ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 72066— 2025

Оптика и фотоника

ФИЛЬТРЫ ОПТИЧЕСКИЕ ОБЪЕМНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ

Классификация. Основные положения

(ISO 23364:2021, NEQ)

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 17 июля 2025 г. № 770-ст

4 Настоящий стандарт разработан с учетом основных нормативных положений международного стандарта ИСО 23364:2021 «Оптика и фотоника. Оптические фильтры объемного поглощения» (ISO 23364:2021 «Optics and photonics — Bulk absorption optical filters», NEQ)

5 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

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 2
3 Термины и определения 2
4 Классификация 6
5 Общие положения 6
6 Общие правила описания спектральных характеристик 7
7 Частные правила описания спектральных характеристик 10
Приложение А (справочное) Графическое представление спектральной характеристики с использованием шкалы, нормированной по логарифму 14
Приложение Б (справочное) Фотопический коэффициент пропускания 15
Приложение В (справочное) Рекомендации по выбору толщины образцов фильтров для измерений с низким коэффициентом пропускания 16

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Оптика и фотоника

ФИЛЬТРЫ ОПТИЧЕСКИЕ ОБЪЕМНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ

Классификация. Основные положения

Optics and photonics. Optical bulk absorption filters. Classification. Basic principles

Дата введения — 2026—01—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на оптические фильтры объемного поглощения, включая материалы, используемые для производства оптических фильтров объемного поглощения.

Настоящий стандарт устанавливает классификацию оптических фильтров объемного поглощения, общие требования к оптическим фильтрам объемного поглощения и методам измерения основных оптических характеристик, а также правила численного и графического описания спектральных характеристик оптических фильтров объемного поглощения.

Настоящий стандарт не распространяется на оптические фильтры объемного поглощения, используемые в офтальмологической оптике.

Примечание — За исключением тех случаев, когда в описании оптического фильтра объемного поглощения, используемого в офтальмологической оптике, дана прямая ссылка на настоящий стандарт (например, фильтрующие свойства определены согласно настоящему стандарту).

Настоящий стандарт не распространяется на оптические фильтры объемного поглощения, фильтрующие свойства которых достигаются за счет применения оптических покрытий или комбинации свойств оптического покрытия и материала оптического компонента.

Настоящий стандарт не распространяется и не описывает колориметрические параметры фильтров объемного поглощения.

Примечания

1 Колориметрические параметры оптических фильтров объемного поглощения определяют в соответствии ГОСТ 23198 и ГОСТ 7721.

2 Настоящий стандарт не описывает и не учитывает при описании параметров оптических фильтров объемного поглощения эффекты, возникающие при высокой плотности мощности излучения.

3 Требования к оптическим фильтрам объемного поглощения, фильтрующие свойства которых достигаются за счет применения оптических покрытий или комбинации свойств оптического покрытия и материала, устанавливают в соответствии с ГОСТ Р ИСО 9211-2, ГОСТ Р 59608.3 и ГОСТ Р ИСО 9211-4.

4 Настоящий стандарт не содержит указаний по описанию физико-химических свойств материала (состав, чистота, однородность и т. д.) и требований к методам производства фильтров.

В настоящем стандарте не рассматриваются эффекты, вызванные рассеянием и поляризацией оптического излучения.

Примечание — Рассеяние оптического излучения может оказывать дополнительное влияние на оптические свойства оптических фильтров объемного поглощения.

Издание официальное

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 7721 Источники света для измерений цвета. Типы. Технические требования. Маркировка

ГОСТ 23198 Источники света электрические. Методы измерений спектральных и цветовых характеристик

ГОСТ Р 59608.3 (ИСО 9211-3:2008) Оптика и фотоника. Покрытия оптические. Часть 3. Классификация по стойкости к воздействию внешних факторов и методы испытаний

ГОСТ Р ИСО 7944 Оптика и оптические приборы. Эталонные значения длин волн

ГОСТ Р ИСО 9211-1 Оптика и оптические приборы. Покрытия оптические. Часть 1. Термины и определения

ГОСТ Р ИСО 9211-2 Оптика и оптические приборы. Покрытия оптические. Часть 2. Оптические свойства

ГОСТ Р ИСО 9211-4 Оптика и оптические приборы. Покрытия оптические. Часть 4. Специальные методы испытаний

ГОСТ Р ИСО 24502 Эргономическое проектирование. Требования к яркости и контрастности цветных источников света для людей различных возрастных категорий

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 Р ИСО 9211-1, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **оптическая поверхность оптического фильтра объемного поглощения;** оптическая поверхность (optical surface of optical bulk absorption filter): Поверхность оптического фильтра объемного поглощения, через которую излучение входит или выходит из оптического фильтра объемного поглощения.

3.2

угол падения ε: Угол между лучом, падающим на преломляющую или отражающую поверхность, и нормалью к поверхности в точке падения.

Примечание — Углы по пп. 35 и 36 отсчитывают от нормали.

[ГОСТ 7427—76, статья 35]

3.3 **толщина оптического фильтра объемного поглощения *d*** (thickness of optical bulk absorption filter *d*): Геометрическая длина пути, который проходит излучение через оптический фильтр объемного поглощения при нормальном падении на оптическую поверхность фильтра.

Примечание — В случае ненормального падения света на оптическую поверхность толщина фильтра не равна геометрической длине пути света.

3.4 **спектральный объемный (внутренний) коэффициент пропускания $\tau_i(\lambda)$** [spectral internal transmittance $\tau_i(\lambda)$]: Величина определяемая отношением потока монохроматического излучения, достигшего выходной поверхности оптического фильтра объемного поглощения $\Phi_{e\lambda,4}$, к потоку монохроматического, излучения, прошедшему через входную поверхность оптического фильтра объемного поглощения $\Phi_{e\lambda,3}$.

Примечания

1 Спектральный коэффициент пропускания $\tau(\lambda)$ вычисляют по формуле

$$\tau(\lambda) = \frac{\Phi_{e\lambda,2}}{\Phi_{e\lambda,1}}, \quad (1)$$

где $\Phi_{e\lambda,2}$ — монохроматический поток излучения, который вышел из оптического фильтра объемного поглощения;

$\Phi_{e\lambda,1}$ — падающий на оптический фильтр объемного поглощения монохроматический поток излучения.

2 Спектральный коэффициент пропускания $\tau(\lambda)$ зависит не только от свойств материала фильтра, но и от состояния оптических поверхностей.

3 Средний для диапазона длин волн спектральный коэффициент пропускания $\tau_{ср}$ может быть представлен как среднее значение в диапазоне длин волн от λ_1 до λ_2 следующим образом:

$$\tau_{ср} = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \tau(\lambda) d\lambda}{\lambda_2 - \lambda_1} = \frac{\sum_{i=1}^{m} \tau(\lambda_i)\Delta\lambda}{\lambda_2 - \lambda_1} = \frac{\sum_{i=1}^{m} \tau(\lambda_i)}{m}, \quad (2)$$

где $\Delta\lambda = (\lambda_2 - \lambda_1)/m$.

4 Спектральный объемный (внутренний) коэффициент пропускания $\tau_i(\lambda)$ вычисляют по формуле

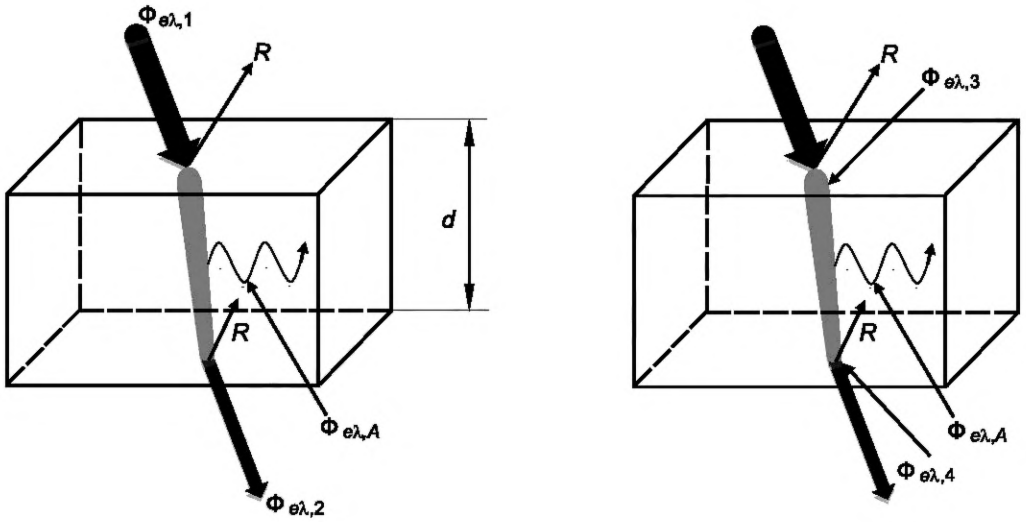
$$\tau_i(\lambda) = \frac{\Phi_{e\lambda,4}}{\Phi_{e\lambda,3}}, \quad (3)$$

где $\Phi_{e\lambda,4}$ — вошедший поток излучения;

$\Phi_{e\lambda,3}$ — дошедший до выходной грани поток излучения.

5 Различия между спектральным коэффициентом пропускания $\tau(\lambda)$ и спектральным объемным (внутренним) коэффициентом пропускания $\tau_i(\lambda)$ показаны на рисунке 1.

Примечание — Для наглядности падающий по нормали к поверхности поток излучения показан отклоняющимся от нормали к поверхности.



R — отражение от поверхности; *d* — толщина оптического фильтра объемного поглощения

Рисунок 1

6 Спектральный объемный коэффициент пропускания используют при описании свойств материала.

7 Для абсорбционных оптических фильтров объемного поглощения с однородным поглощением внутри материала спектральный объемный (внутренний) коэффициент пропускания $\tau_i(\lambda)$ вычисляют по формуле

$$\tau_i(\lambda) = e^{-\alpha_l d}, \tag{4}$$

где α_l — коэффициент поглощения света;

d — толщина абсорбционного фильтра объемного поглощения.

8 Спектральный объемный (внутренний) коэффициент пропускания для различных толщин фильтра (при нормальном падении потока излучения) $\tau_{i,d_1}(\lambda)$ вычисляют по формуле

$$\tau_{i,d_1}(\lambda) = \left(\tau_{i,d_2}(\lambda)\right)^{\left(\frac{d_1}{d_2}\right)}, \tag{5}$$

где $\tau_{i,d_1}(\lambda)$ — спектральный объемный коэффициент пропускания, соответствующий толщине фильтра d_1;

$\tau_{i,d_2}(\lambda)$ — спектральный объемный коэффициент пропускания, соответствующий толщине фильтра d_2.

3.5 **длина волны среза (отсечки) спектрального объемного (внутреннего) коэффициента пропускания $\lambda_{i,0,5}$** (cut-off wavelength of the spectral internal transmittance $\lambda_{i,0,5}$): Длина волны излучения, при которой спектральный объемный коэффициент пропускания имеет значение $\tau_i(\lambda) = 0,5$.

3.6 **длина волны среза (отсечки) спектрального коэффициента пропускания $\lambda_{0,5}$** (cut-off wavelength of the spectral transmittance $\lambda_{0,5}$): Длина волны излучения, при который спектральный коэффициент пропускания имеет значение $\tau(\lambda) = 0,5$.

3.7 **спектральный относительный коэффициент отражения $P(\lambda)$** [spectral factor reflection $P(\lambda)$]: Отношение спектрального коэффициента пропускания $\tau(\lambda)$ к спектральному объемному (внутреннему) коэффициенту пропускания $\tau_i(\lambda)$.

Примечания

1 Спектральный относительный коэффициент отражения $P(\lambda)$ вычисляют по формуле

$$P(\lambda) = \frac{\tau(\lambda)}{\tau_i(\lambda)}. \tag{6}$$

2 Если не учитывают диффузное рассеяние, то при нормальном падении на оптический фильтр объемного поглощения спектральный относительный коэффициент отражения $P(\lambda)$ вычисляют по формуле

$$P(\lambda) = \frac{2n(\lambda)}{n^2(\lambda)+1}. \tag{7}$$

3 Поскольку спектральная зависимость слабовыраженная, то спектральный относительный коэффициент отражения $P(\lambda)$ считают постоянным.

4 Если не указано иное, то считают, что спектральный относительный коэффициент отражения $P(\lambda)$ указан для эталонной длины волны d-линии гелия 587,6 нм по ГОСТ Р ИСО 7944:

$$P = P_d = P_{(\lambda=586,7\text{нм})} = \frac{2n_d}{n_d^2+1}. \tag{8}$$

3.8 **коэффициент спектральной оптической плотности $D(\lambda)$** [spectral optical density $D(\lambda)$]: Величина, пропорциональная логарифму обратной функции спектрального коэффициента пропускания $\tau(\lambda)$.

Примечание — Коэффициент спектральной оптической плотности $D(\lambda)$ вычисляют по формуле

$$D(\lambda) = \lg\frac{1}{\tau(\lambda)}. \quad (9)$$

3.9 **спектральный коэффициент поглощения $E(\lambda)$** [spectral extinction $E(\lambda)$]: Величина, пропорциональная обратному логарифму спектрального объемного (внутреннего) коэффициента пропускания $\tau_i(\lambda)$.

Примечания

1 Спектральный коэффициент поглощения $E(\lambda)$ вычисляют по формуле

$$E(\lambda) = \lg\frac{1}{\tau_i(\lambda)} = \frac{\alpha_1 d}{\ln(10)}. \quad (10)$$

2 Спектральный коэффициент поглощения также обозначают $A(\lambda)$.

3.10 **спектральный логарифмический коэффициент пропускания $\theta(\lambda)$** [spectral diabatic transmittance $\theta(\lambda)$]: Спектральная характеристика объемного пропускания.

Примечания

1 Спектральный логарифмический коэффициент пропускания $\theta(\lambda)$ вычисляют по формуле

$$\theta(\lambda) = 1 - \lg\left(\lg\frac{1}{\tau_i(\lambda)}\right). \quad (11)$$

2 Пример представления спектрального объемного (внутреннего) коэффициента пропускания $\tau_i(\lambda)$ и спектрального логарифмического коэффициента пропускания $\theta(\lambda)$ приведен в приложении А.

3.11 **фотопический коэффициент пропускания τ_V** (luminous transmittance τ_V): Спектральный коэффициент пропускания с учетом относительной спектральной световой эффективности излучения для человеческого фотопического (дневного зрения) зрения.

Примечания

1 Фотопический коэффициент пропускания τ_V вычисляют по формуле

$$\tau_V = 100 \cdot \frac{\int_{380\text{нм}}^{780\text{нм}} \tau(\lambda)\cdot S_{D_{65}}(\lambda)\cdot V(\lambda)\cdot d(\lambda)}{\int_{380\text{нм}}^{780\text{нм}} S_{D_{65}}(\lambda)\cdot V(\lambda)\cdot d(\lambda)}, \quad (12)$$

где λ — длина волны видимого излучения, нм;

$\tau(\lambda)$ — спектральный коэффициент пропускания фильтра;

$V(\lambda)$ — относительная спектральная световая эффективность;

$S_{D65}(\lambda)$ — спектральное распределение излучения стандартного осветителя D_{65} согласно ГОСТ 7721.

2 При измерении фотопического коэффициента пропускания τ_V используют стандартные источники света, установленные в ГОСТ 7721 (например D_{65}), или иные источники света, при этом в нормативной документации на оптический фильтр объемного поглощения указывают, на какой длине волне измерен параметр.

3 Значение относительной спектральной световой эффективности $V(\lambda)$ — по ГОСТ Р ИСО 24502.

4 Значения произведения спектрального распределения излучения стандартного осветителя D_{65} $S_{D65}(\lambda)$ и относительной спектральной световой эффективности $V(\lambda)$ для различных значений длины волны приведены в приложении Б.

4 Классификация

Оптические фильтры объемного поглощения (далее — фильтры) по назначению (в зависимости от спектральной функции фильтра) подразделяют согласно таблице 1.

Таблица 1

Тип фильтра	Наименование на английском языке	Обозначение типа фильтра	Описание	Пример применения
Ослабляющий	Attenuation	ND	Уменьшает поток излучения на одинаковую величину вне зависимости от длины волны излучения	Нейтральный фильтр
Полосовой (пропускающий полосу или полосопропускающий)	Bandpass	BP	Имеет высокий коэффициент пропускания в определенной области спектра (полосе) и низкий коэффициент пропускания в соседних с ней областях спектра	Зеленый фильтр
Полосовой поглощающий (полосопоглощающий, или полосно-заграждающий, или отклоняющий полосу, или режекторный, или блокирующий полосу)	Band rejection	BR	Имеет высокий коэффициент поглощения в определенной области спектра и высокий коэффициент пропускания в соседних с ней областях спектра	Режекторный фильтр
Длинноволново-пропускающий	Longpass	LP	Имеет высокий коэффициент пропускания в области длинных волн и низкий коэффициент пропускания в области коротких длин волн	Фильтр с ультрафиолетовым срезом (ультрафиолетовый фильтр)
Коротковолново-пропускающий	Shortpass	SP	Имеет высокий коэффициент пропускания в области коротких длин волн и низкий коэффициент пропускания в области длинных волн	Фильтр с инфракрасным срезом (инфракрасный фильтр)
Примечание — Для обозначения режекторного фильтра также используют наименовании НОТЧ-фильтр, или «Notch-фильтр».				

5 Общие положения

5.1 Оптические свойства фильтра описывают спектральной функцией. Спектральная функция описывает зависимость спектральной характеристики фильтра от длины волны оптического излучения, отнесенной к оптической длине пути в фильтре (при нормальном падении).

Примечания

1 Для указания спектральной зависимости оптического параметра после параметра в скобках приводят символ длины волны λ.

2 Для обозначения длины волны λ также используют волновое число σ или энергию фотона $h\nu$, где h — постоянная Планка, а ν — частота.

3 Если не указано иное, то считается, что единицами измерения длины волны λ являются нанометры, нм, или микрометры, мкм, волнового числа σ — обратные сантиметры, $см^{-1}$, энергии фотона $h\nu$ — электронвольты, эВ.

5.2 Правила описания спектральных характеристик, устанавливаемых настоящим стандартом, рекомендуется использовать, если иные требования к правилам описания спектральных характеристик фильтров не установлены.

5.3 Для устранения влияния шероховатости поверхности рабочие поверхности фильтра полируют или фильтр погружают в иммерсионную жидкость.

5.4 Поскольку спектральные характеристики фильтров зависят от толщины фильтра d, то при описании спектральных характеристик указывают толщину фильтра, при которой была определена характеристика, или приводят зависимость от толщины, при этом для разных спектральных характеристик может быть установлена разная толщина или зависимость от толщины.

Примечание — Для измерения параметров фильтров с низким коэффициентом пропускания используют образцы для измерений.

5.5 Если в нормативной документации на фильтр не установлены параметры образца для измерений (материал, состояние поверхности, количество в партии и др.), то изготовитель определяет их самостоятельно.

Рекомендации по выбору толщины образцов для измерений приведены в приложении В.

5.6 При описании толщины готового фильтра указывают допуск на толщину. При описании материала допуск на толщину не указывают, а сами параметры описывают в виде зависимости от толщины.

5.7 Если в нормативной документации на фильтр не указан угол падения, то угол падения равен 0°, т. е. падающие лучи перпендикулярны к оптической поверхности фильтра.

Примечание — В настоящем стандарте параметры и характеристики фильтра приведены для случая нормального падения излучения на оптическую поверхность фильтра.

5.8 Если требования к условиям, при которых должны быть проведены измерения спектральных характеристик фильтров, не регламентированы и не установлены, то изготовитель устанавливает их самостоятельно.

Требования к методу и условиям измерения, к средствам измерения и аппаратуре, к характеристикам используемого источника излучения, к условиям падения излучения на фильтр, к образцам для измерений и т. д. устанавливают в нормативной документации на фильтр конкретного типа.

Полнота описания условия измерения, включая используемое оборудование, должна быть достаточной для их повторения.

6 Общие правила описания спектральных характеристик

6.1 Правила численного описания спектральных характеристик τ_i, τ, τ_V, A, E, D, θ

Общую структуру числового представления спектральной характеристики описывают выражением типа:

минимальное значение < характеристика < максимальное значение.

Примечание — В зависимости от граничных условий вместо знака «<» может быть использован знак «≤».

Если спектральная характеристика имеет ограничение только с одной стороны, то неравенство содержит только два члена.

Каждую спектральную характеристику указывают для определенной длины волны или диапазона длин волн.

При необходимости одна спектральная характеристика может быть указана для разных длин волн или разных диапазонов длин волн.

Разные спектральные характеристики могут быть указаны для разных длин волн или разных диапазонов длин волн.

Для каждой спектральной характеристики указывают толщину фильтра или зависимость от толщины.

В выражение числового описания спектральной характеристики может быть включена информация об изменчивости значений (минимального, максимального или самой характеристики). Для описания линейного изменения используют символ стрелочки «→».

Пример — Для описания линейного изменения минимального значения для спектральной характеристики Z в пределах от $Z_{L,n}$ до $Z_{L,n+1}$ в спектральном диапазоне от λ_n до λ_{n+1}, где λ_y соответствует минимальному значению $Z_{L,n}$, а $\lambda_{n+1} - Z_{L,n+1}$ используют выражение

$$Z_{L,n}(\lambda_n) \rightarrow Z_{L,n+1}(\lambda_{n+1}) < Z.$$

Основные элементы, необходимые для численного описания спектральных характеристик фильтров, приведены в таблице 2.

Таблица 2 — Элементы численного описания спектральных характеристик

Минимальное значение (подстрочный индекс *L*)	Граничное условие	Спектральная характеристика (значение (спектральный диапазон, толщина образца))	Граничное условие	Максимальное значение (подстрочный индекс *U*)
$Z_{L,n}$	< или ≤	Z(от λ_n до λ_{n+1}, d) или $Z(\lambda_n, d)$	< или ≤	$Z_{U,n}$
$Z_{L,n} \rightarrow Z_{L,n+1}$ (λ_n, λ_{n+1})		Z(от λ_n до λ_{n+1}, d) или Z (λ_n, d)		$Z_{U,n} \rightarrow Z_{U,n+1}$ (λ_n, λ_{n+1})
$Z_{(ср,L)}$(от λ_n до λ_{n+1})		$Z_{ср}$(от λ_n до λ_{n+1}, d)		$Z_{ср,U}$(от λ_n до λ_{n+1})
Примечания 1 Подстрочный индекс n выражает порядковый номер того или иного значения, нумерация для каждого параметра (минимального значения, спектральной характеристики, максимального значения и длины волны излучения) — собственная. 2 n = 1, 2 …				

6.2 Правила численного описания длины волны среза (отсечки) и длины волны пика пропускания

Длину волны среза (отсечки) объемного пропускания $\lambda_{i,0,5}$ и длину волны пика объемного пропускания $\lambda\tau_{i,max}$ записывают с указанием допусков $\Delta\lambda_1$ и $\Delta\lambda_2$:

$$\lambda_{i,0,5}(d) = \lambda^{+\Delta\lambda_1}_{-\Delta\lambda_2}; \quad (13)$$

$$\lambda_{\tau_i,max}(d) = \lambda^{+\Delta\lambda_1}_{-\Delta\lambda_2}. \quad (14)$$

Если $\Delta\lambda_1 = \Delta\lambda_2 = \Delta\lambda$, то численное описание принимает вид:

$$\lambda_{i,0,5}(d) = (\lambda \pm \Delta\lambda); \quad (15)$$

$$\lambda\tau_{i,max}(d) = (\lambda \pm \Delta\lambda). \quad (16)$$

Пример – $\lambda_{i,0,5}$ (3 мм) = $570^{+6\,нм}_{-9\,нм}$ нм.

Для указания нескольких длин волн среза (отсечки) спектрального объемного (внутреннего) коэффициента пропускания используют апострофы.

Пример — Численное описание нескольких длин волн среза (отсечки) спектрального объемного (внутреннего) коэффициента пропускания:

$\lambda''_{i,0,5}$ = ***(570 ± 6) нм;***

$\lambda''_{i,0,5}$ = ***(1200 ± 8) нм;***

$\lambda'''_{i,0,5}$ = ***(2800 ± 26) нм.***

Примеры численного описания спектральных характеристик различных типов фильтров приведены в таблице 3.

Таблица 3

Тип фильтра	Числовое описание спектральных характеристик
ND	$0,3 < \tau_i$ (от 400 до 700 нм, 1 мм) $< 0,4$
ND	$0,2 < \tau_{ср}$ (от 400 до 700 нм, 1 мм) $< 0,35$
BP	τ_i (от 200 до 3500 нм, d = 0,8 мм) $< 0,2$; τ_i (от 405 до 505 нм, d = 0,8 мм) $> 0,85$; $\lambda_{i,0,5}$ = (650 ± 8) нм; τ_i (от 700 до 1100 нм) $< 0,5$
LP	τ_i (от 405 до 550 нм) $< 1 \cdot 10^{-5}$; $\lambda_{i,0,5}$(3 мм) = (590 ± 6) нм; τ_i (от 660 до 1100 нм) $> 0,92$
SP	τ_i (от 405 до 550 нм) $> 0,92$; $\lambda_{i,0,5}$(2 мм) = (585 ± 8) нм; τ_i (от 700 до 1100 нм) $< 0,01$

6.3 Правила графического описания спектральных характеристик

Графическое описание спектральных характеристик используют для наглядного изображения спектральных характеристик фильтров. На одном рисунке может быть приведено несколько спектральных характеристик.

Примечание — Графики, представленные в настоящем стандарте, приведены в качестве примеров и не являются типовыми или стандартизованными графическими представлениями спектральных характеристик.

В общем случае графическое представление спектральной характеристики представляет собой точечный двухкоординатный график, состоящий:

- из оси абсцисс (ось *X*), которая является осью длины волны (волнового числа или энергии фотона) и аргументом функции спектральной характеристики;
- оси ординат (ось *Y*), которая является осью функции спектральной характеристики;
- указания толщины фильтра (или функции, выражающей зависимость от толщины) для приведенной на графике спектральной характеристики.

Максимальные и/или минимальные значения спектральной характеристики (обозначающиеся подстрочными символами *U* и *L*) обозначают на графике заштрихованной областью.

Альтернативным вариантом обозначения является маркировка вертикальными треугольниками (▼— минимальное значение и ▲ — максимальное значение) на обоих краях соответствующей полосы спектральной характеристики. Этот способ маркировки используют для обозначения пределов для разных длин волн.

Средние значения спектральной характеристики указывают на графике в виде текста.

Ограничения длин волн среза (отсечки) обозначают горизонтальными треугольниками (▶ — для минимального значения и ◀ — для максимального значения), приводя их на графике на высоте половины пропускания или половины объемного пропускания.

Спектральные характеристики фильтра в разных спектральных диапазонах могут быть приведены на одном графике. Допускается использование разных масштабов для разных спектральных диапазонов, при этом на графике указывают информацию об использовании разных масштабов.

7 Частные правила описания спектральных характеристик

7.1 Описание спектральной характеристики ослабляющего фильтра *ND*

Спектральную характеристику ослабляющего фильтра *ND* описывают функцией ослабления света. На графике приводят минимальное и максимальное значения спектрального коэффициента объемного пропускания [от $\tau_{i,U}(\lambda)$ до $\tau_{i,L}(\lambda)$] или минимальное $D_U(\lambda)$ и максимальное $D_L(\lambda)$ значение спектральной оптической плотности.

Общий вид численного описания спектральной характеристики ослабляющего фильтра приводят в виде:

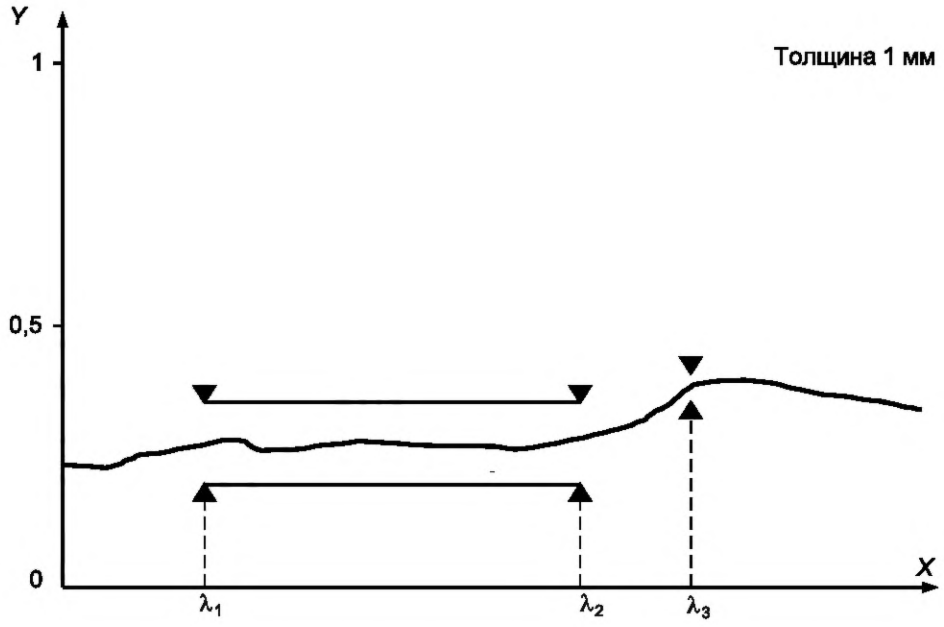
$$ND: D_{Ln} < D \text{ (от } \lambda_n \text{ до } \lambda_{n+1}, d) < D_{Un}; n = 1, 3, 5, \ldots$$

или

$$ND: \tau_{i,Ln} < \tau_i \text{ (от } \lambda_n \text{ до } \lambda_{n+1}, d) < \tau_{i,Un}; n = 1, 3, 5, \ldots$$

Пример — ND: 0,2 < τ_i (от 450 до 600 нм, 1 мм) < 0,35; 0,35 < τ_i (700 нм) < 0,45.

Пример графического описания спектральной характеристики ослабляющего фильтра представлен на рисунке 2.



1 — по оси *X* длина волны λ, нм; *2* — по оси *Y* объемное пропускание τ_i, о.е.

Рисунок 2 — Графическое представление спектральной характеристики ослабляющего фильтра *ND*

7.2 Описание спектральной характеристики полосопропускающего фильтра *BP* или полосопоглощающего фильтра *BR*

Спектральную характеристику полосовых фильтров описывают допустимым максимальным значением спектрального коэффициента объемного пропускания $\tau_{i,Un}$ в области поглощения оптического излучения и минимальным значением спектрального коэффициента объемного пропускания $\tau_{i,Ln}$ в области пропускания оптического излучения.

Примечание — Указание длины волны среза (отсечки) спектрального объемного (внутреннего) коэффициента пропускания $\lambda_{i,0,5}$ не является обязательным требованием при описании.

Общий вид численного описания спектральной характеристики полосопропускающего (полосопоглощающего) оптического фильтра объемного поглощения приводят в виде:

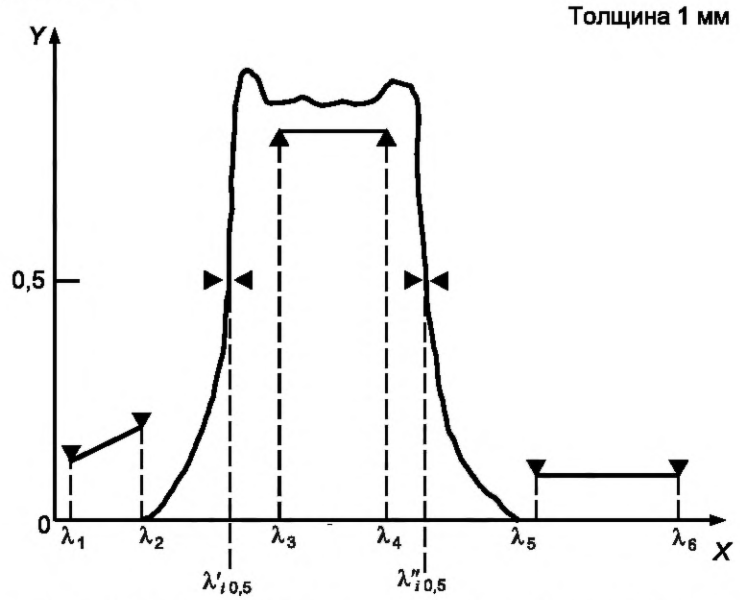
BP: τ_i (от λ_n до λ_{n+1}, d) < $\tau_{i,Un}$; n = 1, 3, 5, …;
τ_i (от λ_m до λ_{m+1}, d) < $\tau_{i,Lm}$; m = 1, 3, 5, …;
$\lambda_{i,0,5} = \lambda_k \pm \Delta\lambda_k$; k = 1, 3, 5, …

Примеры

1BP: τ_i (от 200 до 340 нм, 1 мм) < 0,15 → 0,2;
τ_i (от 415 до 560 нм) > 0,8;
τ_i (от 710 до 1100 нм) > 0,1;
$\lambda'_{i,0,5} = 375^{+10\text{нм}}_{-8\text{нм}}$ нм;
$\lambda''_{i,0,5}$ = (650 ± 6) нм.

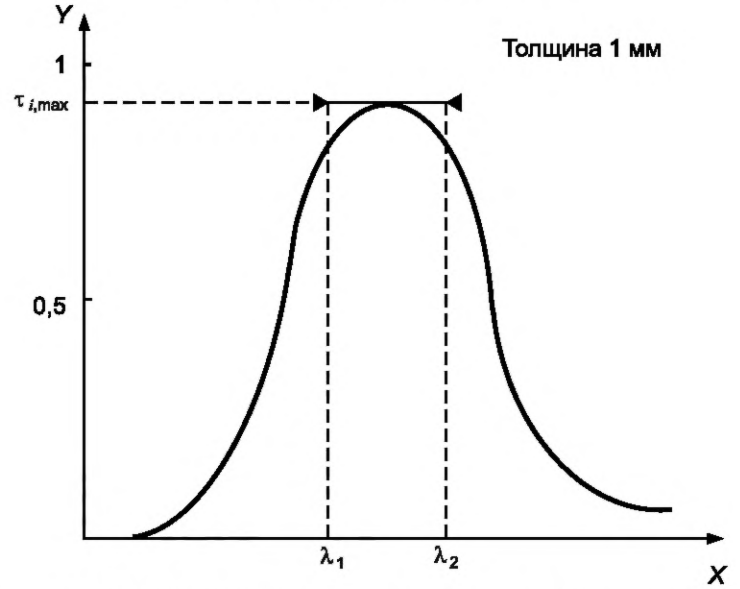
2BP: 0,7 ≤ $\tau_{i\,max}$ (d = 1 мм) ≤ 0,8; $\lambda_{\tau i max}$ = (550 ± 10) нм;
0,6 ≤ τ_i (от 500 до 550 нм) ≤ 0,8.

Примеры графического описания спектральной характеристики полосопропускающего фильтра представлены на рисунках 3—5.



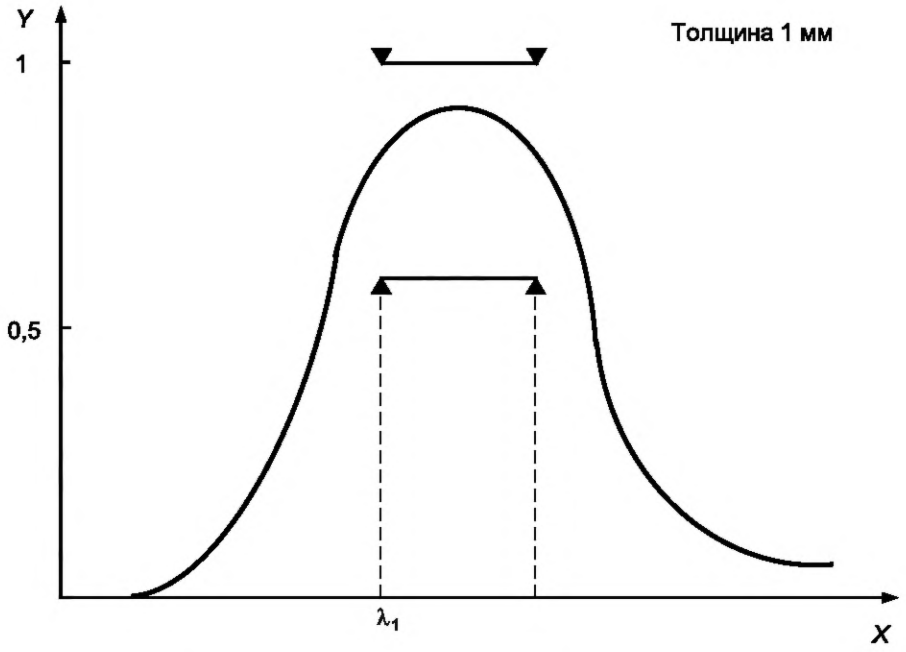
1 — по оси *X* длина волны λ, нм; *2* — по оси *Y* объемное пропускание τ_i, о.е.

Рисунок 3 — Графическое представление спектральной характеристики полосового фильтра *BP* (указание диапазонов длин волн)



1 — по оси *X* длина волны λ, нм; *2* — по оси *Y* объемное пропускание τ_i, о.е.

Рисунок 4 — Графическое представление спектральной характеристики полосового фильтра BP (указание максимального коэффициента пропускания)



1 — по оси *X* длина волны λ, нм; *2* — по оси *Y* объемное пропускание τ_i, о.е.

Рисунок 5 — Графическое представление спектральной характеристики полосового фильтра *BP* (указание верхнего и нижнего пределов пропускания)

7.3 Описание спектральной характеристики длинноволново-пропускающего *LP* или коротковолново-пропускающего фильтра *SP*

Спектральную характеристику коротковолново-пропускающего и длинноволново-пропускающего фильтра описывают допустимым максимальным значением спектрального коэффициента объемного пропускания $\tau_{i,Un}$ в области поглощения оптического излучения, минимальным значением спектрального коэффициента объемного пропускания $\tau_{i,Ln}$ в области пропускания оптического излучения и длиной волны среза (отсечки) спектрального объемного (внутреннего) коэффициента пропускания $\lambda_{i,0,5}$ с указанием ее верхнего и нижнего допусков λ_L, λ_U.

Общий вид численного описания длинноволново-пропускающего фильтра приводят в виде:

LP: $\lambda_{i,0,5}(d) = (\lambda \pm \Delta\lambda)$;

τ_i (от λ_n до λ_{n+1}) < $\tau_{i,Un}$; n = 1, 3, 5, …;

τ_i (от λ_m до λ_{m+1}) > $\tau_{i,Lm}$; m = 1, 3, 5, …

Общий вид численного описания коротковолново-пропускающего фильтра приводят в виде:

SP: $\lambda_{i,0,5}(d) = (\lambda \pm \Delta\lambda)$;

τ_i (от λ_n до λ_{n+1}) > $\tau_{i,Ln}$; n = 1, 3, 5, …;

τ_i (от λ_m до λ_{m+1}) < $\tau_{i,Um}$; m = 1, 3, 5, …

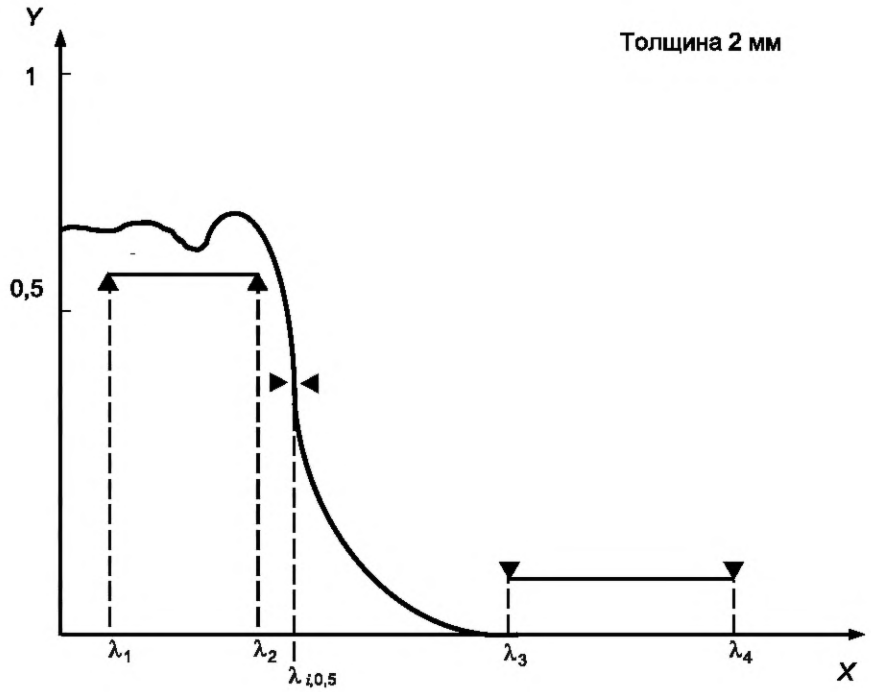
Пример

SP: $\lambda_{i,0,5}$(2 мм) = (700 ± 6) нм;

τ_i (от 400 до 565 нм) > 0,88;

τ_i (от 940 до 2200 нм) < 0,01.

Пример графического описания спектральной характеристики коротковолново-пропускающего фильтра представлен на рисунке 6.



1 — по оси *X* длина волны λ, нм; *2* — по оси *Y* объемное пропускание τ_i, о.е.

Рисунок 6 — Графическое представление спектральной характеристики коротковолново-пропускающего фильтра *SP*

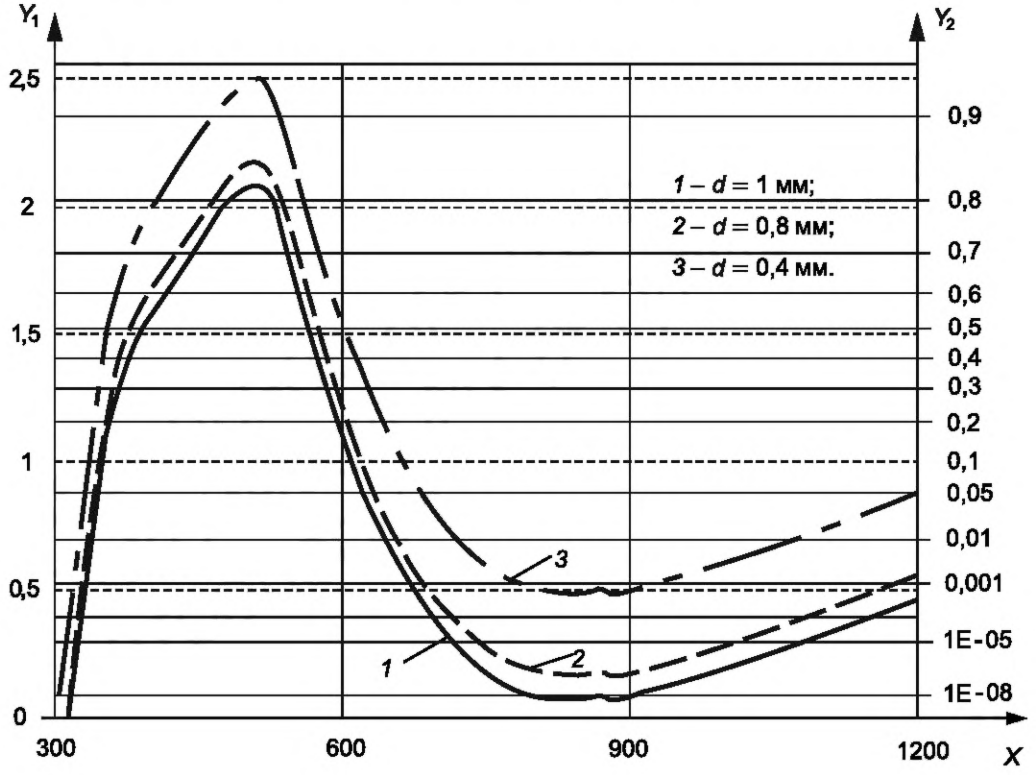
Приложение А
(справочное)

Графическое представление спектральной характеристики с использованием шкалы, нормированной по логарифму

Использование шкалы, нормированной по логарифму, для представления спектрального объемного коэффициента пропускания в виде логарифмического спектрального объемного коэффициента пропускания дает четкое представление в областях минимального/максимального пропускания/поглощения, тогда как применение спектрального коэффициента пропускания позволяет визуализировать только одну из областей.

Примечание — Для понятия «шкала, нормированная по логарифму» не рекомендуется использовать синоним «диабатическая шкала» (diabatic scale).

Пример представления логарифмического спектрального объемного коэффициента пропускания с использованием шкалы, нормированной по логарифму, приведен на рисунке А.1.



1 — по оси Y_1 логарифмический спектральный объемный коэффициент пропускания (соответствует сплошным горизонтальным линиям) $\theta(\lambda)$, о.е.; *2* — по оси Y_2 логарифмический спектральный объемный коэффициент пропускания (соответствует пунктирным горизонтальным линиям) $\tau_i(\lambda)$, о.е.; *3* — по оси *X* длина волны λ, нм

Примечание — Различные кривые соответствуют разной толщине оптического фильтра объемного поглощения.

Рисунок А.1 — Графическое представление логарифмического спектрального объемного коэффициента пропускания

Приложение Б
(справочное)

Фотопический коэффициент пропускания

Значения произведения спектрального распределения излучения стандартного осветителя D_{65} $S_{D_{65}}(\lambda)$ и относительной спектральной световой эффективности $V(\lambda)$ для различных значений длины волны λ приведены в таблице Б.1.

Таблица Б.1

λ, нм	$V(\lambda) \cdot S_{D_{65}}(\lambda)$	λ, нм	$V(\lambda) \cdot S_{D_{65}}(\lambda)$	λ, нм	$V(\lambda) \cdot S_{D_{65}}(\lambda)$
380	0,0001	515	3,0589	650	0,4052
385	0,0002	520	3,5203	655	0,3093
390	0,0003	525	3,9873	660	0,2315
395	0,0007	530	4,3922	665	0,1714
400	0,0016	535	4,5905	670	0,1246
405	0,0026	540	4,7128	675	0,0881
410	0,0052	545	4,8343	680	0,0630
415	0,0095	550	4,8981	685	0,0417
420	0,0177	555	4,8272	690	0,0271
425	0,0311	560	4,7078	695	0,0191
430	0,0476	565	4,5455	700	0,0139
435	0,0763	570	4,3393	705	0,0101
440	0,1141	575	4,1607	710	0,0074
445	0,1564	580	3,9431	715	0,0048
450	0,2104	585	3,5626	720	0,0031
455	0,2667	590	3,1766	725	0,0023
460	0,3345	595	2,9377	730	0,0017
465	0,4068	600	2,6873	735	0,0012
470	0,4945	605	2,4084	740	0,0009
475	0,6148	610	2,1324	745	0,0006
480	0,7625	615	1,8506	750	0,0004
485	0,9001	620	1,5810	755	0,0002
490	1,0710	625	1,2985	760	0,0001
495	1,3347	630	1,0443	765	0,0001
500	1,6713	635	0,8573	770	0,0001
505	2,0925	640	0,6931	775	0,0001
510	2,5657	645	0,5353	780	0,0000

Приложение В
(справочное)

Рекомендации по выбору толщины образцов фильтров для измерений с низким коэффициентом пропускания

Образец для измерений используют при определении спектральных характеристик фильтров, когда оптическое излучение, выходящее из фильтра, меньше или сравнимо (отличается менее чем в два раза) с погрешностью измерения используемого приемника излучения или со стабильностью энергии/мощности используемого источника излучения.

Значение спектрального объемного коэффициента пропускания τ_{i,d_1} фильтра толщиной d_1 вычисляют по формуле

$$\tau_{i,d_1} = \left(\frac{\tau_{i,d_2}}{P} \right)^{\left(\frac{d_1}{d_2} \right)}, \quad \text{(В.1)}$$

где τ_{i,d_2} — спектральный объемный коэффициент пропускания при толщине образца для измерений d_2;

P — коэффициент, учитывающий потери излучения на отражение.

При использовании образца для измерений в погрешность измерения добавляется погрешность измерения толщины образца для измерений. Погрешность измерения спектрального объемного коэффициента пропускания $\Delta\tau_{i,d_i}$ вычисляют по формуле

$$\Delta\tau_{i,d_i} = \left(\frac{\tau_{i,d_2} \pm \Delta\tau}{P} \right)^{\left(\frac{d_1}{d_2 + \Delta d} \right)}, \quad \text{(В.2)}$$

где $\Delta\tau$ — погрешность измерения приемника излучения;

Δd — погрешность измерения толщины образца для измерений.

Использование образцов для измерения, у которых толщина соотносима с погрешностью измерения толщины (отличается меньше, чем в 10 раз), не рекомендуется.

Предпочтительные толщины образцов для измерений d_2 с точки зрения минимизации погрешности измерения, толщина которых определяется с погрешностью Δd = ±0,002 мм, приведены в таблицах В.1 (для случая использования приемника излучения с погрешностью измерения $\Delta\tau$ = ±0,003) и В.2 (для случая использования приемника излучения с погрешностью измерения $\Delta\tau$ = ±0,001).

Таблица В.1 — Рекомендуемые толщины образцов для измерений d_2 при $\Delta\tau$ = ±0,003 и Δd = ±0,002 мм

Предполагаемый (измеренный) спектральный объемный коэффициент пропускания фильтра τ_{i,d_1}, о.е.	Толщина фильтра d_1, мм	Толщина образца для измерений d_2, мм
10^{-3}	1	0,25
	2	0,43
	3	0,59
10^{-4}	1	0,21
	2	0,34
	3	0,47
10^{-5}	1	0,17
	2	0,29
	3	0,39

Таблица В.2 — Рекомендуемые толщины образцов для измерений d_2 при $\Delta\tau$ = ±0,001 и Δd = 0,002 мм

Предполагаемый (измеренный) спектральный объемный коэффициент пропускания фильтра τ_{i,d_1}, о.е.	Толщина фильтра d_1, мм	Толщина образца для измерений d_2, мм
10^{-3}	1	0,33
	2	0,56
	3	0,76
10^{-4}	1	0,27
	2	0,45
	3	0,61
10^{-5}	1	0,23
	2	0,38
	3	0,52

УДК 681.7.064:006.354 ОКС 37.020

Ключевые слова: оптика и фотоника, оптические фильтры объемного поглощения, классификация, основные положения

Редактор *Л.С. Зимилова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *И.А. Королева*
Компьютерная верстка *А.Н. Золотаревой*

Сдано в набор 18.07.2025. Подписано в печать 25.07.2025. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 2,79. Уч.-изд. л. 2,37.

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