

УДК 621.375.826:778

Лазерно-голографический измерительный комплекс ФГУП «НПО «ГИПО»»

В. П. Иванов, А. В. Лукин, А. Н. Мельников

ФГУП «НПО «Государственный институт прикладной оптики»», г. Казань, Россия

Приведены назначение, состав и технические особенности разработанного в ФГУП «НПО «ГИПО»» лазерно-голографического измерительного комплекса. Описаны методики измерений оптических параметров объективов, выполняемых с помощью данного комплекса. В качестве примера приведены результаты измерений оптических параметров асферодифракционного объектива «Кшар», который имеет два поля зрения, 3 и 9°, с фокусными расстояниями 204 и 68 мм, соответственно; его световой диаметр 100 мм, относительное отверстие 1:2.

Разработка лазерно-голографического измерительного комплекса (ЛГИК) и методик измерений, выполняемых при технологическом и аттестационном контроле оптических параметров объективов в ультрафиолетовой (УФ), видимой и инфракрасной (ИК) областях спектра была начата в 1998 г. в ФГУП «НПО «ГИПО»».

К настоящему времени работы по его вводу в действие и комплектация практически завершены.

При технологическом и аттестационном контроле измеряются следующие оптические параметры объективов:

размер наименьшего кружка рассеяния (НКР), характеризующий разрешающую способность объектива [1];

фокальные и рабочие отрезки, контроль которых является очень важным в технологической цепочке сборки и юстировки прибора в целом;

коэффициент пропускания (на заданной длине волны), значение которого оказывает влияние на чувствительность прибора.

ЛГИК является важнейшим звеном в технологической цепочке выпуска асферических и дифракционных оптических элементов, на базе которых проектируются и изготавливаются оптические системы для высокоразрешающей тепловизионной аппаратуры новых поколений.

ЛГИК построен на базе типовых измерительных установок — голографических асферометров АГ-2 (рис. 1) и состоит из трех составных частей:

- интерферометрической установки для технологического и аттестационного контроля линз, зеркал и объективов; данная установка содержит интерферометр, зеркальный коллиматор со сменными окулярами, лазерные источники излучения, пировидиконную ИК-камеру с монитором, люминесцентный ИК-визуализатор, персональный компьютер, пакет прикладных программ для расшифровки интерференционных картин и расчета функции рассеяния точки, функции концентрации энергии, модуля оптической передаточной функции;

- установки для измерений размера НКР, фокальных отрезков линз и объективов; эта установка содержит юстировочные столики, датчик линейных перемещений, узел измерительной щели, измеритель мощности оптического излучения, телевизионную видеокамеру с монитором, люминесцентный ИК-визуализатор, персональный компьютер, лазерные и тепловые источники излучения;

- установки для измерения коэффициентов пропускания оптических элементов и объективов; измерительная установка содержит зеркальный коллиматор со сменными окулярами, измеритель мощности оптического излучения, люминесцентный ИК-визуализатор, телевизионную видеокамеру с монитором, персональный компьютер, лазерные и тепловые источники излучения.

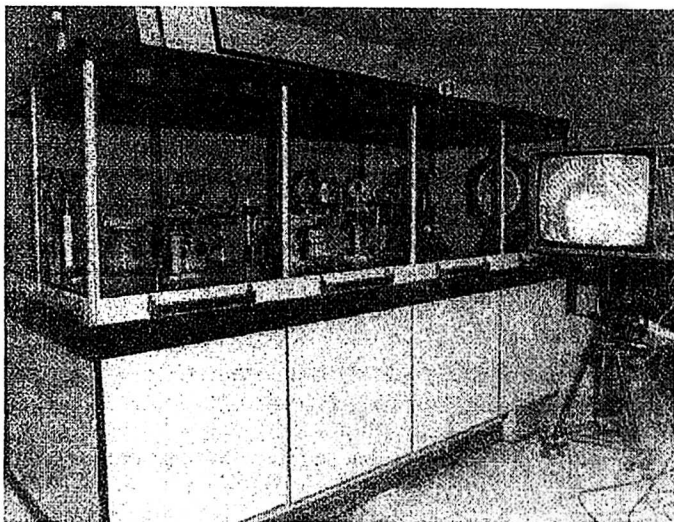


Рис. 1. Общий вид голографического асферометра АГ-2

В состав ЛГИК входит также комплекс методов и средств расчета, изготовления и аттестации синтезированных голограммных оптических элементов (СГОЭ).

ЛГИК оснащен как лазерными источниками излучения (газоразрядные, полупроводниковые и твердотельные), так и тепловыми, позволяющими выполнять комплекс оптико-физических и оплотехнических измерений параметров оптических элементов и центрированных систем в диапазоне длин волн от 400 нм до 12 мкм.

Высокая точность и оперативность контроля оптических элементов и центрированных многокомпонентных систем достигаются за счет использования синтезированных голограмм, выполняющих в контрольных схемах функции образцовых элементов либо оптических компенсаторов, а также фотоэлектрической регистрации интерферограмм и автоматизированной их расшифровки [2, 3].

На рис. 2 представлены основные варианты принципиальных схем контроля вогнутых и выпуклых асферических поверхностей в отраженном и проходящем свете с помощью СГОЭ: схемы в левом столбце — для контроля вогнутых поверхностей, в центре — для контроля выпуклых поверхностей, в правом столбце — для контроля линз. По схеме рис. 2.10, где 1(1') — точечный источник света (его изображение), 2 — СГОЭ, 3 — тестируемый элемент, 4 — вспомогательный оптический элемент (сферическое зеркало, линза), осуществляется поэтапный технологический контроль процесса сборки многокомпонентных центрированных систем (объективов), а также их аттестация.

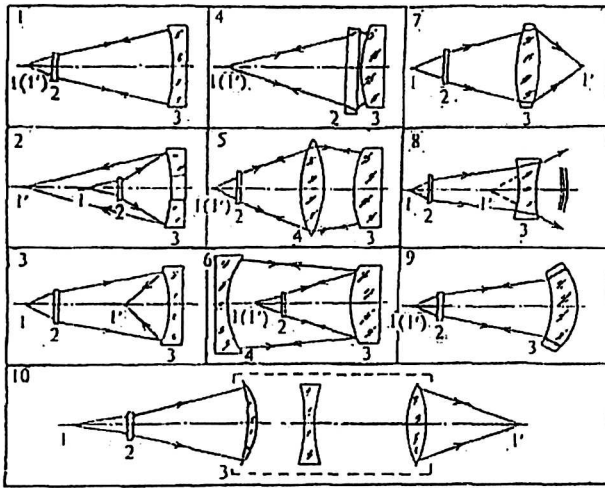


Рис. 2. Основные варианты принципиальных схем контроля вогнутых и выпуклых асферических поверхностей в отраженном и проходящем свете с помощью СГОЭ

Именно благодаря реализации уникальных метрологических возможностей ЛГИК в ФГУП «НПО «Государственный институт прикладной оптики»» за короткий срок был разработан, изготовлен и аттестован унифицированный ряд светосильных ИК-объективов, построенных на основе использования элементов асферической и киноформной оптики.

Рассмотрим схемы и методы измерений оптических параметров объективов, реализуемые с помощью ЛГИК (рис. 3, а, б, в).

Измерения размера НКР проводятся по схеме, показанной на рис. 3, а.

Состав установки (см. рис. 3, а):

1 — источник лазерного излучения для измерительных целей;

2 — источник лазерного излучения видимого диапазона для юстировочных целей — газовый He—Ne-лазер (длина волны $\lambda = 0,6328$ мкм);

3 (3', 3'') — юстировочное плоское зеркало;

4 — короткофокусное сферическое зеркало;

5 — точечная диафрагма;

6 — длиннофокусное сферическое зеркало;

элементы 3—6 входят в состав зеркального коллиматора (световой диаметр $D_k = 200$ мм; фокусное расстояние $f_k = 1800$ мм);

7 — контролируемый объектив;

8 — отсчетное устройство;

9 — узел измерительной щели (или узел ножа Фуко с датчиком линейных перемещений, цена деления которого не более 1 мкм);

10 — вспомогательная оптическая система, состоящая из сопрягающего объектива и служащая для изменения телесного угла, в котором распространяется поток излучения, падающий на фотоэлектрический преобразователь прибора ИМО-4С;

11 — фотоэлектрический преобразователь средства измерений средней мощности лазерного излучения типа ИМО-4С (диапазон измерений средней мощности лазерного излучения от $1 \cdot 10^{-3}$ до $1 \cdot 10^2$ Вт);

12 — блок регистрации прибора ИМО-4С.

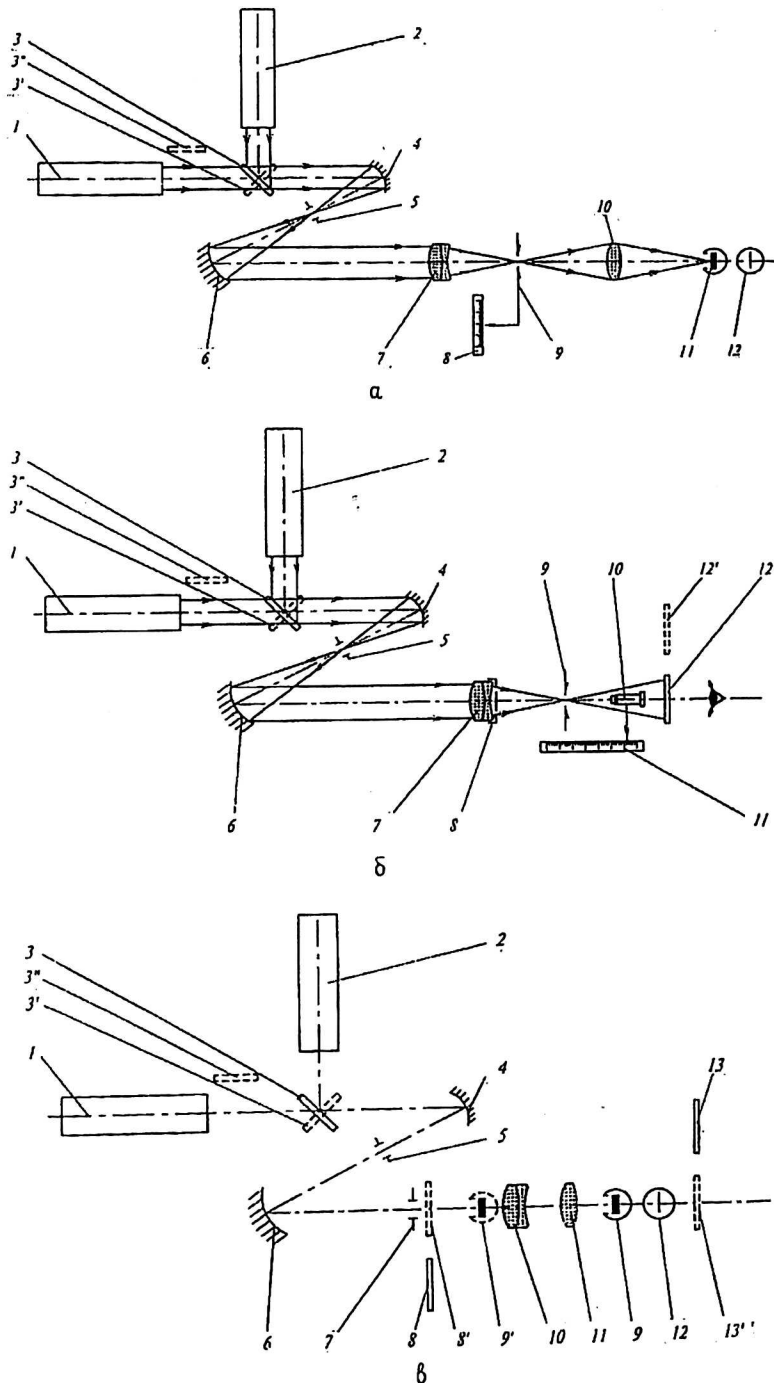


Рис. 3. Принципиальная схема установки для измерения:

a — размера НКР с диапазоном от 10 до 200 мкм и абсолютной поглощенностью не более 3 мкм; *б* — фокальных и рабочих отрезков с диапазоном от 5 до 300 мм и абсолютной погрешностью не более 0,06 мм; *в* — коэффициента пропускания с диапазоном от 0,1 до 1,0 и относительной погрешностью не более 5 %

Люминесцентный визуализатор излучения типа ВЛ-2, а также стол, объективодержатель, крепежные и юстировочные механические детали и узлы универсальной установки типа АГ-2, которые используются во всех описанных далее установках, на рис. 3, *а–в* не показаны.

Метод измерения размера НКР — метод определения ширины измерительной щели, при которой величина потока энергии, прошедшей через измерительную щель, соответствует заданному соотношению с полной энергией пятна рассеяния испытуемого объектива, в частности, соотношению 0,8.

Допускается производить измерение ширины измерительной щели с помощью измерительного микроскопа типа УИМ-23 или других аналогичных приборов.

Измерения фокальных и рабочих отрезков контролируемых объективов проводятся на установке в соответствии со схемой, приведенной на рис. 3, *б*.

Элементы 1–6 на схеме установки — на рис. 3, *б* аналогичны элементам схемы рис. 3, *а*;

7 — контролируемый объектив;

8 — шаблон, служащий для измерения рабочих отрезков толщиной t_1 ;

9 — узел измерительной щели (или узел ножа Фуко с датчиком линейных перемещений, цена деления которого не более 1 мкм);

10 — горизонтальный микроскоп;

11 — датчик линейного перемещения с цифровым отсчетом;

12 — люминесцентный визуализатор излучения типа ВЛ-2 (фотоэлектрический преобразователь прибора ИМО-4С или тепловизионная камера).

Приведем метод измерений заднего фокального отрезка S'_f . При использовании люминесцентного визуализатора типа ВЛ-2 (или средства измерений средней мощности лазерного излучения типа ИМО-4С) величина заднего отрезка определяется путем измерения расстояния вдоль оптической оси от лезвия ножа измерительной щели до последней оптической поверхности испытуемого объектива с помощью микроскопа и отсчетного устройства продольного перемещения микроскопа. Лезвие ножа измерительной щели при этом измерении помещается в плоскость наименьшего кружка рассеяния испытуемого ИК-объектива. Установка лезвия ножа измерительной щели в плоскость наименьшего кружка рассеяния испытуемого объектива обеспечивается продольными и поперечными подвижками измерительной щели по теневой картине согласно [3] или по распределению энергии в пятне рассеяния. Визуализация теневой картины осуществляется с помощью люминесцентного визуализатора.

В случае измерений рабочего отрезка S'_p применяется следующий метод. При использовании люминесцентного визуализатора ВЛ-2 (или средства измерений средней мощности лазерного излучения типа ИМО-4С) величина рабочего отрезка определяется суммированием двух величин. Первая из них равна толщине шаблона, укрепленного на испытуемом объективе. Вторая величина находится путем измерения расстояния вдоль оптической оси от лезвия ножа измерительной щели до плоскости специальной площадки указанного выше шаблона. Измерения проводятся с помощью микроскопа и отсчетного устройства продольного перемещения микроскопа. Лезвие ножа измерительной щели помещается в плоскость наименьшего кружка рассеяния испытуемого объектива. Установка лезвия ножа измерительной щели в плоскость наименьшего кружка рассеяния испытуемого объектива производится так же, как и при измерении заднего фокального отрезка.

Измерения коэффициента пропускания проводятся по схеме, приведенной на рис. 3, *в*.

Элементы 1—6 установки на рис. 3, *в* аналогичны элементам схемы рис. 3, *а*;

7 — ирисовая диафрагма;

8 (8') — непрозрачный экран;

9 (9') — фотоэлектрический преобразователь прибора ИМО-4С;

10 — контролируемый объектив;

11 — вспомогательная оптическая система, состоящая из объектива или конденсора с известным коэффициентом пропускания на длине волны измерения, служит для изменения телесного угла, в котором распространяется поток излучения, падающий на фотоэлектрический преобразователь прибора ИМО-4С;

12 — блок регистрации прибора ИМО-4С;

13 (13') — люминесцентный визуализатор излучения типа ВЛ-2.

Методом измерений коэффициента пропускания служит метод фотоэлектрического фотометра, который основан на сравнении потока излучения, падающего на объектив, и потока, прошедшего через объектив [4].

Приведем результаты измерений оптических параметров, в частности, асферодифракционного объектива “Кинар”, имеющего дифракционный предел разрешения. Его световой диаметр 100 мм, относительное отверстие 1:2. “Кинар” имеет два поля зрения, 3 и 9°, с фокусными расстояниями 204 и 68 мм, соответственно. На рис. 4 представлен общий вид объектива “Кинар”.



Рис. 4. Общий вид асферодифракционного объектива “Кинар”

Результаты измерений оптических параметров объектива “Кинар”, выполненных при нормальных условиях на длине волны $\lambda = 10,6$ мкм, представлены в таблице.

Параметры	Расчетное значение	Фактическое значение	Погрешность, не более
Угловое поле зрения 3°			
Диаметр НКР, мкм, не более	50	40	3 мкм
Задний фокальный отрезок, мм	43,95	43,71	0,06 мм
Коэффициент пропускания, не менее	0,8	0,8	5 %
Угловое поле зрения 9°			
Диаметр НКР, мкм, не более	50	30	3 мкм
Задний фокальный отрезок, мм	43,95	43,86	0,06 мм
Коэффициент пропускания, не менее	0,8	0,8	5 %

Заклучение

• В Федеральном государственном унитарном предприятии «НПО «ГИПО» разработаны уникальные технологии изготовления асферических оптических деталей и их контроля на основе использования осевых синтезированных голограмм.

• Эти технологии легли в основу организации серийного выпуска деталей с асферическими поверхностями, позволили разрабатывать и изготавливать оптические системы для ИК-аппаратуры с повышенным качеством изображения и улучшенными массогабаритными характеристиками.

• Важным звеном технологического процесса изготовления асферических оптических деталей и сборки ИК-объективов является лазерно-голографический измерительный комплекс, состоящий из интерферометрической установки и установок для измерений оптических параметров объективов, обеспечивающий технологический и аттестационный динамический контроль оптических элементов и систем на всех стадиях их изготовления.

Литература

1. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. — М.: Наука, 1970.
2. Larionov N. P., Lukin A. V., Mavrin S. V., Nushkin A. A., Raficov R. A. Holographic control of optical elements and systems using axial computer-generated holograms//Proc. SPIE. 1993. V. 2108. P. 490—494.
3. Сборник отраслевых стандартов «Детали оптические с асферическими поверхностями. Метод контроля с использованием синтезированных голограмм». ОСТ 3-4730—80 — ОСТ 3-4732—80.
4. Государственный стандарт «Объективы. Метод определения коэффициентов пропускания». ГОСТ 24604—81.

Laser-holographic measuring complex

V. P. Ivanov, A. V. Lukin, A. N. Melnikov
The State Institute for Applied Optics, Kazan, Russia

The destination, composition and technical features of the laser-holographic measuring complex, which have been designed by the State Institute for Applied Optics (GIPO), are considered in this paper. Circumscribed are the philosophy of the optical lense parameters measurements executed with the help of the given complex. Observed data of optical parameters for the Kinar asphero-diffraction objective are given as an example, with the Kinar objective having two vision fields of 3 and 9°, focal distances of 204 and 68 mm, accordingly; a light diameter of 100 mm, an angular aperture of 1:2