ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 70038— 2022

Оптика и фотоника

ОБЪЕКТИВЫ ДЛЯ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

Методы измерений фокусного расстояния

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2022

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Федеральным государственным унитарным предприятием «Научно-исследовательский институт физической оптики, оптики лазеров и информационных оптических систем Всероссийского научного центра «Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова» (ФГУП «НИИФООЛИОС ВНЦ «ГОИ им. С.И. Вавилова»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 296 «Оптика и фотоника»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 13 июля 2022 г. № 615-ст

4 ВЗАМЕН ГОСТ Р 58566—2019 в части подраздела 4.4, раздела 9

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Оформление. ФГБУ «РСТ», 2022

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины, определения и обозначения 2
4 Общие положения 2
5 Требования к аппаратуре 3
6 Метод увеличения 8
7 Угломерный метод 10
8 Автоколлимационный метод 11
9 Оформление результатов измерений 12
Приложение А (справочное) Методы расчета погрешности измерений фокусного расстояния 13

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Оптика и фотоника

ОБЪЕКТИВЫ ДЛЯ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

Методы измерений фокусного расстояния

Optics and photonics.
Lenses for optical electronic systems.
Methods for measuring focal length

Дата введения — 2023—03—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на объективы для оптико-электронных систем:

- работающие из бесконечности (предмет в бесконечности, изображение на конечном расстоянии);
- микрообъективы, скорректированные на длину тубуса «бесконечность» (предмет на конечном расстоянии, изображение в бесконечности);
- коллиматорные (предмет на конечном расстоянии, изображение в бесконечности)

и устанавливает методы измерений фокусного расстояния в ультрафиолетовой (от 0,25 до 0,38 мкм), видимой (от 0,38 до 0,78 мкм) и инфракрасной (от 0,78 до 15 мкм) областях спектра.

Примечание — Точных границ излучения видимой области спектра не существует, т. к. они зависят от значения энергетического потока, достигающего сетчатки, и восприимчивости наблюдателя. Нижнюю границу, как правило, принимают между значениями 0,36 и 0,40 мкм, а верхнюю — между 0,76 и 0,83 мкм. В настоящем стандарте границы приняты равными значениям 0,38 и 0,78 мкм.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 7427 Геометрическая оптика. Термины, определения и буквенные обозначения

ГОСТ Р 8.568 Государственная система обеспечения единства измерений. Аттестация испытательного оборудования. Основные положения

ГОСТ Р 8.654 Государственная система обеспечения единства измерений. Требования к программному обеспечению средств измерений. Основные положения

ГОСТ Р 8.674 Государственная система обеспечения единства измерений. Общие требования к средствам измерений и техническим системам и устройствам с измерительными функциями

ГОСТ Р 8.678 Государственная система обеспечения единства измерений. Форма оценки соответствия технических систем и устройств с измерительными функциями установленным требованиям

ГОСТ Р 8.745 Государственная система обеспечения единства измерений. Оптика и фотоника. Интерференционные измерения оптических элементов и систем. Часть 2. Измерения и методика оценки результатов

ГОСТ Р 70039 Оптика и фотоника. Характеристики оптических систем. Термины и определения

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указа-

Издание официальное

телю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины, определения и обозначения

В настоящем стандарте применены термины, определения и буквенные обозначения по ГОСТ 7427 и ГОСТ Р 70039.

4 Общие положения

4.1 Методы измерений

4.1.1 Метод увеличения основан на измерении линейного/поперечного увеличения оптической системы, состоящей из коллиматорного и испытуемого объективов, путем измерений:

- поперечного перемещения освещенной одиночной диафрагмы или расстояния между щелями двухщелевой диафрагмы (расстояния между штрихами шкалы), установленной в фокальной плоскости коллиматорного объектива;
- смещения изображения этой диафрагмы в фокальной плоскости испытуемого объектива.

4.1.2 Угломерный метод основан на измерении угла поворота испытуемого объектива и вызванного этим поворотом поперечного смещения изображения коллиматорной диафрагмы в фокальной плоскости испытуемого объектива.

4.1.3 Автоколлимационный метод основан на измерении угла разворота плоского автоколлимационного зеркала, установленного перед входным зрачком испытуемого объектива, и вызванного этим разворотом поперечного смещения изображения в фокальной плоскости испытуемого объектива.

4.1.4 Относительная погрешность измерений:

- от 0,5 % до 1,5 % — для метода увеличения;
- от 0,2 % до 0,5 % — для угломерного и автоколлимационного методов.

Методы расчета погрешности измерений фокусного расстояния приведены в приложении А.

Примечание — Допустимые погрешности измерений фокусного расстояния устанавливают в технической документации (ТД) на испытуемый объектив и установку.

4.2 При проведении измерений должны быть обеспечены следующие условия, если иные не указаны в ТД на испытуемый объектив и используемую аппаратуру:

- температура воздуха в помещении — (25 ± 10) °С;
- относительная влажность воздуха — от 45 % до 80 % (при температуре воздуха 20 °С);
- атмосферное давление — от 86,6 до 106,6 кПа.

Перед началом измерений объективы должны быть выдержаны в указанных условиях не менее 2 ч, если условия хранения и транспортирования объективов от них отличались.

4.3 Испытания объектива проводят в спектральной области, указанной в ТД на испытуемый объектив. Для проведения испытания следует использовать соответствующие источники и приемники излучения, а также оптические элементы измерительной установки (в том числе светофильтры) с соответствующими спектральными характеристиками.

4.4 Средства измерений, их составные части и программное обеспечение, стандартные образцы, средства контроля и испытательное оборудование, эталоны единиц величин должны обеспечивать проведение мониторинга и измерений параметров и характеристик процессов и продукции в заданных условиях и диапазонах измерений с необходимой точностью и соответствовать требованиям ТД.

4.5 Средства измерений должны быть поверены или откалиброваны.

4.6 Эталоны единиц величин должны быть аттестованы.

4.7 Стандартные образцы должны иметь утвержденный тип и соответствовать установленному сроку службы.

4.8 Испытательное оборудование должно быть аттестовано в соответствии с ГОСТ Р 8.568, средства измерений, используемые в составе испытательного оборудования, должны быть поверены.

4.9 Средства контроля и индикаторы, являющиеся техническими средствами, должны быть проверены на соответствие эксплуатационной документации.

4.10 Программное обеспечение средств измерений должно соответствовать требованиям ГОСТ Р 8.654.

4.11 Технические системы и устройства с измерительными функциями должны соответствовать требованиям ГОСТ Р 8.674 и ГОСТ Р 8.678.

5 Требования к аппаратуре

5.1 Измерение фокусного расстояния методом увеличения проводят на установке, принципиальная схема которой приведена на рисунке 1а).

Измерение фокусного расстояния угломерным методом проводят на установке, принципиальная схема которой приведена на рисунке 1б).

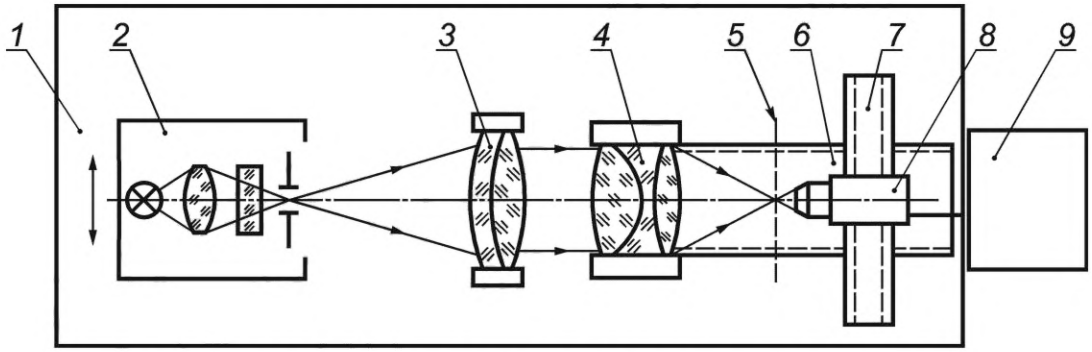
Измерение фокусного расстояния автоколлимационным методом проводят на установке, принципиальная схема которой приведена на рисунке 2.

Примечания

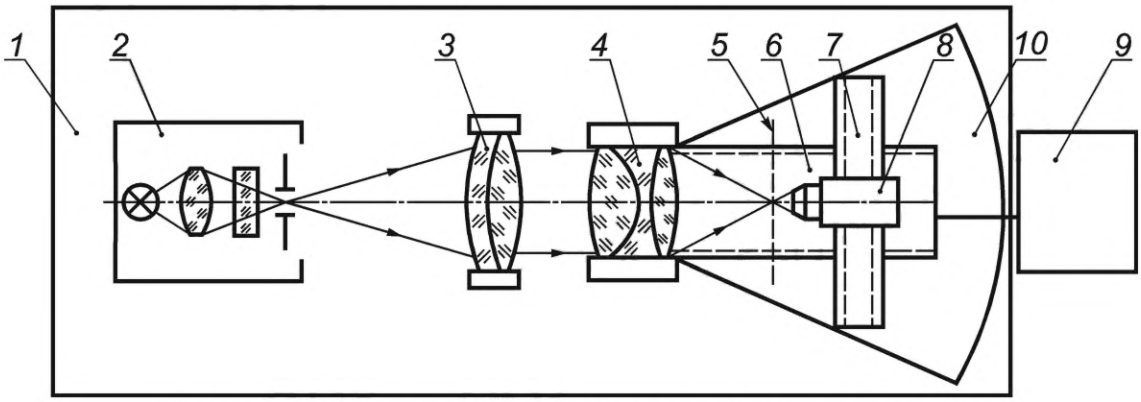
1 Фокусное расстояние коллиматорных объективов и микрообъективов, скорректированных на длину тубуса «бесконечность», измеряют в обратном ходе лучей.

2 Допускается измерение фокусного расстояния объектива, работающего с конечного расстояния на конечное, если это установлено в ТД на объектив.

5.2 Вместо схемы линзового коллиматорного объектива, приведенной на рисунке 1, допускается использовать схему с зеркальным или зеркально-линзовым коллиматорным объективом. При необходимости в состав установки вводят плоское зеркало.



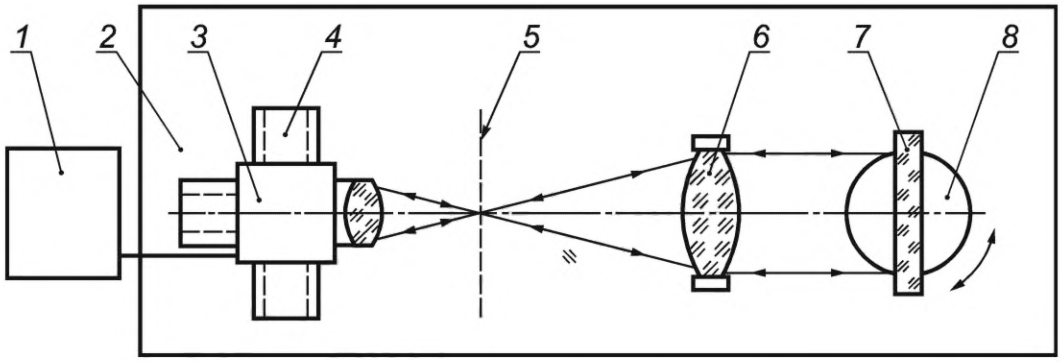
а) Принципиальная схема установки для измерений методом увеличения



б) Принципиальная схема установки для измерений угломерным методом

1 — единое амортизационное основание; *2* — фокальный узел, в состав которого входят источник излучения, конденсор, светофильтр, коллиматорная диафрагма или сетка; *3* — коллиматорный объектив; *4* — объективодержатель с испытуемым объективом; *5* — плоскость изображения испытуемого объектива; *6* — станина с продольными направляющими; *7* — трехкоординатное устройство; *8* — анализирующий узел; *9* — регистрирующая аппаратура; *10* — поворотное устройство

Рисунок 1 — Принципиальные схемы установок для измерений фокусного расстояния методом увеличения и угломерным методом



1 — регистрирующая аппаратура; *2* — единое амортизационное основание; *3* — автоколлимационный анализирующий узел (интерферометр, автоколлиматор с перефокусировкой, автоколлимационный микроскоп); *4* — двух- или трехкоординатное устройство; *5* — плоскость изображения испытуемого объектива; *6* — испытуемый объектив с объективодержателем; *7* — плоское автоколлимационное зеркало; *8* — поворотное устройство

Рисунок 2 — Принципиальная схема установки для измерений автоколлимационным методом

5.3 В качестве источников излучения используют лампу накаливания, галогенную лампу, лазерный или светодиодный источник — для видимого диапазона спектра; ксеноновую лампу, лазерный или светодиодный источник — для ультрафиолетового диапазона спектра; излучатель из карбида кремния (глобар), керамический излучатель, абсолютно черное тело (источник излучения в виде модели черного тела), лазерный или светодиодный источник излучения — для инфракрасного диапазона спектра.

Примечание — Допускается использовать другие источники излучения, если они обеспечивают требуемый диапазон спектра в соответствии с ТД на объектив.

5.4 Конденсор должен быть установлен таким образом, чтобы изображение излучающего тела источника излучения в рабочей области спектра испытуемого объектива проецировалось на коллиматорную диафрагму. При использовании линзового конденсора в инфракрасной или ультрафиолетовой областях спектра проводят предварительную юстировку в видимой области спектра, а затем конденсор перемещают вдоль оптической оси на расчетную величину для освещения диафрагмы в рабочей области спектра испытуемого объектива.

Апертурный угол конденсора должен превышать апертурный угол коллиматорного объектива не менее чем в 1,2 раза.

При использовании лазерного источника излучения фокусное расстояние конденсора $f'_{конд}$, мм, вычисляют по формуле

$$f'_{конд} = \frac{d_п \cdot f'_{к.о}}{1{,}2D_{и.о}}, \quad (1)$$

где $d_п$ — диаметр пучка лучей лазерного источника излучения, мм;

$f'_{к.о}$ — фокусное расстояние коллиматорного объектива, мм;

$D_{и.о}$ — диаметр входного зрачка испытуемого объектива, мм.

5.5 Коллиматорная диафрагма должна быть совмещена с фокальной плоскостью коллиматорного объектива для рабочего диапазона спектра испытуемого объектива с относительной погрешностью не более 0,05 % от значения фокусного расстояния коллиматорного объектива.

Допустимую дефокусировку коллиматора $\Delta f_{к.о}$ вычисляют по формуле

$$\Delta f_{к.о} \le \frac{4\lambda \cdot f'^2_{к.о}}{D^2_{к.о}}, \quad (2)$$

где λ — рабочая длина волны испытуемого объектива, мкм;

$D_{к.о.}$ — диаметр выходного зрачка коллиматорного объектива, мм.

5.6 Ширину b_1, мм, или диаметр d_1, мм, коллиматорной диафрагмы вычисляют по формуле

$$b_1 = d_1 \le 0{,}5 \cdot a' \cdot \frac{f'_{к.о}}{f'_{и.о}}, \quad (3)$$

где a' — диаметр пятна рассеяния, определяемый исходя из расчета оптических величин объектива, мм;

$f'_{и.о}$ — фокусное расстояние испытуемого объектива, мм.

Допускается использовать диаметр дифракционного пятна рассеяния, вычисляемого по формуле

$$a' = \frac{2{,}44\lambda}{D_{и.о} / f'_{и.о}}, \quad (4)$$

где λ — рабочая длина волны испытуемого объектива, мкм.

5.7 Линейный транслятор, предназначенный для перемещения коллиматорной диафрагмы поперек оптической оси, должен обеспечивать регистрацию линейных перемещений на любом участке, соответствующем линейному полю испытуемого объектива в пространстве предметов, с абсолютной погрешностью не более ±0,002 мм.

5.8 Двухщелевая диафрагма и штриховая шкала (сетка) должны быть откалиброваны с абсолютной погрешностью не более ±0,002 мм.

Примечание — Допускается использовать диафрагмы, штриховые шкалы (сетки), входящие в комплект поставки измерительной установки.

Размеры штриховой шкалы должны быть такими, чтобы ее изображение, рассматриваемое в окуляре микроскопа или регистрируемое анализирующим узлом, было не менее 3 мм.

5.9 При измерении фокусного расстояния методом увеличения значение поперечного перемещения коллиматорной диафрагмы $y_д$, мм, вычисляют по формуле

$$\rho \frac{f'_{к.о}}{f'_{и.о}} \le y_д \le 2f'_{к.о} \mathrm{tg}\omega_к, \quad (5)$$

где ρ — значение перемещения изображения коллиматорной диафрагмы в фокальной плоскости испытуемого объектива, мм;

$2\omega_к$ — угловое поле коллиматорного объектива в пространстве предметов, градусы.

Значение поперечного перемещения коллиматорной диафрагмы при измерении фокусного расстояния методом увеличения должно быть не менее 3 мм.

Абсолютная погрешность измерений значения поперечного перемещения коллиматорной диафрагмы — не более ±0,002 мм.

5.10 Фокусное расстояние коллиматорного объектива должно превышать фокусное расстояние испытуемого объектива не менее чем в три раза.

Измерение фокусного расстояния коллиматорного объектива проводят в соответствии с настоящим стандартом с относительной погрешностью не более 0,2 % либо не более значения, установленного в ТД на коллиматорный объектив.

5.11 Линзовые и зеркально-линзовые коллиматорные объективы должны быть изготовлены из материалов, прозрачных в области спектра испытуемого объектива.

5.12 Среднеквадратическая деформация волнового фронта коллиматорного объектива должна быть не более $\lambda/14$ в пределах светового диаметра коллиматорного объектива (область ахроматизации испытуемого объектива должна находиться внутри области ахроматизации коллиматорного объектива), где λ — рабочая длина волны испытуемого объектива, мкм. Измерения проводят по ГОСТ Р 8.745.

Допускается использовать коллиматорный объектив с большей среднеквадратической деформацией волнового фронта, если она незначительно влияет на суммарную погрешность определения требуемой характеристики, установленной в ТД на испытуемый объектив.

5.13 При необходимости объективодержатель должен обеспечивать возможность вращения испытуемого объектива вокруг оптической оси на 360° для установки требуемой ориентировки. Допускается возможность вращения испытуемого объектива вокруг вертикальной оси.

5.14 Станина с продольными направляющими должна иметь раздельные подвижки вдоль оптической оси, обеспечивать возможность установки и независимого перемещения объективодержателя и трехкоординатного устройства с анализирующим узлом вдоль оптической оси испытуемого объектива и закрепления их в заданном положении таким образом, чтобы вертикальная ось поворотного устройства находилась в плоскости входного зрачка испытуемого объектива или вблизи указанной плоскости.

При подготовке установки к измерениям необходимо проводить контроль заполнения входного зрачка испытуемого объектива при развороте поворотного устройства на полевые углы.

5.15 Допуск перпендикулярности опорного торца объективодержателя к оптической оси коллиматорного объектива должен составлять 1'.

5.16 Абсолютная погрешность угломерного устройства для поворотного устройства должна быть от 2" до 10".

В качестве угломерного устройства допускается использовать преобразователи угловых перемещений или автоколлиматор (автоколлимационный теодолит) с плоским автоколлимационным зеркалом.

Допускается проводить измерения углов поворота испытуемого объектива с большей погрешностью, если она незначительно влияет на суммарную погрешность определения требуемой характеристики, установленной в ТД на испытуемый объектив.

5.17 Трехкоординатное устройство, предназначенное для перемещения анализирующего узла в трех взаимно перпендикулярных направлениях, должно обеспечивать перемещение:

- вдоль оптической оси с регистрацией линейных перемещений с абсолютной погрешностью не более ±0,01 мм;
- поперек оптической оси с регистрацией линейных перемещений на любом участке, соответствующем линейному полю испытуемого объектива в пространстве изображений, с абсолютной погрешностью не более ±0,002 мм.

5.18 Допуск параллельности направляющих поперечного перемещения анализирующего узла и предметного узла опорному торцу объективодержателя — 0,01 мм на участке размером не менее линейного поля испытуемого объектива в пространстве изображений или в пространстве предметов, в зависимости от схемы испытаний.

Допуск на параллельность в угловой мере не должен превышать значения угла α, образованного опорным торцом объективодержателя и направляющими поперечного перемещения приемника излучения, вычисляемого по формуле

$$\alpha \le \frac{\lambda \cdot f'_{и.о}}{D^2_{и.о} \cdot \mathrm{tg}\omega}, \qquad (6)$$

где ω — угловое поле испытуемого объектива в пространстве предметов, градусы.

5.19 Варианты исполнения анализирующего узла:

а) одноэлементный приемник излучения с измерительной диафрагмой;

б) одноэлементный приемник излучения с проекционным объективом и измерительной диафрагмой;

в) матричный приемник излучения с микрообъективом;

г) матричный приемник излучения с микрообъективом и тубусной линзой;

д) микроскоп (в том числе с окуляр-микрометром).

5.20 В качестве одноэлементных приемников излучения используют: селеновый фотоэлемент, германиевый и кремниевый фотодиоды, фотоэлектронный умножитель — для видимого диапазона спектра; фотоэлектронный умножитель — для ультрафиолетового диапазона спектра; пироэлектрические приемники-фоторезисторы на основе поликристаллического сульфида свинца (PbS), селенида свинца (PbSe), на основе сплава кадмий-ртуть-теллур (HgCdTe) — для инфракрасного диапазона спектра.

В качестве матричных приемников излучения используют ПЗС- и КМОП-матрицы, микроболометрические матрицы на основе сплава кадмий-ртуть-теллур (HgCdTe).

Матричный приемник излучения должен иметь размер пикселя, удовлетворяющий формуле (9), и разрядность аналого-цифрового преобразователя не менее 12 бит.

Примечание — Допускается использовать другие приемники излучения, если они обеспечивают требуемый диапазон спектра в соответствии с ТД на объектив.

5.21 Ширину h, мм, и высоту w, мм, чувствительной площадки одноэлементного приемника излучения при измерении фокусного расстояния вычисляют по формулам

$$h \geq 1{,}5[h'_k + 2m \cdot \mathrm{tg}(u')]; \quad (7)$$

$$w \geq 3m \cdot \mathrm{tg}(u' + \omega), \quad (8)$$

где h'_k — высота (длина) изображения коллиматорной (или предметной) щелевой диафрагмы, мм;

m — расстояние от измерительной диафрагмы до чувствительного слоя приемника излучения, мм;

u' — апертурной угол испытуемого объектива, градусы.

Примечание — Расстояние m от измерительной диафрагмы до чувствительного слоя приемника излучения определяют в соответствии с конструкторской документацией на установку или косвенными методами линейных измерений.

5.22 При необходимости использования приемника излучения с размерами чувствительной площадки менее вычисляемых по формулам (7), (8) применяют проекционный объектив, который устанавливают между измерительной диафрагмой и приемником излучения. При этом измерительную диафрагму устанавливают в предметную плоскость проекционного объектива, а чувствительный слой приемника излучения — в плоскость изображения проекционного объектива.

Проекционный объектив должен удовлетворять следующим требованиям:

- апертурный угол проекционного объектива в пространстве предметов должен превышать апертурный угол испытуемого объектива в пространстве изображений не менее чем в 1,2 раза;
- площадь пятна рассеяния проекционного объектива должна быть менее площади чувствительного слоя приемника излучения.

5.23 При использовании матричных приемников излучения применяют проекционную систему, состоящую из микрообъектива или микрообъектива с тубусной линзой.

Проекционная система должна удовлетворять следующим требованиям:

- апертурный угол микрообъектива в пространстве предметов должен превышать апертурный угол испытуемого объектива в пространстве изображений не менее чем в 1,2 раза;
- микрообъектив и тубусная линза должны иметь исправленные аберрации (в т. ч. хроматические) в рабочей области спектра;
- увеличение проекционной системы $\beta_{м.о}$ должно обеспечивать шаг, который выбирают исходя из того, что на диаметр пятна рассеяния испытуемого объектива должно приходиться не менее 20 отсчетов.

Увеличение проекционной системы $\beta_{м.о}$ вычисляют по формуле

$$\beta_{м.о} \geq \frac{a_п}{a'/20}, \quad (9)$$

где $a_п$ — паспортный размер пикселя матричного приемника излучения, мм;

a' — диаметр пятна рассеяния испытуемого объектива, мм.

5.24 Увеличение микроскопа должно быть не менее 100$^{\times}$, а апертурный угол микрообъектива в пространстве предметов должен превышать апертурный угол испытуемого объектива в пространстве изображений не менее чем в 1,2 раза.

5.25 При использовании одноэлементных приемников излучения ширину b_2, мм, или диаметр d_2, мм, измерительной диафрагмы анализирующего узла вычисляют по формуле

$$b_2 = d_2 \leq 0{,}2a'. \quad (10)$$

5.26 При работе с одноэлементным приемником излучения без модулятора фоточувствительная поверхность приемника должна быть защищена от попадания постороннего излучения. При использовании модулятора его устанавливают в фокальном узле. Привод модулятора осуществляют синхронным электродвигателем. Частоту модуляции определяют в соответствии с паспортными данными приемника излучения.

5.27 Автоколлимационный анализирующий узел (см. рисунок 2) представляет собой интерферометр, автоколлиматор с перефокусировкой или автоколлимационный микроскоп.

5.28 Апертурный угол объектива автоколлимационного анализирующего узла (см. рисунок 2) в пространстве предметов должен превышать апертурный угол испытуемого объектива в пространстве изображений не менее чем в 1,2 раза.

5.29 Среднеквадратическая деформация волнового фронта плоского зеркала (см. рисунок 2) должна быть не более $\lambda/14$ в пределах светового диаметра испытуемого объектива, где λ, мкм, — рабочая длина волны испытуемого объектива. Измерения проводят по ГОСТ Р 8.745.

5.30 При проведении измерений должны быть установлены все дополнительные оптические элементы или их имитаторы, предусмотренные расчетом оптических величин объектива.

5.31 Фильтр, выделяющий рабочую область спектра, допускается устанавливать как перед коллиматорной диафрагмой, так и между измерительной диафрагмой и приемником излучения. При работе с лазерным источником излучения фильтр не используют.

5.32 Система «приемник излучения — измерительный прибор» должна быть проверена на линейность характеристики «излучение — сигнал». Относительная погрешность измерений, обусловленная нелинейностью системы, должна быть не более 2 %.

5.33 В состав регистрирующей аппаратуры входят блоки усиления и преобразования сигнала, аналого-цифровые преобразователи, средства измерений, средства контроля, испытательное оборудование, программное обеспечение.

Примечание — В качестве средств измерений допускается применять преобразователи линейных перемещений, индикаторы, преобразователи угловых перемещений, теодолиты, мультиметры, селективные вольтметры, осциллографы, источники излучения в виде модели черного тела.

5.34 Питание приемников излучения осуществляют от источников постоянного тока с пульсацией напряжения не более 0,1 %.

6 Метод увеличения

6.1 Подготовка к измерениям

6.1.1 Включают аппаратуру не менее чем за 30 мин до начала измерений.

6.1.2 Щелевую диафрагму, двухщелевую диафрагму или сетку (штриховую шкалу) устанавливают в фокальном узле коллиматорного объектива измерительной установки.

6.1.3 Испытуемый объектив устанавливают в объективодержателе таким образом, чтобы параллельный пучок лучей, вышедший из коллиматорного объектива, заполнял его входной зрачок.

6.1.4 Диафрагму или микрообъектив анализирующего узла устанавливают на указанном в ТД расстоянии от последней оптической поверхности испытуемого объектива, равном заднему фокальному отрезку испытуемого объектива.

Абсолютная погрешность установки указанного расстояния должна быть не более 0,05 % от значения фокусного расстояния испытуемого объектива или не более значения, указанного в ТД на испытуемый объектив.

6.1.5 Устанавливают диафрагму или микрообъектив анализирующего узла в плоскость, близкую к плоскости наилучшей установки (плоскости наилучшего изображения). С этой целью проводят перемещение анализирующего узла в трех взаимно перпендикулярных направлениях до получения максимального сигнала на выходе приемника излучения или резкого изображения диафрагмы (одиночной, двухщелевой, штриховой шкалы, сетки) при использовании микроскопа в качестве анализирующего узла.

6.2 Проведение измерений

6.2.1 Измерения с применением одиночной коллиматорной диафрагмы

6.2.1.1 Коллиматорную диафрагму перемещают по поперечным направляющим на расстояние $y_{д1}$, составляющее половину от значения поперечного перемещения коллиматорной диафрагмы $y_д$, вычисленного по формуле (5).

Абсолютная погрешность измерений значения поперечного перемещения коллиматорной диафрагмы — не более ±0,01 мм.

6.2.1.2 Анализирующий узел перемещают по поперечным направляющим до получения максимального сигнала или резкого изображения коллиматорной диафрагмы и снимают отсчет $y'_{д1}$ по шкале преобразователя линейных перемещений.

6.2.1.3 Коллиматорную диафрагму перемещают по поперечным направляющим на расстояние $y_{д2}$, составляющее половину от значения $y_д$, вычисленного по формуле (5), в направлении, противоположном смещению, проведенному в соответствии с 6.2.2.1.

6.2.1.4 Анализирующий узел перемещают по поперечным направляющим до получения максимального сигнала или резкого изображения коллиматорной диафрагмы и снимают отсчет $y'_{д2}$ по шкале преобразователя линейных перемещений.

6.2.1.5 Проводят измерения по 6.2.1.2—6.2.1.4 не менее трех раз и вычисляют среднее арифметическое результатов измерений.

6.2.2 Измерения с применением двухщелевой коллиматорной диафрагмы, штриховой шкалы, сетки

6.2.2.1 Анализирующий узел перемещают по поперечным направляющим до получения максимального сигнала или совмещения резкого изображения штриха двухщелевой коллиматорной диафрагмы (сетки или шкалы) с перекрестием микроскопа и снимают отсчет $y'_{ш1}$ по шкале преобразователя линейных перемещений.

6.2.2.2 Анализирующий узел перемещают в противоположном направлении по поперечным направляющим до получения максимального сигнала или совмещения резкого изображения штриха двухщелевой коллиматорной диафрагмы (сетки, шкалы) с перекрестием микроскопа и снимают отсчет $y'_{ш2}$ по шкале преобразователя линейных перемещений.

6.2.2.3 Проводят измерения по 6.2.2.1, 6.2.2.2 не менее трех раз и вычисляют среднее арифметическое результатов измерений.

6.3 Обработка результатов

6.3.1 Измерения с применением одиночной коллиматорной диафрагмы

При выполнении измерений по п.6.2.1 значение перемещения коллиматорной диафрагмы $y_д$, мм, вычисляют по формуле

$$y_д = |y_{д2} - y_{д1}|. \quad (11)$$

Значение перемещения изображения коллиматорной диафрагмы $y'_д$, мм, в плоскости наилучшего изображения испытуемого объектива вычисляют по формуле

$$y'_д = |y'_{д2} - y'_{д1}|. \quad (12)$$

6.3.2 Измерения с применением двухщелевой диафрагмы, штриховой шкалы, сетки

Расстояния между штрихами в изображении двухщелевой коллиматорной диафрагмы $y'_ш$, мм, в плоскости наилучшего изображения испытуемого объектива вычисляют по формуле

$$y'_ш = |y'_{ш2} - y'_{ш1}|. \quad (13)$$

6.3.3 Значение фокусного расстояния испытуемого объектива $f'_{и.о}$, мм, вычисляют по формуле

$$f'_{и.о} = f'_{к.о} \cdot \frac{y'_д}{y_д} = f'_{к.о} \cdot \frac{y'_ш}{y_ш} = K_у \cdot y'_ш, \quad (14)$$

где $y_ш$ — расстояние между штрихами двухщелевой диафрагмы коллиматорной диафрагмы, штриховой шкалы, сетки, мм;

$K_у = f'_{к.о}/y_ш$ — предварительно определенный постоянный коэффициент для двухщелевой диафрагмы (штриховой шкалы, сетки) данного коллиматора.

Вычисляют среднеквадратическое отклонение значения фокусного расстояния.

Примечание — Фокусное расстояние коллиматорных объективов измеряют в прямом ходе лучей методом увеличения при известном фокусном расстоянии $f'_{о.о.с}$ объектива — образца сравнения. Формула (14) при этом принимает следующий вид:

$$f'_{к.о} = f'_{о.о.с} \cdot (y_д/y'_д) = f'_{о.о.с} \cdot (y_ш/y'_ш). \quad (15)$$

7 Угломерный метод

7.1 Подготовка к измерениям

7.1.1 Проводят подготовку к измерениям в соответствии с 6.1.

7.1.2 Определяют нулевой отсчет углового положения поворотного устройства.

7.1.3 Проводят контроль заполнения входного зрачка испытуемого объектива при развороте поворотного устройства на полевые углы.

7.2 Проведение измерений

7.2.1 Поворотное устройство с испытуемым объективом разворачивают на угол ω_1.

Примечание — Поворотное устройство с испытуемым объективом разворачивают на малые углы, близкие к параксиальным, для исключения влияния дисторсии и кривизны поля изображения на результат измерений.

7.2.2 Снимают отсчет по шкале угломерного устройства.

7.2.3 Анализирующий узел перемещают по поперечным направляющим до получения максимального сигнала на выходе приемника излучения или совмещения изображения коллиматорной диафрагмы с перекрестием микроскопа.

7.2.4 Снимают отсчет по шкале преобразователя линейных перемещений поперечных направляющих анализирующего узла и определяют значение перемещения изображения $y'_{\omega 1}$ коллиматорной диафрагмы при изменении угла поворота испытуемого объектива.

7.2.5 Поворотное устройство с объективом и анализирующим узлом разворачивают в противоположную сторону — на симметричный угол ω_2.

7.2.6 Анализирующий узел перемещают по поперечным направляющим в противоположную сторону до получения максимального сигнала на выходе приемника излучения или совмещения изображения коллиматорной диафрагмы с перекрестием микроскопа.

7.2.7 Снимают отсчет по шкале преобразователя линейных перемещений поперечных направляющих анализирующего узла и определяют значение перемещения изображения $y'_{\omega 2}$ коллиматорной диафрагмы при изменении угла поворота испытуемого объектива.

7.2.8 Проводят измерения по 7.2.1—7.2.7 не менее трех раз и вычисляют среднее арифметическое результатов измерений.

7.3 Обработка результатов

Значение линейного поля в пространстве изображений $2y'_{\omega}$, мм, испытуемого объектива, в пределах которого проводят измерения, вычисляют по формуле

$$2y'_{\omega} = |y'_{\omega 2} - y'_{\omega 1}|, \tag{16}$$

где $y'_{\omega 2}$ — значение перемещений изображения коллиматорной диафрагмы при повороте испытуемого объектива на угол ω_2, мм;

$y'_{\omega 1}$ — значение перемещений изображения коллиматорной диафрагмы при повороте испытуемого объектива на угол ω_1, мм.

Угловое поле в пространстве предметов 2ω, градусы, испытуемого объектива, в пределах которого проводят измерения, вычисляют по формуле

$$2\omega = |\omega_2 - \omega_1|, \tag{17}$$

где ω_2 — угол поворота испытуемого объектива, требуемый для перемещения изображения коллиматорной диафрагмы на значение y'_2, градусы;

ω_1 — угол поворота испытуемого объектива, требуемый для перемещения изображения коллиматорной диафрагмы на значение y'_1, градусы.

Значение фокусного расстояния $f'_{и.о}$ испытуемого объектива вычисляют по формуле

$$f'_{и.о} = \frac{y'_{\omega}}{\operatorname{tg}\omega}, \tag{18}$$

где ω — половина углового поля испытуемого объектива в пространстве предметов, в пределах которого проводят измерения, градусы;

y'_{ω} — половина линейного поля испытуемого объектива в пространстве изображений, в пределах которого проводят измерения, мм.

Вычисляют среднеквадратическое отклонение измерений фокусного расстояния.

8 Автоколлимационный метод

8.1 Подготовка к измерениям

8.1.1 Включают аппаратуру не менее чем за 30 мин до начала испытаний.

8.1.2 Испытуемый объектив устанавливают в объективодержателе в обратном ходе лучей, входным зрачком к плоскому автоколлимационному зеркалу.

Примечание — Положение плоского автоколлимационного зеркала относительно объективодержателя допускается контролировать автоколлимационым теодолитом или автоколлиматором.

8.1.3 Выполняя перемещения автоколлимационного анализирующего узла по поперечным и продольным направляющим, следует добиться совмещения предметной точки объектива автоколлимационного анализирующего узла с автоколлимационным изображением предметной точки испытуемого объектива. Данное положение принимают за положение, соответствующее центру поля изображения испытуемого объектива.

8.1.4 Определяют отсчет углового положения поворотного устройства.

Примечания

1 При использовании интерферометра в качестве автоколлимационного анализирующего узла интерференционная картина на выходе интерферометра должна иметь вид полосы бесконечной ширины.

2 При использовании автоколлиматора с перефокусировкой или автоколлимационного микроскопа в качестве автоколлимационного анализирующего узла автоколлимационное изображение должно совпадать с перекрестием шкалы (сетки) автоколлиматора или микроскопа.

8.2 Проведение измерений

8.2.1 Поворотное устройство с автоколлимационным плоским зеркалом разворачивают на угол $\omega_{ак1}$.

8.2.2 Снимают отсчет по шкале угломерного устройства.

8.2.3 Автоколлимационный анализирующий узел перемещают по поперечным направляющим до получения полосы бесконечной ширины, совмещения автоколлимационного изображения с перекрестием автоколлиматора или автоколлимационного микроскопа либо получения максимального сигнала на выходе приемника излучения.

8.2.4 Снимают отсчет $y'_{ак1}$ по шкале преобразователя линейных перемещений поперечных направляющих автоколлимационного анализирующего узла.

8.2.5 Поворотное устройство с автоколлимационным плоским зеркалом разворачивают в противоположную сторону — на симметричный угол $\omega_{ак2}$.

8.2.6 Автоколлимационный анализирующий узел перемещают по поперечным направляющим в противоположную сторону до получения полосы бесконечной ширины, совмещения автоколлимационного изображения с перекрестием автоколлиматора или автоколлимационного микроскопа либо получения максимального сигнала на выходе приемника излучения.

8.2.7 Снимают отсчет $y'_{ак2}$ по шкале преобразователя линейных перемещений поперечных направляющих автоколлимационного анализирующего узла.

8.2.8 Проводят измерения по 8.2.1—8.2.7 не менее трех раз и вычисляют среднее арифметическое результатов измерений.

8.3 Обработка результатов

Значение линейного поля в пространстве изображений $2y'$ испытуемого объектива, в пределах которого проводят измерения, вычисляют по формуле

$$2y'_{ак} = |y'_{ак2} - y'_{ак1}|. \quad (19)$$

где $y'_{ак2}$ — значение перемещения автоколлимационного изображения при повороте плоского автоколлимационного зеркала на угол $\omega_{2ак}$, мм;

$y'_{ак1}$ — значение перемещений автоколлимационного изображения при повороте плоского автоколлимационного зеркала на угол $\omega_{1ак}$, мм.

Угловое поле в пространстве предметов $2\omega_{ак}$ испытуемого объектива, в пределах которого проводят измерения, вычисляют по формуле

$$2\omega_{ак} = |\omega_{ак2} - \omega_{ак1}|, \quad (20)$$

где $\omega_{ак2}$ — угол поворота плоского автоколлимационного зеркала, требуемый для перемещения автоколлимационного изображения на значение $y'_{ак2}$, градусы;

$\omega_{ак1}$ — угол поворота плоского автоколлимационного зеркала, требуемый для перемещения автоколлимационного изображения на значение $y'_{ак1}$, градусы.

Значение фокусного расстояния $f'_{и.о}$ испытуемого объектива вычисляют по формуле

$$f'_{и.о} = \frac{y'_{ак}}{\mathrm{tg}\omega_{ак}}, \quad (21)$$

где $\omega_{ак}$ — половина углового поля испытуемого объектива в пространстве предметов, в пределах которого проводят измерения, градусы;

$y'_{ак}$ — половина линейного поля испытуемого объектива в пространстве изображений, в пределах которого проводят измерения, мм.

Вычисляют среднеквадратическое отклонение измерений фокусного расстояния.

9 Оформление результатов измерений

9.1 Результаты измерений оформляют в виде протокола по форме, принятой на предприятии, проводившем измерения.

9.2 В протоколе указывают следующие сведения:

- полное и сокращенное наименование предприятия, проводившего измерения;
- дату проведения измерений;
- основание и цель проведения измерений;
- тип и номер основных средств измерений и вспомогательных устройств;
- данные об условиях проведения измерений (параметры окружающей среды или другие параметры, указанные в ТД);
- идентификационные данные образцов, характеристики которых подвергались измерениям;
- результаты измерений.

В конце протокола должны быть указаны должности, фамилии, инициалы, а также должны быть подписи всех сотрудников, проводивших измерения и обработку их результатов.

Приложение А
(справочное)

Методы расчета погрешности измерений фокусного расстояния

А.1 Фокусное расстояние, измеренное методом увеличения, вычисляют по формуле $f'_{и.о} = f'_{к.о} \cdot y'/y$. Дифференцируя формулу по частным производным, получают формулу (А.1) для расчета абсолютной погрешности измерений фокусного расстояния

$$\Delta f'_{и.о} = \sqrt{\left(\frac{df'_{и.о}}{df'_{к.о}} \cdot \Delta f'_{к.о}\right)^2 + \left(\frac{df'_{и.о}}{dy} \cdot \Delta y\right)^2 + \left(\frac{df'_{и.о}}{dy'} \cdot \Delta y'\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{y'}{y} \cdot \Delta f'_{к.о}\right)^2 + \left(\frac{f'_{к.о} \cdot y'}{y^2} \cdot \Delta y\right)^2 + \left(\frac{f'_{к.о}}{y} \cdot \Delta y'\right)^2}, \quad (А.1)$$

где $\Delta f'_{к.о}$ — погрешность измерений фокусного расстояния коллиматорного объектива;

y — значение перемещения коллиматорной диафрагмы или расстояние между штрихами двухщелевой диафрагмы или штриховой шкалы, мм;

Δy — погрешность измерений перемещения коллиматорной диафрагмы или расстояния между штрихами двухщелевой диафрагмы или штриховой шкалы, мм;

y' — значение перемещения изображения коллиматорной диафрагмы или расстояния между штрихами в изображении двухщелевой диафрагмы или штриховой шкалы, мм;

$\Delta y'$ — погрешность измерений перемещения изображения коллиматорной диафрагмы или расстояния между штрихами в изображении двухщелевой диафрагмы или штриховой шкалы, мм.

А.2 Фокусное расстояние, измеренное угломерным или автоколлимационным методом, вычисляют по формуле $f'_{и.о} = y'/\mathrm{tg}\omega$. Дифференцируя формулу по частным производным, получают формулу для расчета абсолютной погрешности измерения фокусного расстояния

$$\Delta f'_{и.о} = \sqrt{\left(\frac{df'_{и.о}}{d\omega} \cdot \Delta\omega\right)^2 + \left(\frac{df'_{и.о}}{dy'} \cdot \Delta y'\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{y'}{(\sin\omega)^2} \cdot \Delta\omega\right)^2 + \left(\frac{1}{\mathrm{tg}\omega} \cdot \Delta y'\right)}, \quad (А.2)$$

где ω — половина углового поля испытуемого объектива в пространстве предметов, в пределах которого проводят измерения, градусы;

$\Delta\omega$ — погрешность измерений угломерного устройства, рад;

y' — половина линейного поля испытуемого объектива в пространстве изображений, в пределах которого проводят измерения, мм;

$\Delta y'$ — погрешность измерений преобразователя линейных перемещений.

А.3 Относительную погрешность измерений фокусного расстояния ε вычисляют по формуле

$$\varepsilon = \frac{\Delta f'_{и.о}}{f'_{и.о}} \cdot 100\ \%\ . \quad (А.3)$$

УДК 681.7.067.2:006.354 ОКС 37.040

Ключевые слова: оптика и фотоника, объективы, объективы для оптико-электронных систем, фокусное расстояние, методы измерений

Редактор *З.А. Лиманская*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *М.И. Першина*
Компьютерная верстка *М.В. Малеевой*

Сдано в набор 14.07.2022. Подписано в печать 28.07.2022. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 2,32. Уч.-изд. л. 2,10.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «РСТ»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru