

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Сибирский государственный университет геосистем и технологий»  
(СГУГиТ)

Е. Г. Бобылева, И. В. Парко

# **ОПТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛЫ**

## **ЦЕНТРИРОВАНИЕ ЛИНЗ**

Методические указания для обучающихся  
по направлениям подготовки 12.03.01 Приборостроение,  
12.03.02 Оптотехника (уровень бакалавриата)

Новосибирск  
СГУГиТ  
2024

УДК 620.22

Б728

Рецензенты: кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой фотоники и приборостроения СГУГиТ *Д. М. Никулин*

кандидат технических наук, начальник отдела оптических расчетов АО «Новосибирский приборостроительный завод»  
*В. Л. Парко*

**Бобылева, Е. Г.**

Б728 Оптические технологии и материалы. Центрирование линз : методические указания / Е. Г. Бобылева, И. В. Парко. – Новосибирск : СГУГиТ, 2024. – 20 с. – Текст : непосредственный.

Методические указания подготовлены старшими преподавателями Е. Г. Бобылевой и И. В. Парко на кафедре фотоники и приборостроения СГУГиТ.

Методические указания содержат теоретические сведения и методические рекомендации по определению способа центрирования, расчета режимов обработки, выбора инструментов и оборудования для центрирования линз.

Методические указания по дисциплине «Оптические технологии и материалы» предназначены для обучающихся по направлениям подготовки 12.03.01 Приборостроение и 12.03.02 Оптическое приборостроение (уровень бакалавриата).

Рекомендованы к изданию кафедрой фотоники и приборостроения, Ученым советом Института оптики и технологий информационной безопасности СГУГиТ.

Печатается по решению редакционно-издательского совета СГУГиТ

УДК 620.22

© СГУГиТ, 2024

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	4
Общие теоретические сведения .....	5
Практическая работа. Центрирование линз .....	11
Библиографический список .....	19

## ВВЕДЕНИЕ

Методические указания разработаны согласно требованиям федерального государственного образовательного стандарта по направлениям подготовки 12.03.01 Приборостроение и 12.03.02 Оптическое оборудование (уровень бакалавриата) и рабочей программе дисциплины «Оптические технологии и материалы».

Основной целью данного издания является формирование у обучающихся профессиональных компетенций и развитие способности использования фундаментальных знаний в процессе выполнения практических заданий по оптической технологии.

Задача работы – помочь обучающимся в усвоении и закреплении знаний, полученных в процессе изучения дисциплины «Оптическая технология и материалы», в приобретении навыков работы с нормативными техническими документами и справочниками, а также в формировании практических навыков определения метода центрирования, характеристик инструмента, расчета режимов резания, машинного времени и выбора оборудования для центрирования.

Методические указания включают общие теоретические сведения по данной тематике, практическое задание, методику расчета и контрольные вопросы для самостоятельной оценки уровня подготовленности. Для более детального изучения темы составлен библиографический список.

По итогам выполнения практической работы обучающимся составляется отчет, включающий в себя следующие элементы: название работы; цель работы; задание; исходные данные; расчеты и результаты, полученные в ходе выполнения задания; выводы по полученному результату в соответствии с целью работы.

## ОБЩИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

При закреплении заготовок линз на этапе грубого шлифования и при сборке блока для выполнения последующих технологических операций могут возникнуть погрешности базирования и закрепления заготовок, а также неравномерность снятия слоя стекла во время обработки [1]. Это все может привести к появлению разнотолщинности («косины») по краю у готовых линз:  $t_1 \neq t_2$  (рис. 1).

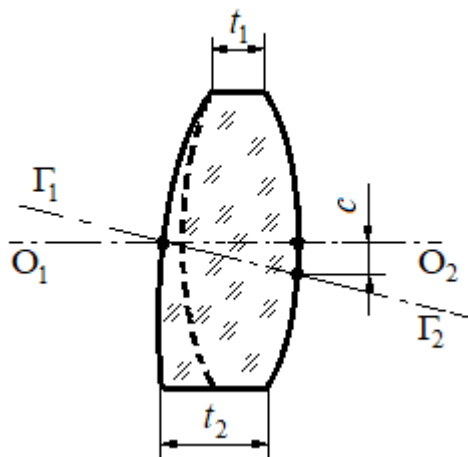


Рис. 1. «Косина» линзы по краю

В результате оптическая ось линзы (ось, соединяющая центры кривизны обеих поверхностей)  $O_1O_2$  не совпадет с геометрической осью (ось симметрии цилиндрической образующей линзы)  $\Gamma_1\Gamma_2$ , т. е. линза будет являться децентрированной. Применение такой линзы в оптическом приборе приведет к смещению изображения и появлению хроматических aberrаций, астигматизма и комы.

Допустимая величина децентрирования  $c$  (мм) указывается на чертеже (рис. 2) и определяется по формуле

$$c = \gamma \cdot (n_e - 1) \cdot f' = \frac{c_1 + c_2}{2}, \quad (1)$$

где  $\gamma$  – угол между оптической и геометрической осью линзы, ° (рис. 3);  
 $n_e$  – показатель преломления стекла;  $f'$  – фокусное расстояние линзы, мм;  
 $c_1, c_2$  – расстояния между центрами кривизны первой и второй сферическими поверхностями линзы и геометрической осью соответственно, мм.

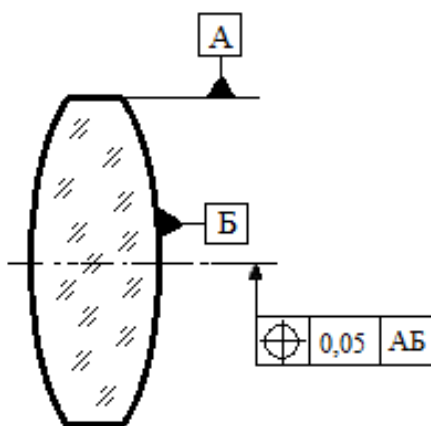


Рис. 2. Обозначение допуска на децентрирование на чертеже

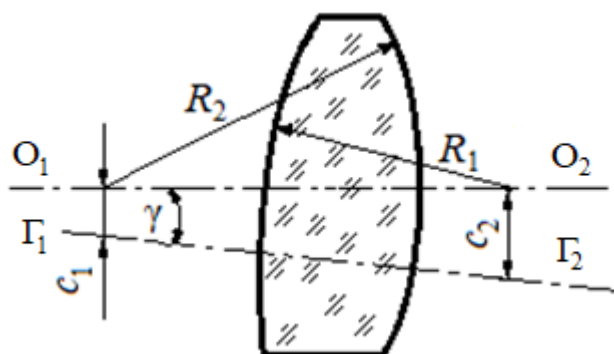


Рис. 3. К расчету допуска на децентрирование

Для устранения или уменьшения децентричности до допустимых значений по окончании полирования второй стороны линзы диаметром до 200 мм проводят операцию *центрирования* – это совмещение геометрической и оптической осей линзы.

Данную операцию выполняют в два перехода:

- а) совмещение оптической оси линзы с осью вращения шпинделя станка;
- б) шлифование цилиндрической поверхности линзы до заданного диаметра.

Точность центрирования зависит от нескольких факторов:

- величины и знака радиусов поверхностей линз;

- способа установки и закрепления линзы;
  - точности шпиндельной группы станка;
  - точности технологической базы, функцию которой исполняет кромка центрировочного патрона;
  - от перпендикулярности кромок патронов и оси вращения шпинделя.
- Существует несколько методов установки и закрепления линз для выполнения операции центрирования:
- механический: сжатием в самоцентрирующих патронах;
  - ручной: по блику; по прибору.

*Механический метод* заключается в установке и фиксации положения линзы зажатием между соосно установленными цилиндрическими самоцентрирующими патронами 1 и 3 (рис. 4), настроенными по упорам с автоматическим получением заданного размера, на центрировочных станках-полуавтоматах типа ЦС [2].

Величина силы сжатия патронов  $P_{сж}$  зависит от сферичности поверхностей линзы, характеризуемой углом  $\alpha$ , т. е. углом между касательными к сферическим поверхностям в точке их контакта с патронами. Угол  $\alpha$  должен быть: для менисков – не менее  $23^\circ$ ; для остальных типов линз – не менее  $17^\circ$ .

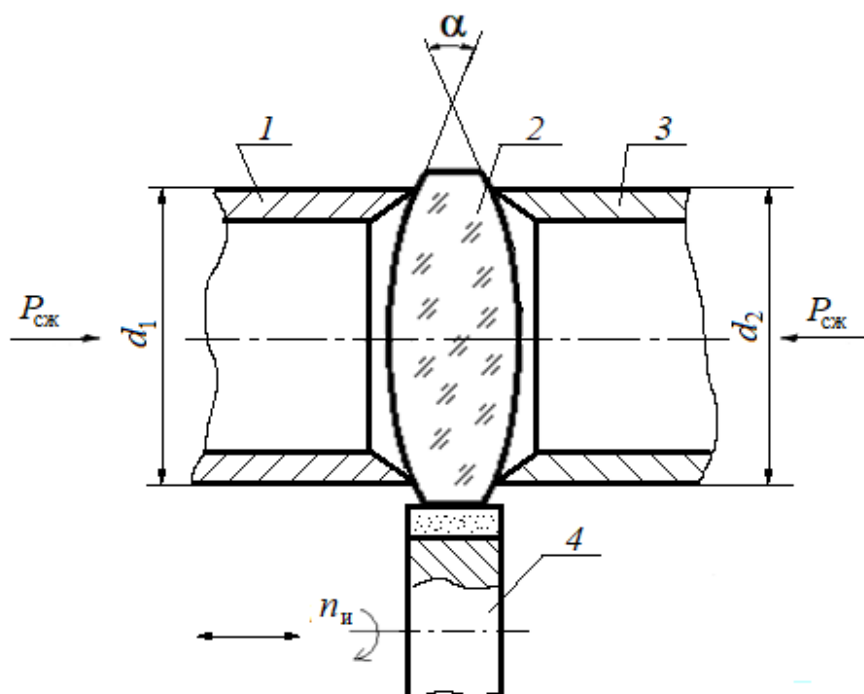


Рис. 4. Схема центрирования сжатием:

1 – ведущий патрон; 2 – линза; 3 – ведомый патрон; 4 – алмазный инструмент

Центрирование заготовки 2 производят алмазным инструментом 4. После обработки диаметр линзы контролируют скобой.

Погрешность центрирования данным методом зависит от размеров и кривизны сферических поверхностей линзы, соосности и точности изготовления кольцевых кромок патронов и составляет от 0,005 до 0,02 мм.

Метод самоцентрирования самый простой и производительный, применяется в средне-, крупносерийном и массовом производстве. Недостатком является трудоемкость настройки соосности патронов и невозможность самоцентрирования линз с поверхностями малой кривизны, у кото-  
рых

$$D \leq \frac{0,4 \cdot R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}, \quad (2)$$

где  $D$  – диаметр готовой линзы, мм;  $R_1$  и  $R_2$  – радиусы кривизны первой и второй исполнительных поверхностей линзы соответственно, мм.

Установку линзы по блику [3] осуществляют приклеиванием центрируемой детали 3 смолой 2 к трубчатому латунному патрону 1, закрепленному в шпинделе центрировочного станка (рис. 5).

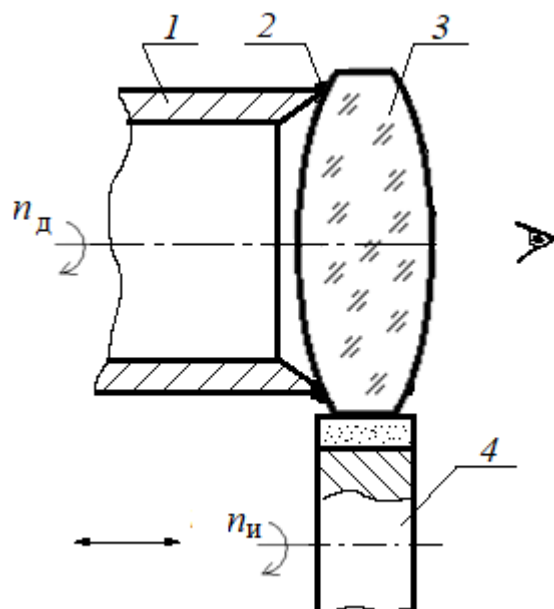


Рис. 5. Схема центрирования по блику:

1 – патрон; 2 – смола; 3 – линза; 4 – алмазный инструмент (круг)



Пока смола не затвердела, линзу перемещают по торцу патрона, совмещая ее оптическую ось с осью вращения шпинделя патрона 1. Контроль за правильностью установки линзы осуществляют наблюдением невооруженным глазом за угловым биением изображения (за положением блика) от источника света на поверхности линзы. При повороте шпинделя вручную блик должен не смещаться. Далее шлифуют торцевую поверхность линзы алмазным инструментом 4 для совмещения оптической оси с геометрической.

Метод трудоемкий, малопроизводительный и применяется, в основном, в единичном и мелкосерийном производстве либо, когда механический метод установки не обеспечивает заданную точность. Погрешность центрирования с установкой по блику достигает 0,02–0,1 мм.

Установка линзы по прибору заключается в следующем [3]. Линзу приклеивают на оправку, посадочное место которой точно соответствует посадочному месту в шпинделе станка, и базируют с помощью коллимационных приборов, работающих в проходящем или отраженном свете (рис. 6).

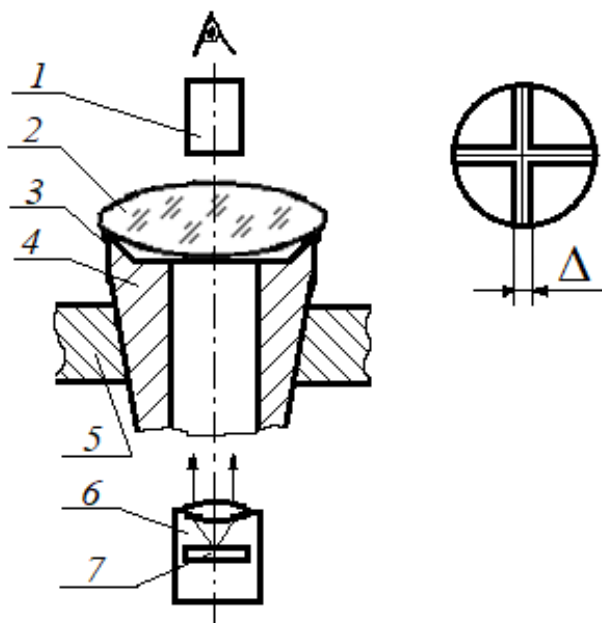


Рис. 6. Схема центрирования по прибору:

1 – окуляр; 2 – линза; 3 – смола; 4 – оправка; 5 – стол; 6 – коллиматор;  
7 – сетка

Свет от коллиматора 6 с сеткой 7 проходит через центральное отверстие оправки 4, установленной в коническое отверстие стола 5. Наклеенную на оправку 4 с помощью смолы 3 линзу 2 передвигают по ее кольцу, добиваясь такого положения, когда в поле зрения окуляра 1 изображение сетки 7 коллиматора попадет между полем допуска  $\Delta$ . После этого оправку с линзой охлаждают и шлифуют на центрировочном станке.

Метод самый точный, применяется в единичном и мелкосерийном производстве, реже при серийном и массовом, позволяет центрировать линзы с погрешностью до 0,003 мм. Недостатком является наличие большого набора специальных оправок для различных типоразмеров линз.

По окончании центрирования проводится контроль допустимой величины децентрировки линзы и далее – визуальный контроль качества поверхности. В результате могут проявиться дефекты, виды и причины возникновения которых приведены в табл. 1.

*Таблица 1*

Виды дефектов и причины их возникновения при центрировании линз

Вид дефекта	Причина возникновения
Децентрирование линзы выше допуска	<ul style="list-style-type: none"> <li>– неправильная установка линзы в патроне;</li> <li>– наличие забоин на посадочных местах патрона;</li> <li>– биение шпинделя станка выше допустимой нормы;</li> <li>– нарушение настройки прибора для проверки наклейки линзы</li> </ul>
Отступление диаметра линзы от размера, установленного чертежом	<ul style="list-style-type: none"> <li>– неточная установка упора;</li> <li>– завышенное или заниженное время кругления линзы;</li> <li>– применение изношенного мерительного инструмента или неправильный отсчет показаний инструмента;</li> <li>– большие подачи абразивного круга</li> </ul>
Выколки и трещины	<ul style="list-style-type: none"> <li>– использование крупнозернистых фракций в алмазном инструменте;</li> <li>– большая подача инструмента и слабая подача СОЖ;</li> <li>– биение инструмента или линзы более допустимого;</li> <li>– небрежность измерения</li> </ul>
Царапины и налеты	<ul style="list-style-type: none"> <li>– отсутствие чистоты на рабочем месте;</li> <li>– нарушение технологического режима</li> </ul>

## Практическая работа

### ЦЕНТРИРОВАНИЕ ЛИНЗ

**Цель работы:** получение навыков определения метода центрирования, характеристик инструмента, расчета режимов резания, машинного времени и выбора оборудования для центрирования.

#### Задание

1. Определить метод установки линзы для выполнения операции центрирования.
2. Выбрать характеристики алмазного инструмента для центрирования по ГОСТ 17007–80 [4].
3. Рассчитать режимы и машинное время шлифования при центрировании.
4. Выбрать оборудование для центрирования линз.

#### Исходные данные

1. Чертеж детали линзы (выдается преподавателем);
2. Нормативные, справочные технические документы и ГОСТ.

#### Порядок выполнения работы

##### *1. Определение метода установки линзы для центрирования*

Центрирование в самоцентрирующих патронах, как было сказано выше, проводится при выполнении двух условий: линза должна иметь достаточную кривизну сферических поверхностей и предельный угол зажима  $\alpha$  для менисков составляет свыше  $23^\circ$ , а для других типов линз – не менее  $17^\circ$ .

Для проверки первого условия используется формула (2).

Второе условие проверяется значением предельного угла зажима  $\alpha$  ( $^\circ$ ), рассчитываемого по формуле

$$\alpha = \alpha_1 + \alpha_2 = \arcsin \frac{d_1}{2 \cdot R_1} + \arcsin \frac{d_2}{2 \cdot R_2}, \quad (3)$$

где  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  – углы наклона касательных к первой и второй поверхностям, соответственно;  $d_1$  и  $d_2$  – диаметры патронов со стороны соответствующих радиусов кривизны сферических поверхностей линзы, мм.

Обычно диаметры этих патронов равны (см. рис. 4) и определяются

$$d = d_1 = d_2 = D - 0,2. \quad (4)$$

При выполнении обоих условий для центрирования линзы применяется метод сжатия (в самоцентрирующих патронах). В противном случае, центрирование производится путем наклейки линзы на патрон (метод установки по блику).

Усилие зажима линзы в самоцентрирующих патронах  $P_{сж}$  (Н) вычисляется по формуле

$$P_{сж} = \frac{0,68 \cdot P}{Z}, \quad (5)$$

где  $P$  – давление на линзу под влиянием подачи инструмента в зависимости от ширины края (диаметра) линзы (принять  $P = 100$  Н);  $Z$  – коэффициент зависимости кривизны линзы, взятый по абсолютной величине

$$Z = \left| \frac{\pm D_1 \cdot R_2 \pm D_2 \cdot R_1}{2 \cdot R_1 \cdot R_2} \right|, \quad (6)$$

где  $D_1$  и  $D_2$  – световые диаметры линзы соответственно со стороны меньшего и большего радиусов кривизны, взятые со знаками, мм.

## ***2. Выбор характеристик алмазного инструмента для центрирования линзы***

Для центрирования линз применяются алмазные круги прямого и фасонного профилей по ГОСТ 17007–80 [4]. Алмазный инструмент для центрирования линз изготавливается преимущественно из синтетического алмаза 100 % концентрации на связке М1.

Зернистость алмазного круга, обеспечивающая требуемую шероховатость обрабатываемой поверхности, зависит от диаметра линзы и выбирается в соответствии с ГОСТ 9206–80 [5] по табл. 2.

Таблица 2

Зависимость зернистости алмазного круга от диаметра линзы

Диаметр готовой линзы $D$ , мм	до 20	св. 20 до 40	св. 40 до 100	св. 100
Зернистость алмазного порошка	АСМ 28/20	АСМ 40/28	АСК50/40	АСК 63/50

### 3. Расчет режимов и машинного времени шлифования линзы

Основными параметрами, определяющими режим шлифования в процессе центрирования линз, являются:

- линейная скорость вращения инструмента  $V_{и}$ , м/с;
- скорость вращения детали  $V_{д}$ , м/с;
- частота вращения детали  $n_{д}$ , об/мин;
- радиальная подача инструмента за один оборот детали  $S_{об}$ , мм/об.

Для обеспечения оптимальных условий работы алмазного зерна, мощности резания и требуемой шероховатости обрабатываемой поверхности выбирается оптимальная скорость вращения инструмента в процессе центрирования  $V_{и} = 30$  м/с.

Экспериментально установлено, что скорость вращения детали при центрировании  $V_{д}$  будет составлять

$$V_{д} = \frac{V_{и}}{120}. \quad (7)$$

Частота вращения детали  $n_{д}$  определяется как

$$n_{д} = \frac{1000 \cdot 60 \cdot V_{д}}{\pi \cdot D}. \quad (8)$$

Радиальная подача инструмента вычисляется по формуле

$$S_{об} = \frac{S_{мин}}{n_d}, \quad (9)$$

где  $S_{мин}$  – минутная радиальная подача инструмента, мм/мин:

$$S_{мин} = \frac{130}{D} + 3. \quad (10)$$

Для обеспечения величины выколок на вогнутой поверхности линзы или при наличии тонкого края (менее 1 мм), не превышающих ширины фаски, установленной по чертежу детали, частота вращения детали и радиальная подача инструмента уменьшаются в 1,26 раза.

В соответствии с рассчитанными режимами шлифования при центрировании время снятия припуска  $T_{рез}$  (мин) будет равняться

$$T_{рез} = \frac{\delta_{ц}}{n_d \cdot S_{об}}, \quad (11)$$

где  $\delta_{ц}$  – припуск на механическую обработку диаметра линзы, мм [6].

Общее машинное время шлифования  $T_{маш}$  (мин) линзы при центрировании с учетом относительной твердости стекла по сошлифовыванию и требуемой точности диаметра определяется по формуле

$$T_{маш} = T_{рез} \cdot K_1 \cdot K_2, \quad (12)$$

где  $K_1$  – коэффициент корректировки времени шлифования в зависимости от точности обработки диаметра линзы. Для второго класса точности  $K_1 = 1,4$ ; для третьего класса точности и ниже – 1,2;  $K_2$  – коэффициент корректировки времени шлифования в зависимости от относительной твердости по сошлифовыванию стекла (табл. 3) [7].

Коэффициент  $K_2$  выбирается по табл. 4.

Таблица 3

## Относительная твердость по сошлифовыванию оптических стекол

Марка стекла	Относительная твердость	Марка стекла	Относительная твердость
ЛК1; ЛК3; ЛК4	0,9	ТК1; ТК17; ТК23	0,9
ЛК5	1,6	ТК2; ТК12; ТК13; ТК20; ТК21	0,8
ЛК6	0,7	ТК4	0,6
ЛК7	1,0	СТК3	0,8
ФК1	0,4	СТК7; СТК8	0,5
ФК13	0,5	СТК9	2,9
ФК14	0,2	СТК12	3
К1; К19	0,9	КФ1	0,9
К2–К18; К20	1,0	КФ4; КФ7	0,8
БК4; БК8; БК9	0,8	КФ5	1,2
БК6; БК11–БК13	0,9	КФ6; КФ8	1,0
БК10	0,7	БФ1	1,0
БФ4; БФ28	0,8	Ф6–Ф8; Ф13	0,7
БФ6–БФ16	0,5–0,6	ТФ2, ТФ4, ТФ8	0,6
БФ18; БФ21; БФ25–Ф27	0,9	ТФ1; ТФ3; ТФ5; ТФ7; ТФ10	0,5
БФ19; БФ23	0,7	ТФ11	0,4
ТБФ3	1,3	ТФ12	0,8
ТБФ4	1,7	ОФ1	0,9
ЛФ1; ЛФ10	0,9	ОФ2	0,6
ЛФ5; ЛФ8	0,8	ОФ3	0,8
ЛФ7; ЛФ11	0,7	ОФ4	0,4
Ф1; Ф9	0,5	ОФ5	0,3
Ф2; Ф4	0,6		

Зависимость времени шлифования от относительной твердости стекла по сошлифовыванию

Относительная твердость стекла по сошлифовыванию, $H_c$	< 0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	$\geq 1,0$
Коэффициент корректировки, $K_2$	0,6	0,8	0,85	0,9	0,95	0,97	0,99

#### 4. Выбор оборудования для центрирования линз

Для центрирования линз применяются специальные центрировочные станки–полуавтоматы типа ЦС и станки–автоматы типа АЦС.

При выборе модели станка руководствуются, в первую очередь, размером партии, точностью центрирования, формой линзы, а затем – близким к расчетному режимом работы станка. В табл. 5 представлены основные технические характеристики некоторых центрировочных станков [1].

#### Контрольные вопросы

1. Для чего центрируют линзы?
2. Каковы причины возникновения «косины» линзы?
3. Что является признаками децентрировки линз?
4. Каково влияние децентричности на качество изображения?
5. Какими способами можно проводить операцию центрирования?
6. Каковы условия центрирования в самоцентрирующих патронах?
7. Какой метод центрирования является самым точным?
8. Из каких переходов состоит операция центрирования?
9. Какие дефекты могут возникнуть в процессе центрирования и причины их появления?
10. Как осуществляется контроль линзы после центрирования?



## Характеристики центрировочных станков

Модель станка	Диаметр обрабатываемой детали, мм	Частота вращения шпинделя, об/мин		Диаметр алмазного инструмента, мм	Точность центрирования, мм	Радиальная подача инструмента на один оборот шпинделя, мм/об	Усилие зажима, Н
		инструмента	детали				
Автомат АЦС-6	1–6	4000–7000	15–150	14	20 <sup>//</sup>	–	–
Полуавтомат ЦС-10	3–10	4000	60; 80; 130; 200	150	0,05–0,01	0,013; 0,018; 0,027; 0,038; 0,055; 0,077	–
Полуавтомат ЦСМ-10	3–10	4000	60–80	150	0,01	0,013; 0,018; 0,027; 0,038; 0,055; 0,077	–
Автомат АЦС-20	6–20	2000–4000	15–150	32	20 <sup>//</sup>	–	–
Автомат АЦС-25	3–25	3500	160; 240	150	0,005	0,03; 0,05	0–147
Автомат АЦСМ-25	10–25	3000	160; 240; 400	200	0,005	–	–
Полуавтомат ЦС-50	10–50	2800	60; 90; 120; 200	200	0,01	0,03; 0,05; 0,08	39–49
Полуавтомат ЦСМ-50	10–50	2800	160–400	200	0,01	0,03; 0,05; 0,08	39–49
Полуавтомат ЦСМ-50М	10–50	2800	6–160; 9–250	200	0,01	0,03; 0,05; 0,08	39–49

Окончание табл. 2

Модель станка	Диаметр обрабатываемой детали, мм	Частота вращения шпинделя, об/мин		Диаметр алмазного инструмента, мм	Точность центрирования, мм	Радиальная подача инструмента на один оборот шпинделя, мм/об	Усилие зажима, Н
Полуавтомат ЦСМ-50МА	10–50	2800	6–400	200	0,005	0,03; 0,05; 0,08	39–49
Автомат АЦСМ-50	25–50	2800	160; 250; 400	200	0,005	–	–
Полуавтомат ЦС-100	20–100	2800	46; 76,6; 112,6; 187	200	0,005	0,04; 0,07; 0,10	–
Полуавтомат ЦСМ-100	50–100	2800	100–250	200	0,005	0,04; 0,07; 0,10	–
Полуавтомат ЦС-350	100–350	2500	12–90	250	0,010–0,015	0,0189–0,0327	–

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Окатов М. А., Антонов Э. А., Байгожин А. Справочник технолога-оптика : к изучению дисциплины ; ред. М. А. Окатов. – 2-е изд., испр. и доп. – СПб. : Политехника, 2004. – 679 с.
2. Зубаков В. Г., Семибратов М. Н., Штандель С. К. Технология оптических деталей. – М. : Машиностроение, 1985. – 368 с.
3. Ефремов А. А., Сальников Ю. В. Изготовление и контроль оптических деталей : учеб. пособие для средних проф.-техн. училищ. – М. : Высшая школа, 1983. – 255 с.
4. ГОСТ 17007–80. Круги алмазные плоские формы 6А2Т и 1А2Т. Технические условия. – Введ. 1982–01–01. – М. : Изд-во стандартов, 1985. – 11 с.
5. ГОСТ 9206–80. Порошки алмазные. Технические условия. – Введ. 1981–01–07. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 54 с.
6. Бобылева Е. Г., Кутенкова Е. Ю. Технология оптических деталей. Расчет заготовок оптических деталей : сб. описаний практ. работ. – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. – 68 с.
7. Бобылева Е. Г. Оптические технологии и материалы. Расчет алмазно-абразивного инструмента : практикум. – Новосибирск : СГУГиТ, 2022. – 35 с.

*Учебное издание*

**Бобылева** Елизавета Геннадьевна

**Парко** Ирина Владимировна

**ОПТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ  
И МАТЕРИАЛЫ  
ЦЕНТРИРОВАНИЕ ЛИНЗ**

Редактирование и компьютерная верстка

*Ю. С. Мерзликиной*

Изд. лиц. ЛР № 020461 от 04.03.1997

Подписано в печать 06.11.2024. Формат 60 × 84 1/16

Усл. печ. л. 1,16. Тираж 49 экз. Заказ 146 .

Гигиеническое заключение

№ 54.НК.05.953.П.000147.12.02. от 10.12.2002

Редакционно-издательский отдел СГУГиТ

630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 10.

Отпечатано в картопечатной лаборатории СГУГиТ

630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 8.