

УДК 621.384.3

Расчет допусков на изготовление объектива малогабаритного тепловизора

С.В. Мишин

Студент, кафедра «Оптико-электронные приборы научных исследований»

МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия

Научный руководитель: Кулакова Н.Н., к.т.н., доцент кафедры «Оптико-электронные приборы научных исследований» МГТУ им. Н.Э. Баумана

МГТУ им. Н.Э. Баумана

rl-3@mx.bmstu.ru

SvyatoslawMishin@yandex.ru

Исследуемый объектив, оптическая схема которого представлена на рисунке 1, является основным узлом прибора «Малогабаритный тепловизор», предназначенного для преобразования теплового излучения спектрального диапазона $\lambda = 3 - 5$ мкм в видимое излучение. Основная задача данного объектива — формирование изображения объекта в инфракрасной области спектра. Конструктивно объектив состоит из 2 групп линз по две линзы в каждой, разделённых сканирующим зеркалом. Параллельный пучок инфракрасного излучения попадает в головную часть объектива, состоящую из линз поз.1 и 2. Между данными линзами также расположена апертурная диафрагма. Далее пучок лучей попадает на сканирующее зеркало. Это зеркало, исходя из конструктивных соображений, расположено таким образом, чтобы обеспечить минимальные габариты оптической системы прибора, а также чтобы обеспечить возможность построчного сканирования. После зеркала излучение, пройдя линзы поз.3 и 4 попадает на фотоприемное устройство (ФП). Оно представляет собой 64-элементную линейку чувствительных элементов и осуществляет электронное сканирование получаемого изображения по строке.

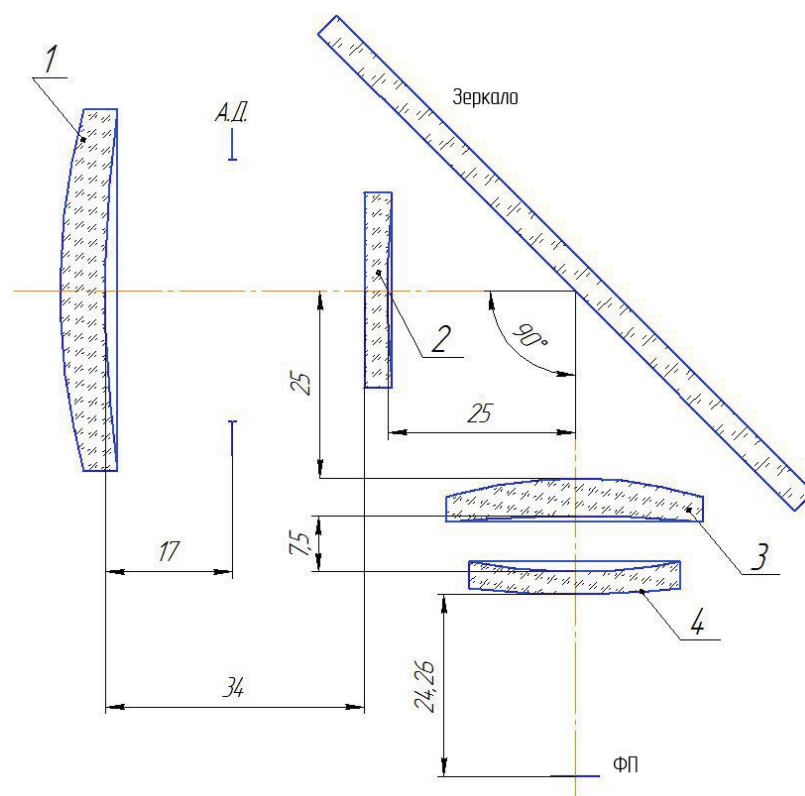


Рис. 1. Исследуемый объектив: значения размеров даны в миллиметрах

В целях соответствия техническим требованиям к прибору «Малогабаритный тепловизор», рассматриваемый объектив получил значения основных характеристик, приведенных в таблице 1:

Таблица 1

Основные характеристики объектива

Характеристика	Обозначение	Значение
Заднее фокусное расстояние	f'	74 мм
Угловое поле в пространстве предметов	2ω	5°
Относительное отверстие	$1:k$	1:1,7

Задача исследования заключалась в том, чтобы выбрать критерий качества и по его допустимому изменению определить допуски на изготовление объектива в целом. В качестве критерия был выбран среднеквадратический радиус кружка рассеяния. Это обусловлено тем, что для обнаружения объекта (но ещё не распознавания) с вероятностью не менее 50% объектив должен формировать кружок рассеяния, который будет охватывать не менее двух чувствительных элементов фотодиодной линейки. Т.к. размер

каждого чувствительного элемента приёмника был равен 0.1 мм, то кружок рассеяния должен иметь диаметр 0.2 мм.

Основным инструментом для проведения исследований была программа *Zemax*. Данная программа позволяет очень эффективно и быстро проводить расчет допусков и анализ чувствительности оптической системы к этим допускам. С ее помощью возможно проведение анализа как совокупного, так и индивидуального влияния конструктивных параметров оптической системы на её качество.

Как показала практика, методика расчета допусков по программе *Zemax* должна включать в себя следующие этапы:

1. Выбор контролируемого критерия качества в соответствии с техническими требованиями к объективу. Как уже было сказано, в качестве такого критерия был выбран среднеквадратический радиус кружка рассеяния.

2. Определение видов допусков. В соответствии с известными технологиями изготовления оптических деталей, сборки и юстировки объективов, для дальнейшего анализа были выбраны следующие виды допусков: допуски на радиусы кривизны поверхностей оптических деталей, допуски на толщины линз, допуски на величину воздушных промежутков между компонентами объектива, допуски на децентрировку поверхностей линз, допуски на децентрировку каждой из линз в целом, допуски на наклон каждой из линз. При задании данных допусков программа *Zemax* предлагает задать для них первоначальные значения в специальном окне *Default Tolerances*, общий вид которого можно увидеть на рисунке 2.

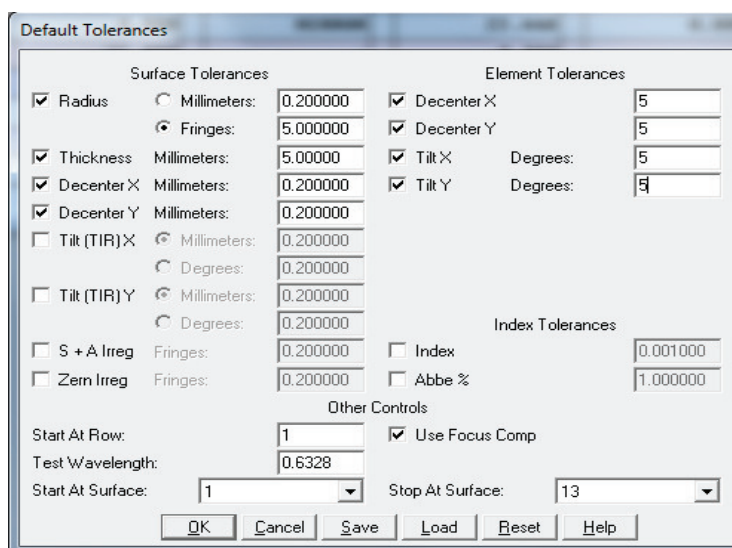


Рис.2. Общий вид окна *Default Tolerances*

В дальнейшем, при выполнении анализа степени влияния программа автоматически ужесточит их для обеспечения заданной величины выбранного критерия качества оптической системы.

3. Анализ степени влияния параметров оптической системы. На данном этапе было установлено, изменения каких из конструктивных параметров сильнее всего влияют на качество всего объектива. Выяснено, что децентрировка поверхностей в линзах, а также децентрировки и наклоны самих линз оказывают наибольшее влияние на качество объектива. Вместе с тем, погрешности радиусов кривизны поверхностей линз, а также погрешности их толщин влияют на работу исследуемого объектива незначительно.

4. На основе полученных в п.3 данных удалось точно определить, на какие из конструктивных параметров допуски необходимо ужесточать в первую очередь и при дальнейшей сборке контролировать особенно строго. Также было установлено, на какие конструктивные параметры можно назначать более свободные допуски без ущерба качеству объектива.

5. Выполнение комплексного анализа с помощью метода Монте-Карло. Данный вид анализа позволил оценить изменение критерия качества объектива под влиянием всех назначаемых видов допусков в совокупности. При проведении этого анализа число рассчитываемых по методу Монте-Карло систем задавалось не менее чем 1000. Это обусловлено тем, что при увеличении числа рассчитываемых систем уменьшается общая погрешность метода Монте-Карло. После окончания расчёта программа *Zemax* предоставляет значения среднеквадратического радиуса кружка рассеяния для каждой из 1000 рассчитанных систем в отдельном окне. В случае, если хотя бы в 1 из 1000 полученных систем значение этого критерия было больше допустимого, т.е. больше 0,1 мм, допуски ужесточались, используя полученные ранее (см. п.3) сведения. После этого расчет методом Монте-Карло проводился повторно.

6. В результате описанных в п.5 действий, было получено, что у наихудшей из тысячи рассчитанных систем, величина среднеквадратического радиуса кружка рассеяния составляет 0,08 мм, что несколько меньше требуемого в 0,1 мм. Запас в 0,02 мм был оставлен специально, чтобы уменьшить влияние случайных погрешностей, которые могут возникнуть при сборке объектива.

7. Полученные величины допусков на конструктивные параметры были приняты как рекомендуемые для данного объектива при заданных условиях работы.

Результаты: В результате описанного исследования были рассчитаны значения для допусков на конструктивные параметры рассмотренного объектива, которые приведены в таблице 2.

Таблица 2

Значения допусков на конструктивные параметры объектива

Вид допуска	Величина, не более чем
Допуск на радиусы кривизны поверхностей линз	5 колец Ньютона при $\lambda = 0,6328$ мкм
Допуск на толщины линз	$\pm 0,2$ мм
Допуск на толщины воздушных промежутков	$\pm 0,5$ мм
Допуск на децентрировку поверхностей в линзах	$\pm 0,1$ мм
Допуск на децентрировку линз в оправках	$\pm 0,1$ мм
Допуск на наклон линз в оправках	± 3 угл. мин.

Перечислим основные выводы, полученные в ходе данной работы:

1. Допуски на радиусы кривизны и толщины линз являются достаточно свободными. Это позволит увеличить число незабракованных линз.
2. При необходимости, более свободные допуски могут быть ужесточены для компенсации иных возможных погрешностей сборки или для применения данного объектива с фотоприёмными устройствами, имеющими меньшие размеры чувствительных элементов
3. Более свободные допуски позволят облегчить сборку и юстировку объектива.
4. При необходимости качество изначально синтезированного объектива может быть улучшено путем дополнительной оптимизации в программе *Zemax*. В дальнейшем, при сохранении условий работы и фотоприемного устройства это позволит получить более свободные допуски по всем конструктивным параметрам.

Полученные допуски на данный объектив достаточно свободны, чтобы обеспечить требуемое качество объектива, технологичность его изготовления и сборки.

Список литературы

1. Якушенков Ю.Г. Теория и расчет оптико-электронных приборов. – М.: Логос, 1999. 480 с.
2. В.В. Тарасов, Ю.Г. Якушенков. Инфракрасные системы «смотрящего» типа. – М.: Логос, 2004. 192 с.

3. Госсорг Ж. Инфракрасная термография. Основы, техника, применение: Пер. с франц. – М.: Мир, 1988. 416 с.