ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 72183— 2025

Оптика и фотоника

ОБЪЕКТИВЫ ДЛЯ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

Метод измерения числовой апертуры

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2025

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Обществом с ограниченной ответственностью «Лазеры и оптические системы» (ООО «ЛОС»)

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 4 июля 2025 г. № 685-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*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 «Институт стандартизации», 2025

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

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Оптика и фотоника

ОБЪЕКТИВЫ ДЛЯ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

Метод измерения числовой апертуры

Optics and photonics. Lenses for optical electronic systems.
Method for measuring numerical aperture

Дата введения — 2026—01—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на объективы для оптико-электронных систем:

- работающие из бесконечности (предмет в бесконечности, изображение на конечном расстоянии);
- проекционные и микрообъективы (предмет и 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 метод измерения числовой апертуры в ультрафиолетовой (от 0,25 до 0,38 мкм), видимой (от 0,38 до 0,78 мкм) и инфракрасной (от 0,78 до 15,00 мкм) областях спектра.

Примечание — Точных границ излучения видимой области спектра не существует, так как они зависят от значения энергетического потока, достигающего сетчатки глаза, и от 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 излучения приняты равными 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 (ISO/TR 14999-2:2005) Государственная система обеспечения единства измерений. Оптика и фотоника. Интерференционные измерения оптических элементов и систем. Часть 2. Измерения и методика оценки результатов

ГОСТ Р 70038 Оптика и фотоника. Объективы для оптико-электронных систем. Методы измерений фокусного расстояния

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

Издание официальное

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 указателю «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 и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ 7427 и ГОСТ Р 70039, а также следующий термин с соответствующим определением:

3.1 **числовая апертура в пространстве изображений (предметов), *A′ (A)*:** Произведение показателя преломления среды на синус апертурного угла в пространстве изображений (предметов).

Примечания

1 Числовую апертуру в пространстве изображений A' вычисляют по формуле

$$A' = n' \cdot \sin(u'), \quad (1)$$

где n' — показатель преломления среды в пространстве изображений;

u' — апертурный угол в пространстве изображений, °.

2 Если среда пространства изображений — воздух, то $n' = 1$ и числовую апертуру в пространстве изображений A' вычисляют по формуле

$$A' = \sin(u'). \quad (2)$$

3 Если среда пространства предметов — воздух, то показатель преломления среды в пространстве предметов $n = 1$ и числовую апертуру в пространстве предметов A вычисляют по формуле

$$A = \sin(u), \quad (3)$$

где u — апертурный угол в пространстве предметов, °.

4 Числовую апертуру объективов A', рассчитанных для бесконечности и удовлетворяющих условию синусов, вычисляют по формуле

$$A' = \sin(u') = \frac{D_{и.о}}{2f'_{и.о}}, \quad (4)$$

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

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

4 Общие положения

4.1 Метод измерения

4.1.1 Метод измерения числовой апертуры объективов основан на измерении ширины пятна рассеяния в расфокусированном изображении тест-объекта и величины дефокусировки.

4.1.2 Относительная погрешность измерения числовой апертуры определяется применяемыми средствами измерений и не должна быть более 2 %, если иного не установлено в технической документации (ТД) на испытуемый объектив и установку. Методы расчета погрешности измерений приведены в приложении А.

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

4.3 Перед началом измерений объективы должны быть выдержаны в указанных условиях не менее 2 ч или в течение времени, достаточного для достижения ими температуры окружающего воздуха по всему объему, если условия хранения и транспортирования объективов от них отличались.

4.4 Измерения числовой апертуры объектива проводят в спектральной области, указанной в ТД на испытуемый объектив. При проведении измерений следует использовать соответствующие источники и приемники излучения, а также оптические элементы измерительной установки (в том числе светофильтры) с соответствующими спектральными характеристиками.

4.5 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.

4.6 Средства измерений должны быть поверены или откалиброваны.

4.7 Эталоны единиц величин должны быть аттестованы.

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

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

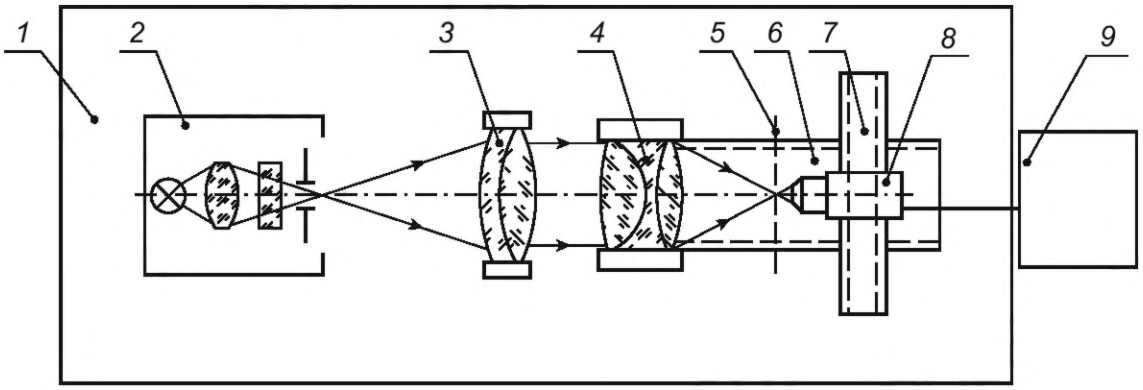
4.10 Средства контроля и индикаторы, являющиеся техническими средствами, должны быть проверены на соответствие эксплуатационной документации.

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

4.12 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 числовой апертуры объективов, работающих из бесконечности, проводят на установке, принципиальная схема которой приведена на рисунке 1.

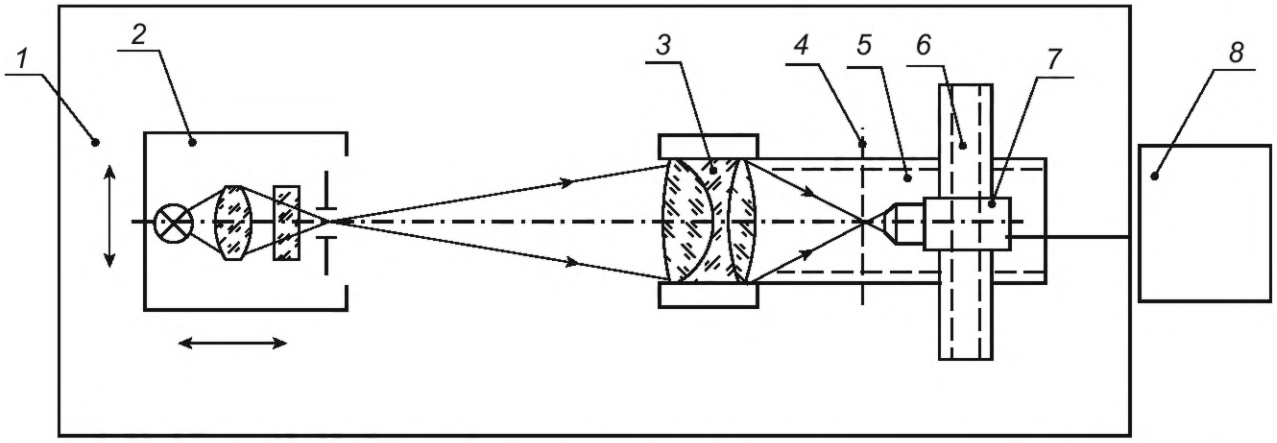


1 — единое амортизационное основание; *2* — фокальный узел, в состав которого входят источник излучения, конденсор, светофильтр, тест-объект (коллиматорная диафрагма, сетка, шкала, мира); *3* — коллиматорный объектив; *4* — объективодержатель с испытуемым объективом; *5* — плоскость изображения испытуемого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

Рисунок 1 — Принципиальная схема установки для измерения числовой апертуры объективов, работающих из бесконечности

Измерение числовой апертуры объективов, работающих с конечного расстояния, проводят на установке, принципиальная схема которой приведена на рисунке 2.

Примечание — Допускается измерение коллиматорных объективов и микрообъективов, скорректированных на длину тубуса «бесконечность», в обратном ходе лучей.



1 — единое амортизационное основание; *2* — предметный узел, в состав которого входят источник излучения, конденсор, светофильтр, тест-объект (предметная диафрагма, сетка, шкала, мира); *3* — объективодержатель с испытуемым объективом; *4* — плоскость изображения испытуемого объектива; *5* — станина с продольными направляющими; *6* — трехкоординатное устройство; *7* — анализирующий узел; *8* — регистрирующая аппаратура

Рисунок 2 — Принципиальная схема установки для измерения числовой апертуры объективов, работающих с конечного расстояния

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.

5.3 В качестве источников излучения используют лампу накаливания, галогенную лампу, лазерный или светодиодный источник для видимой области спектра; ксеноновую лампу, лазерный или светодиодный источник — для ультрафиолетовой области спектра; излучатель из карбида кремния (глобар), керамический излучатель, абсолютно черное тело (источник излучения в виде модели черного тела), лазерный или светодиодный источник излучения — для инфракрасной области 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 (для объективов работающих из бесконечности) или испытуемого объектива (для объективов работающих с конечного расстояния) не менее чем в 1,2 раза.

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

$$f'_{конд} = \frac{d_{п.л} \cdot f'_{к.о}}{1{,}2D_{и.о}}, \quad (5)$$

где $d_{п.л}$ — 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 рабочей области спектра испытуемого объектива.

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

$$\Delta f_{к.о} \le \frac{4\lambda \cdot f'^2_{к.о}}{D^2_{к.о}}, \quad (6)$$

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 щелевой или точечной диафрагмы вычисляют по формуле

$$b_1 = d_1 \le 0{,}5 \cdot a' \cdot \frac{f'_{к.о}}{f'_{и.о}}, \quad (7)$$

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 a', вычисляемый по формулам:

- для объективов, работающих из бесконечности

$$a' = \frac{2{,}44\lambda}{D_{и.о}/f'_{и.о}}; \quad (8)$$

- для объективов, работающих с конечного расстояния

$$a' = \frac{1{,}22\lambda}{\sin u'}, \quad (9)$$

где λ — рабочая длина волны испытуемого объектива, мкм;

u' — апертурный угол испытуемого объектива в пространстве изображений, °.

5.7 Предметная диафрагма должна быть установлена в передний рабочий отрезок для рабочей области спектра испытуемого объектива с абсолютной погрешностью не более ±0,01 мм, если иное не указано в ТД на испытуемый объектив.

5.8 Ширину $b_п$ или диаметр $d_п$ предметной щелевой или точечной диафрагмы вычисляют по формуле

$$b_п = d_п \le 0{,}5 \cdot a' \cdot \beta_{и.о}, \quad (10)$$

где $\beta_{и.о}$ — линейное (поперечное) увеличение испытуемого объектива, крат.

Примечание — Проекционные объективы, работающие с увеличением, целесообразно измерять в обратном ходе лучей для обеспечения малоразмерности изображения тест-объекта.

5.9 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 ГОСТ Р 70038 с относительной погрешностью не более 0,2 % либо не более значения, установленного в ТД на коллиматорный объектив.

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

5.11 Средняя квадратическая 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 средней квадратической деформацией волнового фронта, если она незначительно влияет на суммарную погрешность определения требуемой характеристики, установленной в ТД на испытуемый объектив.

5.12 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.

5.13 Станина с продольными направляющими должна иметь раздельные подвижки вдоль оптической оси, обеспечивать возможность установки и независимого перемещения объективодержателя и двух- или трехкоординатного устройства с анализирующим узлом вдоль оптической оси испытуемого объектива, а также закрепления их в заданном положении.

5.14 Допуск перпендикулярности опорного торца объективодержателя к оптической оси коллиматорного объектива должен составлять 1′.

5.15 Двух- или трехкоординатные устройства, предназначенные для перемещения предметного узла и анализирующего узла в двух (или трех) взаимно перпендикулярных направлениях, должны обеспечивать перемещение вдоль и поперек оптической оси с регистрацией линейных перемещений с абсолютной погрешностью не более ±0,01 мм.

5.16 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 установки.

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

- для объективов, работающих из бесконечности

$$\alpha \le \frac{\lambda \cdot f'_{и.о}}{D^2_{и.о} \cdot \operatorname{tg}\omega}; \tag{11}$$

- для объективов, работающих с конечного расстояния

$$\alpha \le \frac{\Delta Z_д}{y' \cdot \beta_{и.о}}, \tag{12}$$

где ω — половина углового поля испытуемого объектива в пространстве предметов, °;

$\Delta Z_д$ — дифракционная глубина резкости испытуемого объектива, мм;

y' — половина линейного поля в пространстве изображений, в пределах которого проводят измерения, мм.

Примечание — Для перевода значений угла α из радианов в минуты, результаты расчета умножают на коэффициент (60 · 180°/π).

Дифракционную глубину резкости испытуемого объектива вычисляют по формуле

$$\Delta Z_д = \frac{\lambda}{2 \cdot (\sin u')^2}. \tag{13}$$

5.17 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.

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

В качестве матричных приемников излучения используют ПЗС- и КМОП-матрицы, микроболометрические матрицы на основе сплава HgCdTe.

Матричный приемник излучения должен иметь разрядность аналого-цифрового преобразователя не менее 12 бит. Размер пикселя должен удовлетворять требованиям 5.21.

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

5.19 Ширину h, мм, и высоту w, мм, чувствительной площадки одноэлементного приемника излучения вычисляют по формулам:

$$h \ge 1{,}5[h'_k + 2m \cdot \operatorname{tg}(u')]; \tag{14}$$

$$w \ge 3m \cdot \operatorname{tg}(u' + \omega)], \tag{15}$$

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

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

u' — апертурный угол испытуемого объектива, °.

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

5.20 При необходимости использования приемника излучения с размерами чувствительной площадки менее вычисляемых по формулам (14), (15) 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.

5.21 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 том числе хроматические) в рабочей области спектра;
- увеличение микрообъектива или 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 микрообъектива или проекционной системы $\beta_{м.о}$ вычисляют по формуле

$$\beta_{м.о} \geq \frac{a_п}{a'/20}, \tag{16}$$

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

a' — диаметр пятна рассеяния испытуемого объектива, мм.

5.22 Микроскоп должен иметь кратность увеличения не менее 100, а апертурный угол микрообъектива в пространстве предметов должен превышать апертурный угол испытуемого объектива в пространстве изображений не менее чем в 1,2 раза.

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

$$b_2 = d_2 \leq 0{,}2a'. \tag{17}$$

5.24 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 или предметном узле. Привод модулятора осуществляют синхронным электродвигателем. Частоту модуляции определяют в соответствии с паспортными данными приемника излучения.

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

5.26 Фильтр, выделяющий рабочую область спектра, допускается устанавливать как перед коллиматорной или предметной диафрагмой, так и между измерительной диафрагмой и приемником излучения. При работе с лазерным источником излучения фильтр не используют. При работе с лампой накаливания или галогенной лампой в фокальном или предметном узле устанавливают матовое стекло.

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

5.28 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 штангенглубиномеры, нутромеры, преобразователи линейных перемещений, индикаторы, преобразователи угловых перемещений, теодолиты, мультиметры, селективные вольтметры, осциллографы, источники излучения в виде модели черного тела.

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

5.30 Плоскость наилучшего изображения (плоскость наилучшей установки) выбирают с учетом характеристик качества (коэффициент передачи модуляции, коэффициент концентрации энергии, минимальное значение функции рассеяния линии или точки, максимальное значение сигнала на выходе приемника излучения, резкое изображение тест-объекта), предъявляемых к испытуемому объективу, и указывают в ТД на испытуемый объектив.

6 Подготовка к измерениям

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

6.2 Щелевую или точечную диафрагму устанавливают в фокальном узле коллиматорного объектива или предметном узле измерительной установки.

6.3 Испытуемый объектив устанавливают в объективодержателе таким образом, чтобы параллельный пучок лучей, вышедший из коллиматорного объектива или расходящийся пучок, вышедший из предметного узла, заполнял его входной зрачок.

6.4 При наличии у испытуемого объектива апертурной диафрагмы переменного диаметра устанавливают значение апертурной диафрагмы, заданное в ТД.

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

Относительная 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.

6.6 Проводят установку параллельности коллиматорной (или предметной) и измерительной диафрагм в случае использования щелевой диафрагмы. Этого достигают поворотом одной из диафрагм в плоскости, перпендикулярной к оптической оси, до получения максимального сигнала на выходе приемника излучения.

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

7 Проведение измерений

7.1 Выставляют анализирующий узел в плоскость наилучшего изображения (плоскость наилучшей установки) в центре поля объектива в пространстве изображений, снимают отсчет l_1 по шкале преобразователя линейных перемещений.

7.2 Перемещают анализирующий узел вдоль оптической оси испытуемого объектива на расстояние, определяемое ТД, и снимают отсчет l_2 по шкале преобразователя линейных перемещений.

Примечания

1 При использовании микроскопа величину смещения анализирующего узла выбирают из условия получения пятна рассеяния шириной d не менее 5 мм, если иное не указано в ТД на испытуемый объектив.

2 При использовании матричного или одноэлементного приемника излучения величину смещения анализирующего узла выбирают из условия получения сигнала на выходе приемника излучения не менее 0,01 U_{max}, где U_{max} — максимальное значение сигнала на выходе приемника излучения в плоскости наилучшего изображения испытуемого объектива, если иное не указано в ТД на испытуемый объектив.

3 Величина смещения анализирующего узла l должна удовлетворять условию $l > 50\delta S'$, где $\delta S'$ — величина продольной сферической аберрации испытуемого объектива.

7.3 Измерения по 7.1 и 7.2 проводят не менее трех раз и вычисляют среднее арифметическое значение результатов измерений.

7.4 Последовательно перемещают анализирующий узел поперек оптической оси и снимают отсчеты a_1 и a_2, соответствующие краям расфокусированного пятна рассеяния испытуемого объектива.

Примечания

1 При использовании микроскопа последовательно совмещают сетку микроскопа с краями расфокусированного пятна рассеяния.

2 При использовании одноэлементного или матричного приемника за края расфокусированного пятна принимают такое положение анализирующего узла, когда сигнал на выходе приемника излучения становится 0,01 U_{max}, если иное не указано в ТД на испытуемый объектив.

7.5 Измерения по 7.4 проводят не менее трех раз и вычисляют среднее арифметическое значение результатов измерений.

8 Обработка результатов

8.1 Значение перемещения анализирующего узла l, соответствующего дефокусировке испытуемого объектива, вычисляют по формуле

$$l = |l_1 - l_2|. \quad (18)$$

8.2 Ширину пятна рассеяния d при расфокусировке испытуемого объектива вычисляют по формуле

$$d = |a_1 - a_2|. \quad (19)$$

8.3 Числовую апертуру испытуемого объектива вычисляют по формуле

$$A' = \sin(u') = \sin(\text{arctg}(d/2l)). \quad (20)$$

Вычисления проводят до второго знака после запятой. Вычисляют среднее квадратическое отклонение значений числовой апертуры испытуемого объектива.

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)

Метод расчета погрешности измерений числовой апертуры

А.1 Абсолютную погрешность измерения числовой апертуры $\Delta A'$ вычисляют, дифференцируя формулу (20) по частным производным

$$\Delta A' = \sqrt{\left(\frac{dA'}{dd}\cdot\Delta d\right)^2 + \left(\frac{dA'}{dl}\cdot\Delta l\right)^2}, \quad (A.1)$$

где Δd — абсолютная погрешность измерения пятна рассеяния при расфокусировке испытуемого объектива, мм;

Δl — абсолютная погрешность измерения перемещения анализирующего узла, соответствующего дефокусировке испытуемого объектива, мм.

А.2 Абсолютная погрешность измерений пятна рассеяния при расфокусировке испытуемого объектива Δd не должна превышать 0,05 мм.

А.3 Абсолютная погрешность измерения перемещения анализирующего узла Δl, соответствующего дефокусировке испытуемого объектива, определяется глубиной резкости испытуемого объектива и не должна превышать величины 0,03 мм для объективов с исправленной сферической аберрацией.

А.4 Относительную погрешность измерений числовой апертуры $\varepsilon_{A'}$ вычисляют по формуле

$$\varepsilon_{A'} = \frac{\Delta A'}{A'}\cdot 100\ \%. \quad (A.2)$$

УДК 681.7.067.2:006.354 ОКС 17.180.01

Ключевые слова: оптика и фотоника, объективы для оптико-электронных систем, метод измерения числовой апертуры

Редактор *Н.А. Аргунова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *И.А. Королева*
Компьютерная верстка *И.А. Налейкиной*

Сдано в набор 07.07.2025. Подписано в печать 21.07.2025. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 1,40. Уч.-изд. л. 1,26.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.

gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru