую децентрировки. Продольные деформации приводят к расфокусировке прибора и, как следствие, ухудшению качества изображения. Изменение линейных размеров механических деталей при изменении температуры определяется соотношением [4]:

$$\Delta l_{\Delta t} = l \cdot \alpha_m \cdot \Delta t \quad (2)$$

где α_m - линейный температурный коэффициент расширения механического материала ; l - номинальный линейный размер детали.

Для рассмотренных в табл. 1 оптических материалов и представленного на рис. 2 фокусирующего узла произведем расчет влияния температуры на терморасфокусировку объектива при следующих исходных данных:

- фокусное расстояние объектива составляет $f = 200$ мм;
- диапазон изменения температуры от 0°C до $+60^\circ\text{C}$, т.е. $\Delta t = 60^\circ\text{C}$;
- длина волны излучения $\lambda = 3$ мкм.

Расчитанные с помощью формулы (1) значения терморасфокусировки приведены в табл. 3.

Таблица 3. Терморасфокусировка ИК фокусирующих узлов

Материал линзы	Терморасфокусировка, мм
KO12	4,2
Al₂O₃	1,9
Si	0,93
ZnSe	2,5
ТБФ512	1,36
SiO₂	4,0

С помощью соотношения (2) оценим также удлинение корпуса фокусирующего узла при изменении температуры в том же диапазоне. Результаты расчета для представленных в табл. 2 механических материалов при номинальной длине корпуса $l = 200$ мм приведены в табл. 4.

При принятых исходных данных проведенный оценочный расчет показал, что основной вклад в терморасфокусировку объектива вносит коэффициент температурного приращения показателя преломления β_λ . В том случае, когда по условиям работы прибора температура может меняться значительно, следует применять материалы с минимальным β_λ для заданной длины волны. Например, для рассматриваемого случая это **Si** или **ТБФ512**. Удлинение корпуса при колебании температуры при этом существенно меньше терморасфокусировки и в данном случае не может являться компенсирующим фактором. Наиболее рационально в рассматриваемом примере выбрать для корпуса фокусирующего узла сталь **12X18H12T**, так как это даст максимальную величину удлинения

корпуса при повышении температуры и тем самым позволит частично скомпенсировать терморасфокусировку.

Таблица 4. Удлинение корпуса фокусирующих узлов

Материал	Удлинение (мм)
<i>Титан BT-1</i>	0.098
<i>Титан BT-5</i>	0.1
<i>Сталь 95X18</i>	0.142
<i>Сталь 12X18H12T</i>	0.199
<i>Инвар</i>	0.012

Для принятия окончательного решения по выбору материалов в каждом конкретном случае необходимо проводить аналогичные расчеты. При этом возможна определенная комбинация материалов при изготовлении корпусной детали либо усложнение конструкции фокусирующего узла с применением промежуточных колец с целью принятия рационального решения

Выводы

Для оптических материалов основным фактором, влияющим на терморасфокусировку, является коэффициент температурного приращения показателя преломления β_λ . Предложена методика предварительной оценки величины терморасфокусировки для заданного спектрального диапазона и определенных конструктивных параметров фокусирующего узла. В дальнейшем планируется продолжить исследования по влиянию температуры на сложные конструктивные узлы с целью разработки автоматических конструктивных термкомпенсаторов различных типов. Будет исследована также особенность расчета терморасфокусировки в случае градиента температуры в конструкции фокусирующего узла.

Литература

1. Jamison T.H. Thermal effects in optical systems // Opt. Eng. - 1981. – Vol. 20. - P.156 - 160.
2. Кучеренко О.К. Анализ влияния температурных воздействий на оптические характеристики малогабаритных катадиоптрических оптических систем / О.К. Кучеренко, Д.Н. Лисица, А.В.Молодык и др.// Артиллерийское и стрелковое вооружение. - 2010. - № 1.- С.26 - 30.
3. Латыев С.М. Компенсация погрешностей в оптических приборах. - Л.: Машиностроение, 1985. - 256 с.
4. Бубис И.Я. СССР. Справочник технолога-оптика: [Справочник] / И.Я.Бубис , С.М. Кузнецов, М.А.Окатов. - Л.: Машиностроение, 1983. – 397 с.

О. К. Кучеренко, О. В. Муравйов, В. М. Куцурук

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ НА ТЕРМОРОЗФОКУСУВАННЯ ФОКУСУЮЧОГО ВУЗЛА В ІНФРАЧЕРВОНИХ СИСТЕМАХ.

Представлені основні характеристики оптичних і механічних матеріалів, найбільш часто застосовуваних при конструюванні інфрачервоних систем. Наведені основні співвідношення для використання цих даних при розрахунках терморозфокусування у фокусуєчючих вузлах інфрачервоних систем. Розглянуто приклад даного розрахунку. В статті наведені рекомендації вибору оптичного й механічного матеріалів конструкції для взаємної компенсації погрешностей зміни температури. Ці дані можуть бути використані в дослідженнях із впливу температури на складні конструктивні вузли з метою розробки автоматичних термокомпенсаторів різних типів.

Ключові слова: інфрачервоні системи, фокусуєчючі вузли, терморозфокусування.

O. K. Kucherenko, A. V. Muraviov, V. N. Kutsuruk

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

INFLUENCE OF TEMPERATURE ON THERMAL DEFOCUSING OF FOCUSING KNOT IN INFRA-RED SYSTEMS.

Basic descriptions of optical and mechanical materials are presented, which are most often used at constructing of the infra-red systems. There are basic correlations in this article for using of these data for the calculation of thermal defocusing in the focusing knots of the infra-red systems. The example of this calculation is considered. There are recommendations for choice of optical and mechanical materials of construction for mutual compensation of errors of temperature change in the article. These data can be used for researches of temperature influence on difficult structural knots with the purpose to develop different types of automatic temperature compensators.

Keywords: infra-red systems, focusing knots, thermal defocusing.

*Надійшла до редакції
31 серпня 2010 року*

УДК 621.384.3

ВПЛИВ РУХУ ОБ'ЄКТА НА МАКСИМАЛЬНУ ДАЛЬНІСТЬ ВИЯВЛЕННЯ ТЕПЛОВІЗІЙНОЇ СИСТЕМИ СПОСТЕРЕЖЕННЯ

*Колобродов В.Г., Наздровецький О.О., Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна*

Запропоновано метод розрахунку максимальної дальності виявлення оптико-електронної системи спостереження в разі присутності в полі зору точкового джерела, що довільно рухається.

Ключові слова: тепловізійна система, оптико-електронна система спостереження, матричний приймач випромінювання, рухомий об'єкт, максимальна дальність виявлення.

Вступ

Тепловізійні системи поширені, як оптико-електронні системи спостереження (ОЕСС), у військовій справі, космічних системах дистанційного зондування Землі, охоронних системах. Основною задачею таких систем є виявлення