ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 72849— 2026

Оптика и фотоника

ФИЛЬТРЫ НЕЙТРАЛЬНЫЕ

Типовой технологический процесс изготовления нейтральных фильтров вакуумным способом

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2026

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 3 сентября 2026 г. № 1086-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 (www.rst.gov.ru)

© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2026

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

Введение

Настоящий стандарт разработан на основе отраслевого стандарта ОСТ 3-5668—84 «Фильтры нейтральные. Типовой технологический процесс нанесения покрытий вакуумным испарением» и практического опыта применения современных техники и технологий в области оптических деталей.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Оптика и фотоника

ФИЛЬТРЫ НЕЙТРАЛЬНЫЕ

Типовой технологический процесс изготовления нейтральных фильтров вакуумным способом

Optics and photonics. Neutral filters. Typical technological process for the production of neutral filters using vacuum method

Дата введения — 2027—01—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает типовой технологический процесс (ТТП) изготовления нейтральных фильтров способом термического испарения никеля, титана или хрома в вакууме (далее — вакуумный способ) на оптические детали из стекла марок К8, К108 по ГОСТ Р 71951, цветное стекло марок КС10, КС11, НС7, ОС14 по ГОСТ 9411, а также кварцевое стекло или кристаллы (далее — оптические детали).

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 2.412 Единая система конструкторской документации. Правила выполнения чертежей и схем оптических изделий

ГОСТ 9411 Стекло оптическое цветное. Технические условия

ГОСТ 11141 Детали оптические. Классы чистоты поверхностей. Методы контроля

ГОСТ Р 71279—2024 Оптика и фотоника. Детали оптические. Типовые технологические процессы нанесения одно-, двух- и трехслойных просветляющих покрытий из растворов

ГОСТ Р 71350 Оптика и фотоника. Зеркала алюминированные оптические. Типовые технологические процессы нанесения защитных покрытий

ГОСТ Р 71572—2024 Оптика и фотоника. Детали оптические. Общие требования к типовым технологическим процессам нанесения оптических покрытий вакуумным способом

ГОСТ Р 71951 Оптика и фотоника. Стекло оптическое бесцветное. Общие технические условия

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

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

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

Издание официальное

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 следующий термин с соответствующим определением:

3.1 **нейтральный фильтр:** Фильтр, предназначенный для равномерного ослабления излучения в широком спектральном диапазоне.

4 Технические требования

4.1 Общие требования

4.1.1 Изготовление нейтральных фильтров вакуумным способом следует проводить по нормативным документам (НД), утвержденным в установленном порядке, на специализированном производственном участке (далее — участок).

Требования к участку — по ГОСТ Р 71572—2024 (подраздел 4.1).

4.1.2 В зависимости от функционального назначения и коэффициента пропускания τ нейтральные фильтры подразделяют:

- на нейтральные фильтры постоянной плотности;
- нейтральные фильтры переменной плотности.

Нейтральные фильтры переменной плотности подразделяют на три основных типа:

- нейтральные фильтры с изменением плотности по одной из осей $\tau = f(l)$;
- нейтральные фильтры с изменением плотности по радиусу $\tau = f(r)$;
- нейтральные фильтры с изменением плотности по окружности $\tau \triangleq r(\varphi)$.

4.1.3 По оптическим свойствам нейтральные фильтры характеризуются коэффициентом пропускания τ в заданном рабочем диапазоне длин волн в области спектра от 0,2 до 5,0 мкм. Коэффициент пропускания нейтральных фильтров может быть в пределах от 0,1 % до 92,0 %.

Спектральные характеристики пропускания нейтральных фильтров зависят от толщины металлического покрытия и материала оптических деталей, на которые наносится покрытие.

4.2 Требования к оптическим деталям и материалам

4.2.1 При изготовлении нейтральных фильтров покрытия из никеля, титана или хрома (далее — покрытия), как правило, наносят на плоскопараллельные оптические детали диаметром от 5 до 400 мм из материалов, прозрачных в заданном рабочем диапазоне длин волн.

4.2.2 Требования к материалу оптических деталей, габаритам, точности и чистоте обработки определяют в соответствии с НД, утвержденными в установленном порядке.

Оптические детали должны быть изготовлены из стекла марок К8, К108 по ГОСТ Р 71951, цветного стекла марок КС10, КС11, НС7, ОС14 по ГОСТ 9411, а также кварцевого стекла или кристаллов.

4.2.3 Чистота полированной поверхности оптических деталей по ГОСТ 11141 должна соответствовать IV—VII классам (в зависимости от размера оптических деталей) и с учетом того, что покрытие снижает класс чистоты оптической детали на один-два класса.

4.2.4 Механическую прочность, химическую устойчивость, адгезию, влагостойкость и термическую прочность покрытий проверяют по контрольному образцу по ГОСТ Р ИСО 9211-4.

4.2.5 Пленкообразующие материалы (никель, титан и хром) для нанесения покрытий должны соответствовать требованиям НД на них.

4.2.6 Перечень вспомогательных материалов, применяемых при проведении ТТП нанесения покрытий вакуумным способом, — по ГОСТ Р 71350.

Спирт для чистки оптических деталей должен быть при необходимости осушен и перегнан по ГОСТ Р 71279.

Салфетки и тампоны из ваты должны быть подготовлены по ГОСТ Р 71279.

Повторное использование тампонов из ваты не допускается.

4.2.7 Обозначение покрытий для нейтральных фильтров в технической документации и чертежах — в соответствии с ГОСТ 2.412.

Пример условного обозначения покрытия из никеля для нейтрального фильтра:

Фильтр-4И

Пример условного обозначения покрытия из титана для нейтрального фильтра:

Фильтр-15И

Пример условного обозначения покрытия из хрома для нейтрального фильтра:

Фильтр-9И

4.3 Требования к технологическому оснащению

4.3.1 Оборудование, технологическая оснастка, средства измерения и инструменты, применяемые при нанесении покрытий вакуумным способом, должны соответствовать требованиям НД и ГОСТ Р 71572—2024 (подраздел 4.3).

4.3.2 Испаритель должен быть трех типов:

- спираль, навитая из никелевой или титановой проволоки диаметром 1—2 мм, закрепляемая на изолированных держателях;
- лодочки из вольфрамовой ленты толщиной 0,05—0,10 мм, размером 45 × 10 мм, в количестве трех-четырех штук;
- электронно-лучевой испаритель.

4.3.3 Держатель оптических деталей в виде плато закрепляют на плите вакуумной установки. Для обеспечения равномерности покрытия держатель должен вращаться от привода. Скорость вращения — от 20 до 40 об/мин (в зависимости от размеров оптических деталей).

4.3.4 Фотометрическое устройство для контроля коэффициента пропускания покрытия в процессе его нанесения состоит из осветителя, светоприемного и регистрирующего устройства.

4.3.5 Материал арматуры — титан, нержавеющая сталь и алюминий.

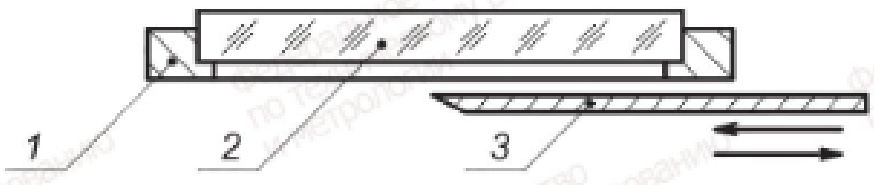
4.3.6 Для изготовления нейтральных фильтров переменной плотности различных типов арматуру под колпаком дополняют специальными устройствами, обеспечивающими требуемую закономерность распределения толщины покрытия по поверхности оптической детали.

4.3.6.1 Для изготовления нейтральных фильтров с изменением плотности по одной из осей устройство должно обеспечивать относительное возвратно-поступательное перемещение экрана и оптической детали. При этом отдельные участки оптической детали должны перекрываться от молекулярного потока испаряемого пленкообразующего материала по достижении на этих участках заданного коэффициента пропускания.

Устройство представляет собой столик с держателем оптических деталей и экрана, перемещающихся относительно друг друга.

Точность перемещения экрана, отсчитываемого по шкале, может быть от 0,01 до 0,50 мм при ширине зон нанесения покрытия на оптические детали соответственно от 0,1 до 20,0 мм.

Схема устройства для изготовления нейтральных фильтров приведена на рисунке 1.



1 — оправа; *2* — оптическая деталь; *3* — экран

Рисунок 1 — Схема устройства для изготовления нейтральных фильтров

4.3.6.2 Изготовление нейтральных фильтров с изменением плотности по радиусу проводят двумя способами:

- со сменными экранами, представляющими собой оправы из дюралюминия или стали с отверстиями в центре. Количество сменных экранов и диаметры отверстий соответствуют требованиям изменения плотности (пропускания) по радиусу оптической детали;
- с помощью устройства с относительным вращением оптической детали и экрана со скоростью 40 об/мин.

Вырез экрана рассчитывают в угловой мере пропорционально плотности покрытия, для чего заданные коэффициенты пропускания пересчитывают на оптические плотности.

Пример построения выреза экрана при уменьшении плотности покрытия от центра к краю оптической детали приведен в приложении А.

4.3.6.3 Для изготовления нейтральных фильтров с изменением плотности по окружности используют устройства, принцип действия которых заключается в ограничении участка оптической детали при относительном вращении оптической детали и экрана.

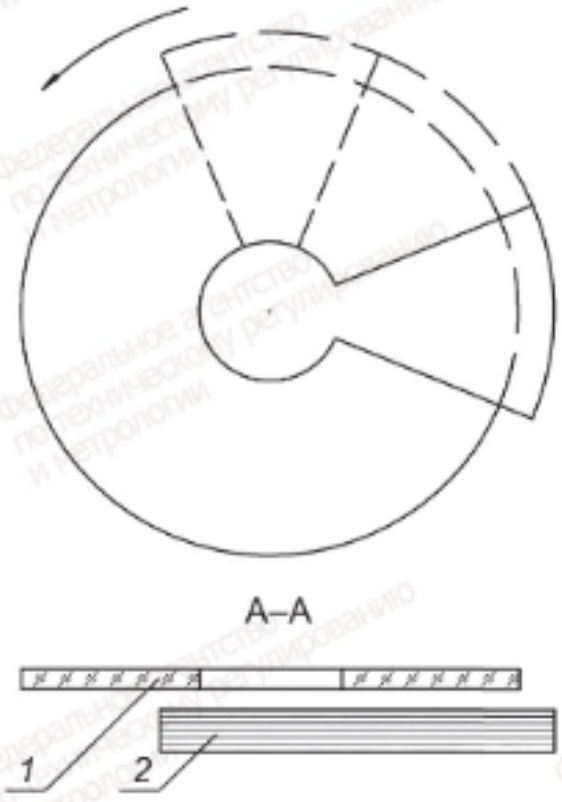
Для изготовления нейтральных фильтров диаметром от 30 до 150 мм рекомендуется применять три типа устройств:

- устройство, состоящее из поворотного столика с оптической деталью *1* в держателе, на котором укреплена веерная заслонка *2*. В сложенном состоянии заслонка может иметь минимальный угол, равный 60°, что позволяет получать рабочий угол нейтрального фильтра до 300°. Верхняя шторка веерной заслонки жестко прикреплена к держателю оптической детали, а нижняя — к основанию столика.

Поворот оптической детали в держателе проводят вручную через ввод в плите установки.

На устройстве можно изготавливать нейтральные фильтры с любой зависимостью изменения пропускания по углу поворота нейтрального фильтра.

Схема устройства для изготовления нейтральных фильтров приведена на рисунке 2;



1 — оптическая деталь; *2* — веерная заслонка

Рисунок 2 — Схема устройства для изготовления нейтральных фильтров

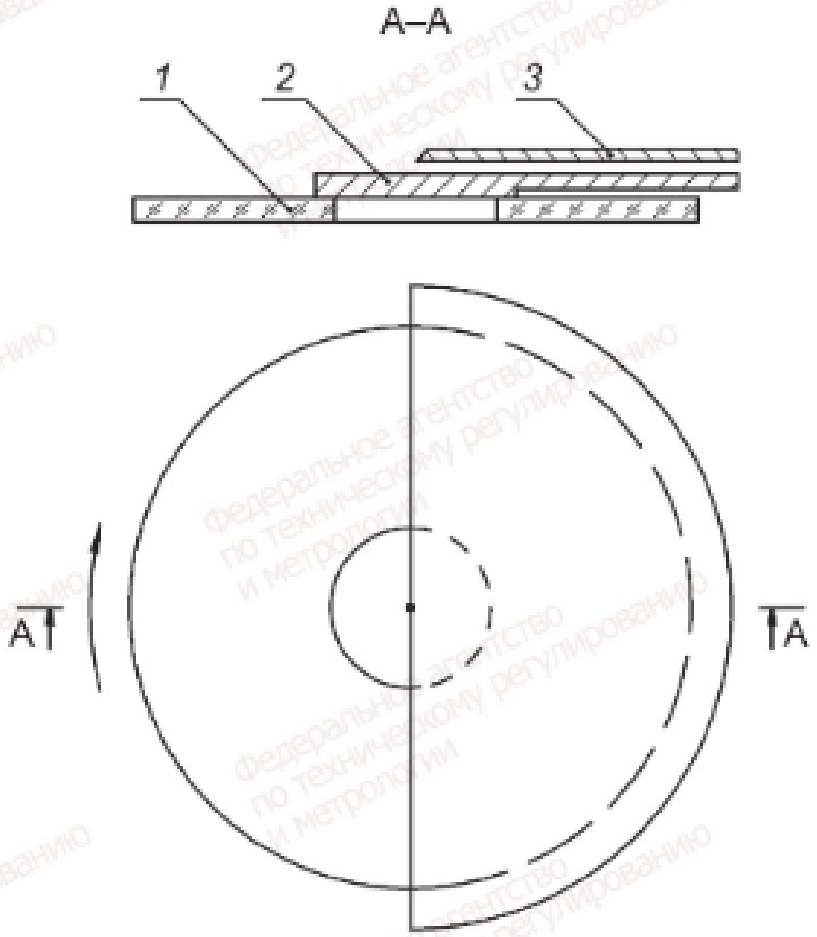
- многоместное устройство, представляющее собой плато, закрепляемое жестко на плите вакуумной установки. На плато крепят шестерни, в которые вставляют оправки с оптическими деталями в количестве до 10 шт. при диаметре нейтральных фильтров от 30 до 40 мм.

На оптической детали *1* крепят подвижный экран *2* и над ним — неподвижный экран *3* с регулируемым зазором между ними от 0,5 до 1,0 мм.

Оптические детали *1* вместе с подвижными экранами *2* медленно вращаются относительно неподвижных экранов *3*. Скорость вращения регулируется автотрансформатором.

Привод вращения состоит из электродвигателя с редуктором, насаженным на вал вакуумввода в плите вакуумной установки.

Схема устройства для изготовления нейтральных фильтров приведена на рисунке 3;



1 — оптическая деталь; *2* — подвижный экран; *3* — неподвижный экран

Рисунок 3 — Схема устройства для изготовления нейтральных фильтров

- устройство, состоящее из столика с оптической деталью *1* в держателе и двух экранов: подвижного *3* и неподвижного *4* в виде полудисков из листового материала и сектора *2*.

Неподвижный экран *4* жестко крепится над оптической деталью *1* с регулируемым зазором между ними от 1 до 3 мм при диаметре нейтральных фильтров от 60 до 200 мм.

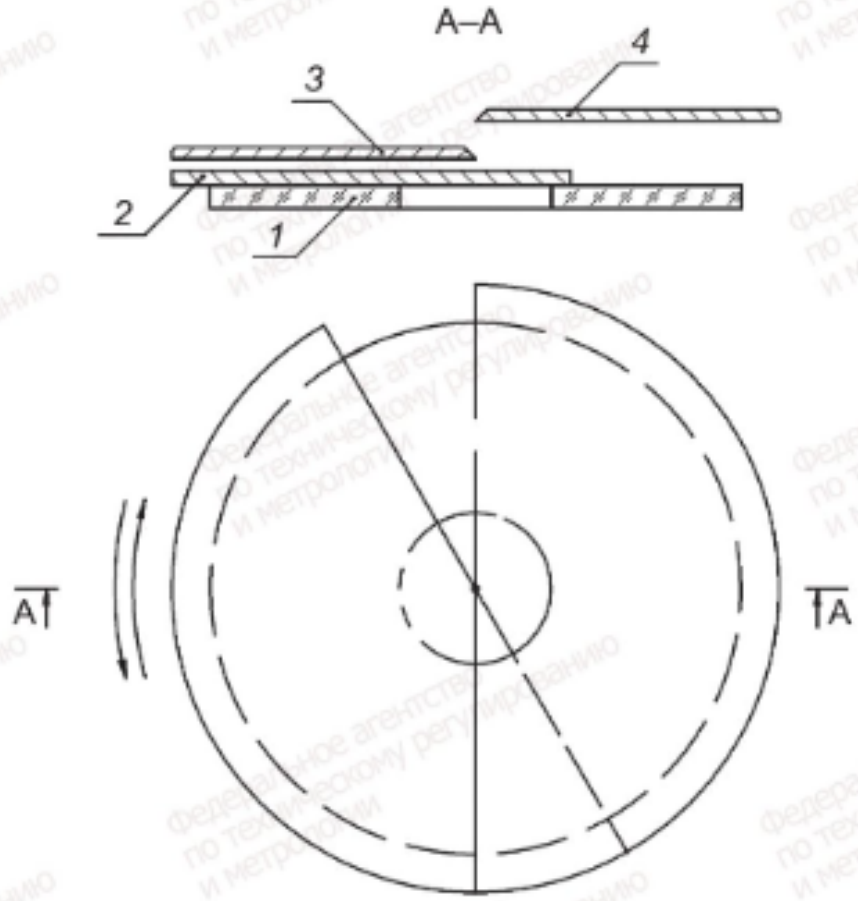
Сектор *2* из листовой стали жестко крепится на поверхности оптической детали в оправе, экранируя при этом участок оптической детали от напыления (зона без покрытия).

Оптическая деталь *1* с подвижным экраном *3* и сектором *2* совершают реверсивное вращение относительно неподвижного экрана *4*, ограничивая при этом поверхность оптической детали.

Положение оптической детали при ее вращении фиксируется по указателю шкалы (в угловой мере) на панели установки.

Устройство обеспечивает нанесение покрытия нейтрального фильтра за один цикл откачки, с перемещением экрана без нарушения вакуума.

Схема устройства для изготовления нейтральных фильтров приведена на рисунке 4.



1 — оптическая деталь; *2* — сектор; *3* — подвижный экран; *4* — неподвижный экран

Рисунок 4 — Схема устройства для изготовления нейтральных фильтров

4.3.7 Устройства для изготовления нейтральных фильтров переменной плотности обеспечивают получение заданных значений пропускания нейтральных фильтров с предельным отклонением от ±3 % до ±10 %.

Примечание — Допускается использование других видов устройств при обеспечении закономерности распределения толщины покрытия по поверхности оптической детали.

5 Требования к типовому технологическому процессу

5.1 ТТП изготовления нейтральных фильтров вакуумным способом состоит из следующих основных технологических операций:

- подготовки оборудования и технологической оснастки;
- подготовки поверхности оптической детали;
- нанесения покрытий;
- контроля готовых фильтров.

5.2 Подготовка оборудования и технологической оснастки

5.2.1 Подготовку оборудования и технологической оснастки проводят по ГОСТ Р 71572—2024 (подраздел 4.4).

5.2.2 Закладывают в испарители пленкообразующий материал (никель, титан или хром) в виде проволоки, фольги или порошка.

Количество исходного пленкообразующего материала определяют опытным путем.

5.3 Подготовка поверхности оптической детали

5.3.1 Перед нанесением покрытий поверхности оптических деталей очищают обезжиренными салфетками из батиста, смоченными перегнанным и осушенным этиловым спиртом по ГОСТ Р 71279—2024 (приложение Г).

Чистку проводят в обезжиренных перчатках или напальчниках. Оптические детали берут за нерабочие поверхности.

5.3.2 Предварительно обезжиренные оптические детали помещают в оправы держателя подколпачной арматуры рабочей поверхностью к испарителю.

5.4 Нанесение покрытий для изготовления нейтральных фильтров постоянной плотности

5.4.1 Проверяют систему фотометрического контроля, удаляют с поверхностей оптических деталей пылинки сдуванием резиновой грушей, опускают колпак и включают механический насос.

5.4.2 Откачивают вакуумную камеру до давления 1,33 Па ($1 \cdot 10^{-2}$ мм рт.ст.). Включают высокое напряжение и проводят обработку поверхностей оптических деталей электрическим разрядом при постоянном токе от 100 до 150 мА и напряжении на электродах от 1500 до 2000 В в течение 10—30 мин (в зависимости от размеров оптических деталей).

Примечание — Вместо обработки электрическим разрядом допускается прогрев оптических деталей при температуре от 150 до 200 °С в течение 20—25 мин или очистка ионным источником не менее 5 мин.

5.4.3 По окончании обработки разрядом откачивают вакуумную камеру до давления $2{,}66 \cdot 10^{-3}$ Па ($2 \cdot 10^{-5}$ мм рт.ст.), включают ток накала испарителей и проводят прокаливание (обезгаживание) исходного пленкообразующего материала (проволока, фольга, порошок) при постепенном увеличении тока накала испарителя. Испаритель перекрывают заслонкой.

5.4.4 После прокаливания испарителя и восстановления вакуума $2{,}66 \cdot 10^{-3}$ Па ($2 \cdot 10^{-5}$ мм рт.ст.) включают фотометрическое устройство, открывают заслонку и приступают к испарению пленкообразующего материала (никеля, титана или хрома), регулируя скорость испарения током накала по амперметру. Режимы испарения подбирают опытным путем.

Рекомендованные режимы испарения для никеля и титана приведены в таблице 1.

Таблица 1

Пленкообразующий материал	Вид пленкообразующего материала	Тип испарителя	Ток испарения, А
Никель	Проволока диаметром 1 мм, длиной 500 мм	Спираль из пленкообразующего материала	22—24
Никель	Фольга толщиной 0,1 мм	«Лодочка» из вольфрамовой ленты размером 45 × 10 × 0,05 мм	55—60
Титан	Проволока диаметром 1 мм, длиной 300 мм	Спираль из пленкообразующего материала	27—30
Титан	Порошок	«Лодочка» из вольфрамовой ленты размером 40 × 10 × 0,05 мм	90—100

Режимы испарения хрома подбирают опытным путем в зависимости от типа испарителя.

5.4.5 Фотометрический контроль коэффициента пропускания покрытия в процессе нанесения ведут по контрольному образцу, расположенному в центре вращающегося держателя с оптическими деталями. Для этого до начала испарения, регулируя напряжение на осветителе, устанавливают по шкале отсчетного устройства максимальный отсчет (1000, 500 делений и др.), который принимают за 100 % пропускания (условно).

При испарении с увеличением толщины покрытия уменьшается коэффициент пропускания контрольного образца и отсчетное устройство регистрирует уменьшение отсчета по шкале.

При достижении заданного значения коэффициента пропускания (с учетом поправки показаний средства измерения) выключают ток накала испарителя, выдерживают оптические детали в вакууме в течение 20—40 мин (для остывания), впускают воздух под колпак.

5.4.6 Для повышения механической прочности и сохранения постоянства оптической плотности (пропускания) покрытия оптические детали помещают в термошкаф и прогревают при температуре 200 °С в течение 2 ч.

Прогрев увеличивает коэффициент пропускания покрытий из никеля не более чем на 5 % от измеряемого значения. Пропускание покрытий из титана после прогрева заметно увеличивается в результате его окисления. Покрытия следует наносить с поправкой на окисление, т. е. пропускание покрытия при нанесении титана должно быть на 10 %—12 % меньше номинального значения.

Зависимость изменения коэффициента пропускания титановых покрытий на различных образцах после прогрева при температуре 200 °С в течение 2 ч приведена в таблице 2.

Таблица 2

До прогрева τ, %	После прогрева при температуре 200 °С τ, %
60,0	70,0
36,0	43,0
11,0	12,5
8,5	9,8
6,5	7,8
4,2	5,2
2,7	3,1

Примечание — Значения изменения коэффициента пропускания τ титановых покрытий могут несколько отличаться, т. к. зависят от условий нанесения.

5.4.7 Для получения нейтральных фильтров с повышенными требованиями по чистоте (без сквозных просветов) покрытие заданного пропускания следует наносить в несколько приемов с промежуточным прогревом в термошкафу при температуре 100 °С в течение 1 ч и последующей чисткой спиртом при помощи обезжиренной батистовой салфетки.

5.4.8 При повышенных требованиях к стабильности оптических характеристик нейтральных фильтров покрытия после нанесения следует заклеивать стеклом. При этом коэффициент пропускания нейтральных фильтров увеличивается.

Пропускание нейтральных фильтров до склейки определяют пробными процессами — оно должно быть меньше номинального значения.

5.4.9 При несоответствии полученного значения коэффициента пропускания нейтральных фильтров (τ больше заданного) оптические детали протирают обезжиренной батистовой салфеткой со спиртом, помещают под колпак установки и наносят покрытие до заданного значения пропускания, выполняя операции по 5.4.1—5.4.6.

Контроль пропускания допыляемого покрытия следует вести по оптической детали, установив по шкале отсчет, соответствующий измеренному пропусканию.

Если пропускание меньше допустимого значения, покрытие перед повторным нанесением удаляют травлением в концентрированной азотной, соляной кислотах или переполировкой оптических деталей.

5.5 Нанесение покрытий из никеля для изготовления нейтральных фильтров переменной плотности

5.5.1 Для нанесения покрытия используют никелевую проволоку в виде спирали.

5.5.2 Подготовку поверхности оптических деталей проводят в соответствии с 5.3, нанесение покрытия из никеля проводят в соответствии с 5.4.

5.5.3 Нанесение покрытия для изготовления нейтральных фильтров с изменением плотности по одной из осей проводят на устройстве, приведенном на рисунке 1.

Устанавливают зависимость значений коэффициентов пропускания по участкам оптической детали от размеров перемещения экрана и градуировки шкалы.

В таблицу вносят значения делений шкалы, соответствующие размеру напыляемого участка l, мм, и значения заданного коэффициента пропускания τ, %.

После создания вакуума $2{,}66 \cdot 10^{-3}$ Па ($2 \cdot 10^{-5}$ мм рт.ст.), прокаливания спирали, установления отсчета шкалы 1000 делений (100 %) открывают заслонку и наносят никелевое покрытие, соответствующее максимальному значению коэффициента пропускания. Затем перекрывают участок оптической детали перемещением экрана (или оптической детали) и наносят покрытие до следующего значения коэффициента пропускания и т. д. по всем участкам оптической детали.

Контроль коэффициента пропускания при нанесении покрытия ведут либо по оптической детали на участке с минимальным пропусканием, либо по контрольному образцу, располагаемому рядом с оптическими деталями (для оптических деталей малых размеров).

Для получения плавной зависимости изменения коэффициента пропускания следует при нанесении покрытия увеличить количество перемещений экрана, т. е. уменьшить шаг, введя соответственно значения коэффициента пропускания в таблицу.

5.5.4 Нанесение покрытия для изготовления нейтральных фильтров с изменением плотности по радиусу

5.5.4.1 При использовании сменных экранов по 4.3.6.2 оптические детали вкладывают в оправы с наибольшим отверстием, наносят покрытие с максимальным значением коэффициента пропускания, выполняя требования 5.3 и 5.4.

Поднимают колпак, осторожно вкладывают оптические детали с покрытием в оправы с меньшим диаметром отверстий для перекрытия части оптической детали с покрытием.

Наносят покрытие с пропусканием для следующего участка оптической детали и т. д. до оправы с наименьшим отверстием.

Контроль коэффициента пропускания покрытия в процессе нанесения проводят в центре оптической детали или по контрольному образцу (для оптических деталей малых размеров), располагаемому рядом с оптическими деталями.

5.5.4.2 При использовании устройства с относительным вращением оптической детали и экрана закрепляют экран в оправе симметрично относительно центра оптической детали с минимальным зазором между ними.

При вращении оптической детали наносят покрытие до минимального значения заданного коэффициента пропускания в центре оптической детали (при увеличении плотности покрытия от края к центру нейтрального фильтра).

Контроль коэффициента пропускания при нанесении покрытия проводят в центре оптической детали или по контрольному стеклу (для оптических деталей малых размеров). При этом получается плавная зависимость изменения коэффициента пропускания по радиусу нейтральных фильтров.

5.5.5 Нанесение покрытий для изготовления нейтральных фильтров с изменением плотности по окружности

5.5.5.1 Нанесение покрытий для изготовления нейтральных фильтров с изменением плотности по окружности на устройстве, приведенном на рисунке 2, состоит из следующих этапов:

- этап 1. Устанавливают зависимость значений изменения коэффициента пропускания τ от угла поворота оптической детали φ и перемещений верхней шторки веерной заслонки;
- этап 2. Наносят по 5.4 покрытие постоянной плотности на весь рабочий угол нейтрального фильтра (до 300°) до достижения заданного значения максимального коэффициента пропускания;
- этап 3. Перемещают оптическую деталь на некоторый угол, перекрывая участок оптической детали веерной заслонкой;

- этап 4. По достижении заданного значения коэффициента пропускания оптическую деталь снова поворачивают на следующий угол — и так до участка с минимальным значением коэффициента пропускания;

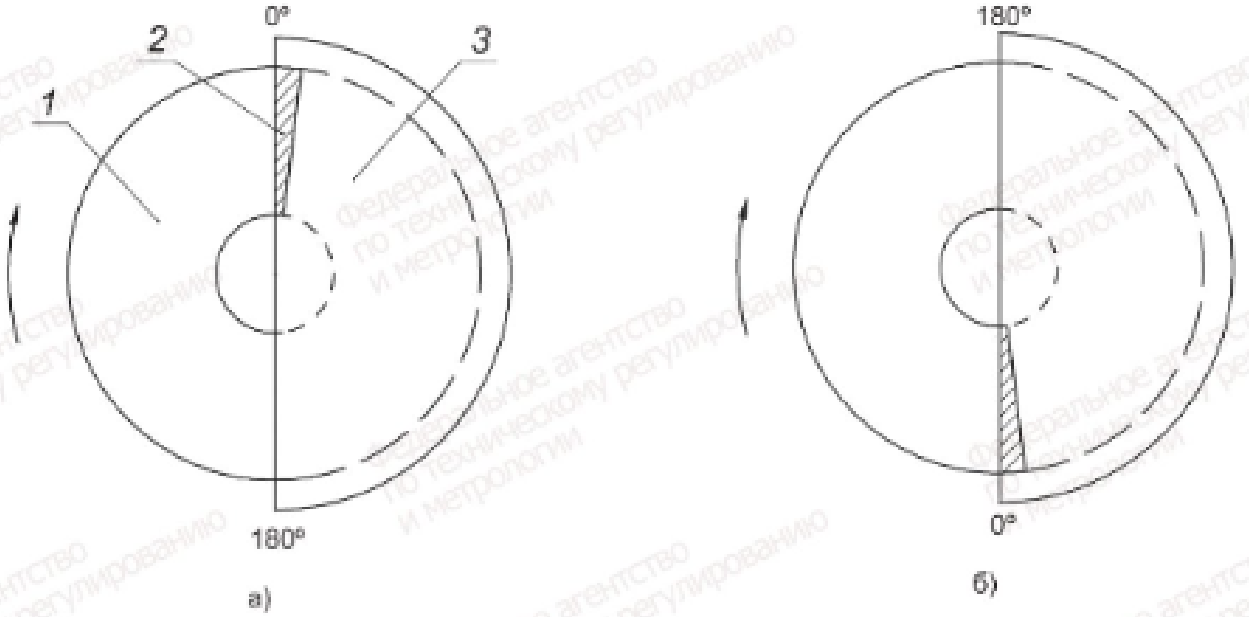
- этап 5. Контроль коэффициента пропускания покрытия в процессе нанесения проводят по оптической детали.

5.5.5.2 Нанесение покрытий для изготовления нейтральных фильтров с изменением плотности по окружности на устройстве, приведенном на рисунке 3, состоит из следующих этапов:

- этап 1. Помещают оптические детали в оправки держателя, фиксируют сектора из алюминиевой фольги (в зависимости от рабочего угла нейтрального фильтра угол сектора может быть от 20° до 90°), устанавливают над держателем с оптическими деталями плато с неподвижными экранами;

- этап 2. При вращении оптической детали испарение начинают в тот момент, когда сектор *2* на оптической детали *1* скроется под неподвижный экран *3*, как показано на рисунке 5 а), и наносят покрытие переменной плотности для первой половины нейтрального фильтра (до угла 180°);

- этап 3. При перемещении оптических деталей на угол 180° [см. рисунок 5 б)] прерывают испарение, перекрывая оптические детали заслонкой или уменьшая ток накала испарителя;



1 — оптическая деталь; *2* — сектор; *3* — неподвижный экран

Рисунок 5 — Схема устройства для изготовления нейтральных фильтров

- этап 4. Перемещают оптические детали в первоначальное положение (на угол 180 °) и наносят покрытие в той же последовательности;

- этап 5. Цикл нанесения покрытия повторяют до достижения требуемого значения коэффициента пропускания на рабочем угле нейтрального фильтра, равном 180°, т. к. коэффициент пропускания зависит от режимов испарения, скорости вращения оптических деталей и плотности покрытия. При этом получается симметричная кривая коэффициента пропускания нейтрального фильтра с минимальным значением коэффициента пропускания для угла 180°;

- этап 6. Выдерживают оптические детали в вакууме в течение 20 мин, нарушают вакуум, снимают сектора с оптических деталей, закрывают экранами в виде полудисков первую половину нейтрального фильтра (до угла 180°);

- этап 7. Наносят покрытие так же, как и для первой половины нейтрального фильтра, до достижения минимального значения коэффициента пропускания во второй половине нейтрального фильтра (угол от 180° до 360°);

- этап 8. Контроль коэффициента пропускания при нанесении покрытия проводят по оптической детали, располагаемой в центре устройства;

- этап 9. При несоответствии значений коэффициента пропускания (τ больше требуемого) оптические детали осторожно протирают обезжиренной батистовой салфеткой со спиртом, перекрывают экранами участки оптических деталей, соответствующие требованиям чертежа, наносят покрытие до заданных значений коэффициента пропускания, повторяя те же операции. Перед нанесением покрытия проводят обработку поверхности оптических деталей электрическим разрядом в течение 7—10 мин.

5.5.5.3 Нанесение покрытий для изготовления нейтральных фильтров с изменением плотности по окружности на устройстве, приведенном на рисунке 4, состоит из следующих этапов:

- этап 1. Устанавливают зависимость заданных значений коэффициента пропускания τ от угла поворота оптической детали φ и градуировки шкалы;

- этап 2. Помещают оптическую деталь в оправу держателя, крепят на оптические детали сектор и два экрана (подвижный и неподвижный) в совмещенном положении;

- этап 3. При вращении оптической детали открывают заслонку при фиксированном положении указателя шкалы — сектор при этом скроется под неподвижный экран — и наносят покрытие переменной плотности пропорционально времени, пройденному оптической деталью под напылением;

- этап 4. После перемещения оптической детали на угол 180° вместе с оптической деталью из-под неподвижного экрана выводят подвижный экран, перекрывая при этом от напыления первую половину оптической детали (угол от 0° до 180°);

- этап 5. При полном обороте оптической детали (от 0° до 360°) переключают тумблер вращения оптической детали и переводят оптическую деталь и подвижный экран в первоначальное положение при перекрытии оптической детали заслонкой и прерывании испарения;

- этап 6. Повторяют цикл переключения тумблера вращения при фиксированных положениях указателя шкалы до достижения заданных значений коэффициента пропускания;

- этап 7. Контроль пропускания при нанесении покрытия проводят по оптической детали;

- этап 8. При несоответствии заданных значений коэффициента пропускания (τ больше требуемого) допускается частичное нанесение покрытия оптической детали повторением тех же операций.

Нанесение покрытия нейтральных фильтров со сложной зависимостью изменения коэффициента пропускания по углу поворота оптической детали (см. рисунок 6) следует проводить импульсным перемещением (вращением) оптической детали через 2°—3°.

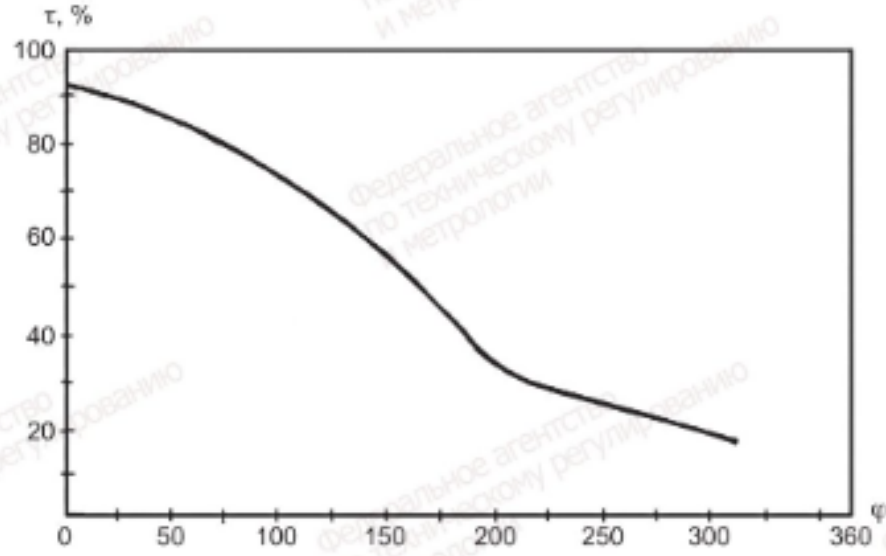


Рисунок 6 — Зависимость изменения коэффициента пропускания τ по углу поворота оптической детали φ

6 Методы контроля

6.1 Качество подготовки поверхности оптической детали следует контролировать визуально в отраженном или проходящем свете на фоне черного экрана.

Допускается применять лупу с кратностью увеличения не менее 6 крат.

Мазки и разводы от загрязнений на поверхности оптической детали после чистки не допускаются. Загрязненные оптические детали должны быть очищены повторно по 5.3.

6.2 Контроль нейтральных фильтров проводят по ГОСТ Р 71572—2024 (подраздел 7.3)

6.3 Измерение коэффициента пропускания в видимой области спектра проводят на микрофотометре или аналогичных средствах измерения.

Фильтры с изменением плотности по окружности измеряют при вращении кольцевого вкладыша с градуировкой от 0° до 360°.

7 Требования безопасности и охраны окружающей среды

Требования безопасности и охраны окружающей среды — по ГОСТ Р 71572—2024 (раздел 5).

Приложение А
(рекомендуемое)

Построение выреза экрана при уменьшении плотности покрытия от центра к краю оптической детали

На заготовке из листового материала проводят ряд концентрических окружностей с радиусами R, для которых заданы значения оптических плотностей D. Если принять, что максимальная плотность покрытия в центре соответствует максимальному раскрытию выреза угла φ, равному 360°, то значения углов раскрытия для других плотностей и радиусов будут прямо пропорциональны им

$$\varphi = \frac{Dr_i}{Dr_0} \cdot 360. \qquad (A.1)$$

Эти углы откладывают на заготовке экрана от какого-либо радиуса до пересечения с проведенными окружностями, точки пересечения соединяют кривой с помощью лекала. Полученная кривая определяет форму выреза в экране (см. рисунок А.1).

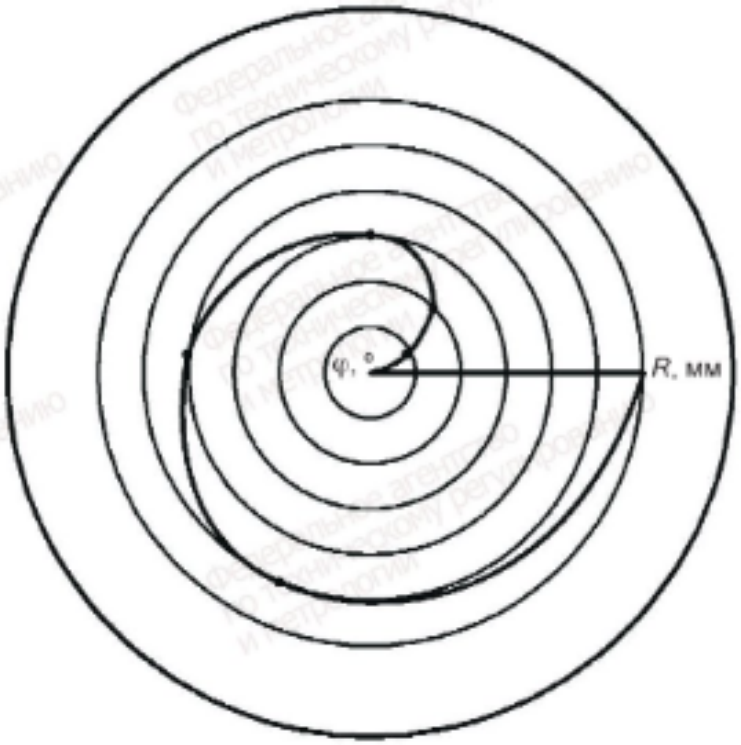


Рисунок А.1

УДК 681.7.026.6:006.354 ОКС 37.020

Ключевые слова: оптика и фотоника, фильтры нейтральные, типовой технологический процесс нанесения покрытий вакуумным испарением

Редактор *М.В. Митрофанова*
Технический редактор *И.Е. Черелкова*
Корректор *Л.С. Лысенко*
Компьютерная верстка *А.Н. Золотаревой*

Сдано в набор 04.09.2026. Подписано в печать 21.09.2026. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 2,32. Уч.-изд. л. 1,97.

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.
www.gostinfo.ru info@gostinfo.ru