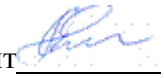
Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»
в г. Смоленске

Методическое обеспечение дисциплины

КОНСТРУИРОВАНИЕ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОЭС

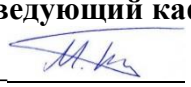
Смоленск – 2020 г.

Методические материалы составил:

доцент  _____ Конаков А.Н.
подпись ФИО

« 25 » июня 2020 г.

Заведующий кафедрой «Оптико-электронные системы»:

 _____ Беляков Михаил Владимирович
подпись ФИО

« 2 » июля 2020 г.

Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»
в г. Смоленске

Методическое обеспечение лекций
по дисциплине

КОНСТРУИРОВАНИЕ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОЭП

Смоленск – 2020 г.

Комплект слайдов к лекциям

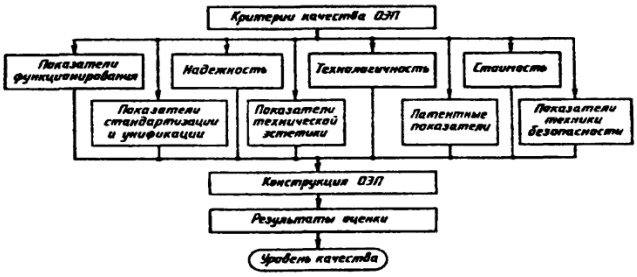
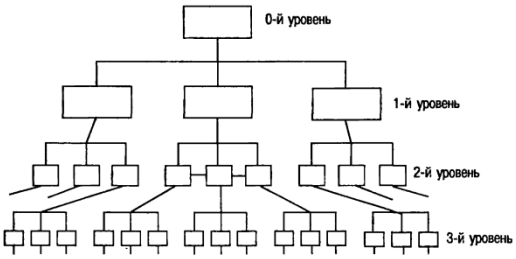
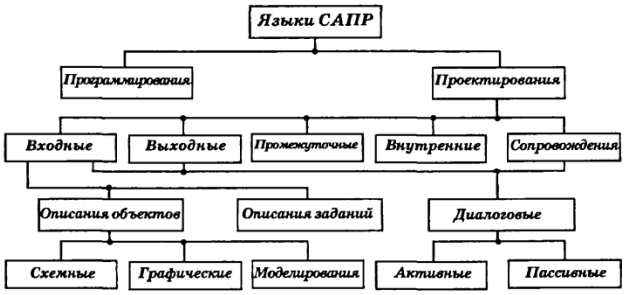


Рис. 1.2. Схема оценки качества ОЭП





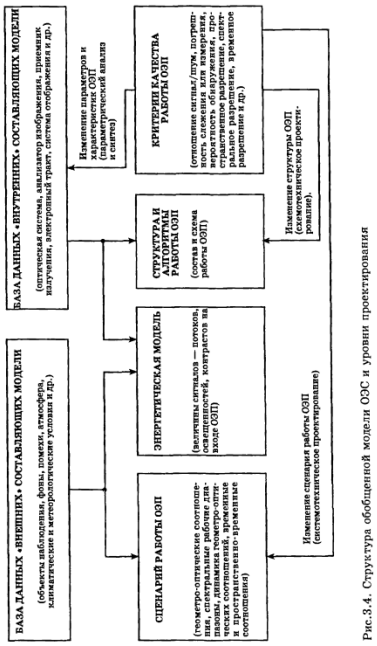


Рис.3.4. Структура обобщенной модели ОЭС и уровни проектирования

Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»
в г. Смоленске

Лабораторный практикум
по дисциплине

КОНСТРУИРОВАНИЕ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОЭП

Смоленск – 2020 г.

1. Цели лабораторного практикума

Лабораторный практикум по дисциплине «Конструирование и проектирование ОЭП» служит для практического подкрепления лекционного материала и привития навыков работы в чертежно-графическом редакторе КОМПАС-ГРАФИК.

Лабораторные занятия по дисциплине проводятся в лаб. В-212 «Оптико-электронные системы» учебно-лабораторного корпуса филиала ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске.

Цель работы: выполнить чертеж двухлинзового объектива с нанесением размеров и штриховки в чертежно-графическом редакторе КОМПАС – ГРАФИК, используя значения, полученные в ходе выполнения курсового проекта по курсу «Конструирование и проектирование оптико-электронных систем».

Задание:

1. Запустить чертежно-графический редактор КОМПАС–ГРАФИК;
2. Создать новый лист, на котором изобразить заданный чертеж;
3. Нанести линейные, диаметральные, радиальные размеры, сделать штриховку соответствующих областей;
4. Сохранить файл и оформить отчет.

2. Теоретическое введение и состав лабораторного оборудования

Целью работы является выполнение чертежа двухлинзового объектива с нанесением размеров и штриховки в чертежно-графическом редакторе КОМПАС – ГРАФИК, используя значения, полученные в ходе выполнения курсового проекта по курсу «Конструирование и проектирование оптико-электронных систем».

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

1. ПОСТРОЕНИЕ ЧЕРТЕЖА

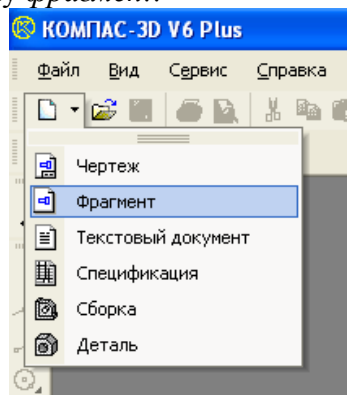
В соответствии с курсовым проектом требуется выполнить чертеж двухлинзового несклеенного объектива с размерами:

$D_1 = 25$ мм; $D_2 = 22$ мм;

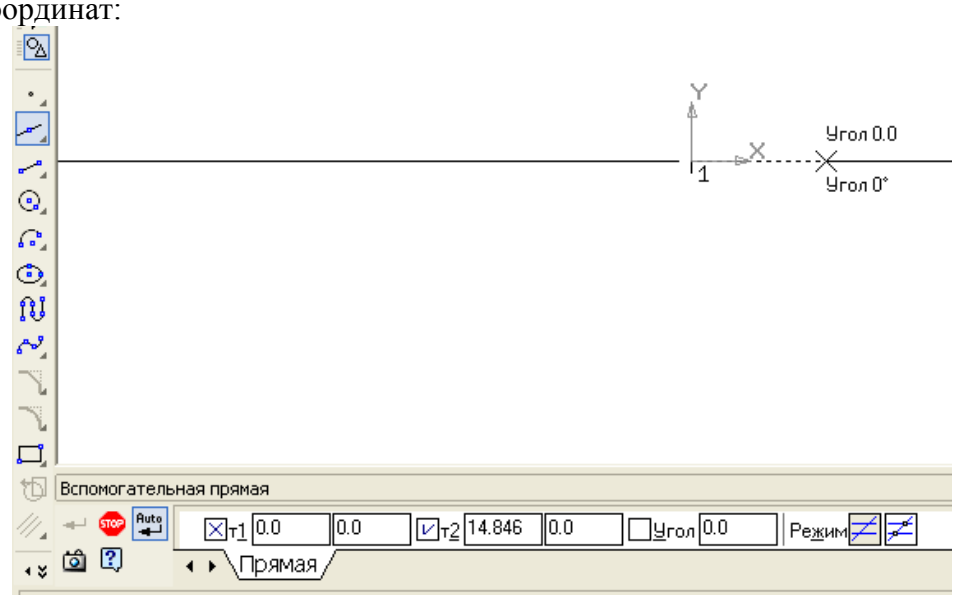
$r_1 = 75$ мм; $r_2 = -60$ мм; $r_3 = -90$ мм; $r_4 = 80$ мм;

$d_1 = 4$ мм; $d_2 = 2{,}5$ мм; $d_{12} = 2$ мм

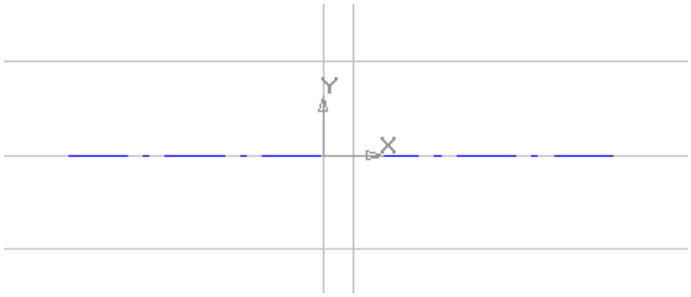
В меню *создать* выбираем вкладку *фрагмен:*.



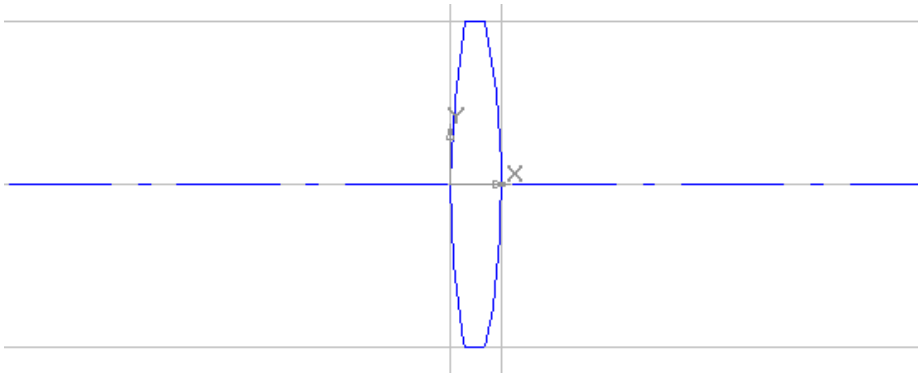
Построение чертежа для удобства следует начинать с нанесения вспомогательной прямой через систему координат:



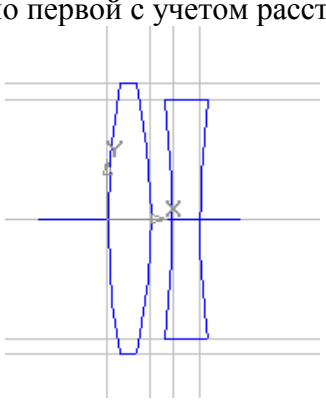
Наносим осевую линию, для чего нажимаем вкладку *отрезок* и выбираем соответствующий стиль. Проводим две вертикальные вспомогательные прямые с расстоянием между ними $d_1 = 4$ мм, и две горизонтальные с расстоянием между ними $D_1 = 25$ мм.



Нажимаем кнопку *дуга* во вкладке *геометрия* , в панели свойств указываем радиус дуги r_1 = 75. Строим дугу таким образом, чтобы она касалась первой вертикальной вспомогательной линии, ее верхнюю и нижнюю границы определяют горизонтальные вспомогательные прямые. Аналогично строим вторую дугу с радиусом r_2 = -60 мм. Соединяем отрезком верхние и нижние концы дуг.



Вторую линзу строим аналогично первой с учетом расстояния между ними d_{12} = 2 мм.

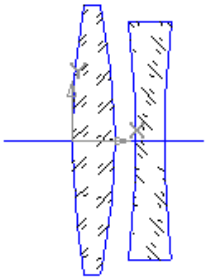


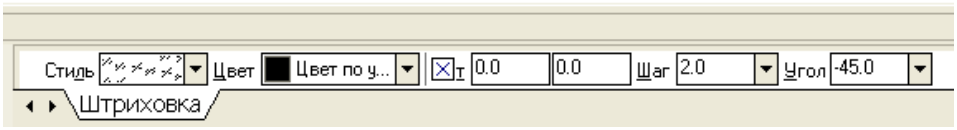
После построения чертежа вспомогательные линии можно удалить через меню *редактор – удалить – вспомогательные кривые и точки.*

2. ШТРИХОВКА ОБЛАСТЕЙ

Команда *Штриховка* на странице *Геометрия Инструментальной панели* позволяет заштриховать одну или несколько областей в текущем виде чертежа или фрагменте. По умолчанию ожидается ввод точки для автоматического определения границ штрихуемой области, внутри которой указана точка.

После задания границ штриховки выполняется ее предварительное построение. До фиксации штриховки можно изменить ее параметры (шаг штриховки, угол наклона, базовую точку и текущий стиль), задавая нужные значения в полях *панели свойств.*

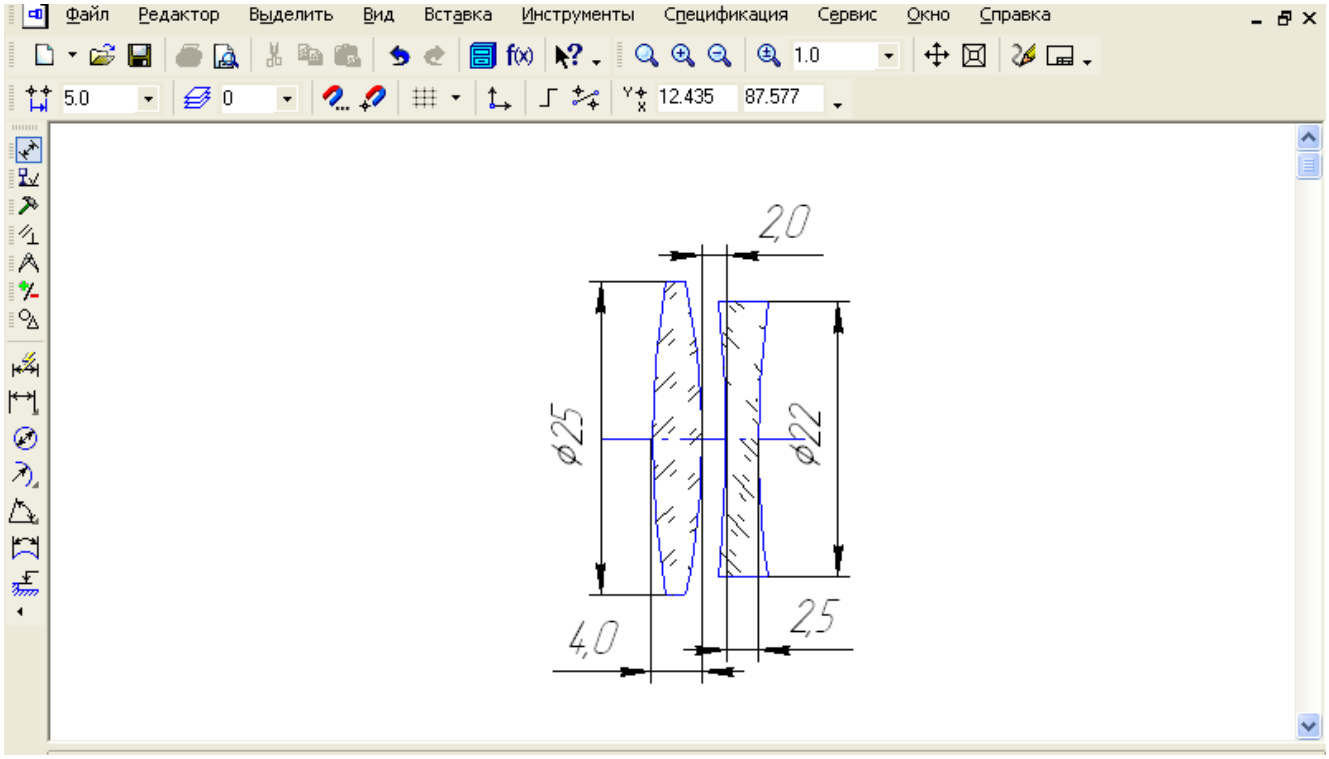




3. ПРОСТАНОВКА РАЗМЕРОВ

КОМПАС-ГРАФИК поддерживает все предусмотренные ЕСКД типы размеров: линейные, диаметральные, угловые и радиальные. Кнопка *Размеры* вызова соответствующих команд расположена на *Инструментальной панели.*

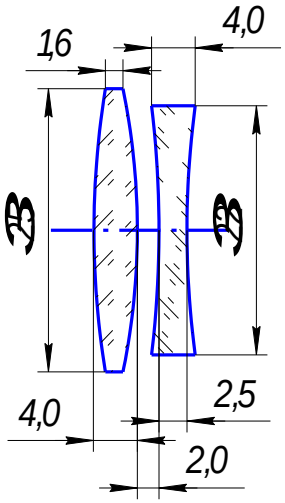
КОМПАС-ГРАФИК проставляет значения размеров автоматически. Если значение проставленного размера не соответствует требуемому, то его можно отредактировать дважды щелкнув на нем левой кнопкой мышки.



ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

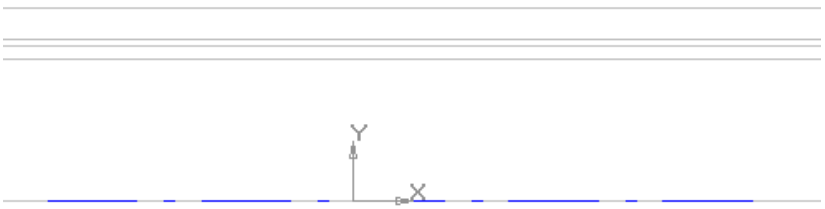
1. ПОСТРОЕНИЕ ЧЕРТЕЖА ОПРАВЫ

В соответствии с курсовым проектом требуется выполнить чертеж оправы объектива, чертеж которого был сделан в предыдущей работе:



$D_1 = 25$ мм; $D_2 = 22$ мм;
$r_1 = 75$ мм; $r_2 = -60$ мм; $r_3 = -90$ мм; $r_4 = 80$ мм;
$d_1 = 4$ мм; $d_2 = 2{,}5$ мм; $d_{12} = 2$ мм;
$t_1 = 1{,}6$ мм; $t_2 = 4{,}0$ мм.

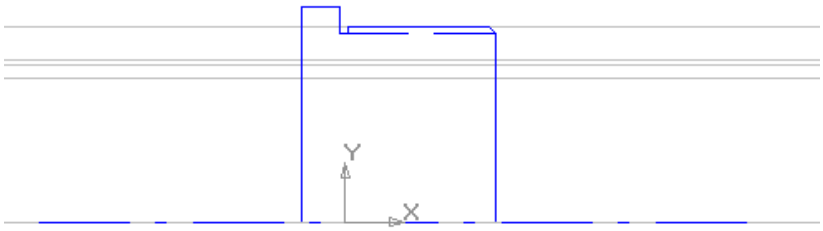
Построение чертежа начинаем с нанесения вспомогательных прямых через систему координат, по краям линз и на высоте, определяющей диаметр резьбы оправы, а также осевой линии:



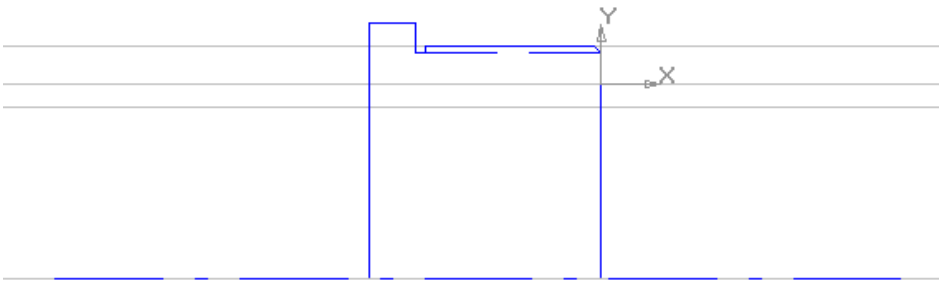
Так как оправа объектива является осесимметричной, то будем изображать только одну половину чертежа.

По условию, объектив является двухлинзовым несклеенным и закрепляется в оправе при помощи резьбового кольца. Чтобы обеспечить требуемое расстояние между линзами, используется промежуточное кольцо.

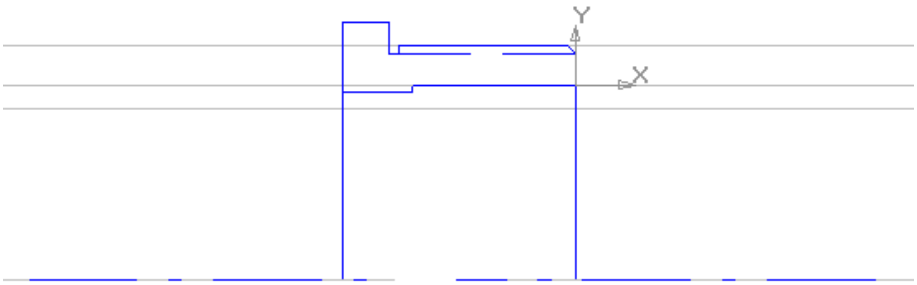
Изображение чертежа оправы начинаем с наружной ее части: резьбовой и выступа необходимого для удобства фокусировки:



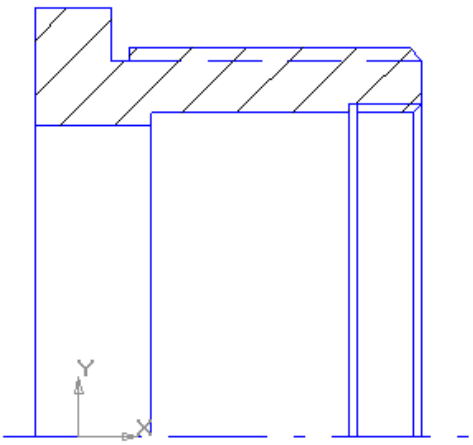
Далее чертим внутреннюю часть оправы. Для удобства отсчета расстояний создаем локальную систему координат путем нажатия кнопки *локальная ск* на *панели текущего состояния:*



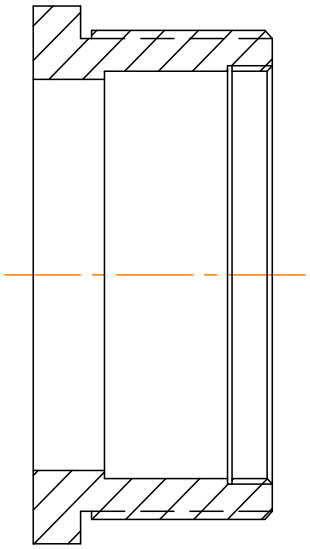
Чертим площадку, на которой будет размещаться объектив и резьбовое кольцо:



В правой части оправы изображаем резьбу для зажимного резьбового кольца и выполняем штриховку оправы:



Выполнив чертеж, выделяем его с помощью мышки, и командой *симметрия* вкладки *редактировать* на *инструментальной панели* выполняем преобразование симметрии относительно оси.



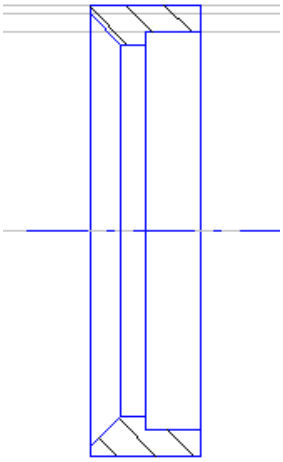
2. ПОСТРОЕНИЕ ЧЕРТЕЖА ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОЛЬЦА

Аналогично первому пункту будем строить только половину кольца.

Так как линзы имеют различный диаметр, то вторая линза будет стоять в промежуточном кольце. Ширина кольца будет равна сумме расстояний между линзами по краю и толщине второй линзы.

Внутри кольцо имеет площадку для второй линзы и упор, высота которого не должна ограничивать световой пучок лучей:

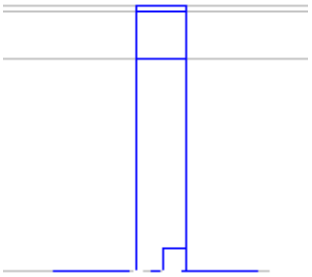
Левый край кольца прижимает первую линзу. После выполнения штриховки и симметрирования, получим:



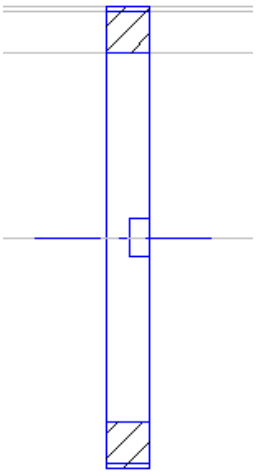
3. ПОСТРОЕНИЕ ЧЕРТЕЖА РЕЗЬБОВОГО КОЛЬЦА

Аналогично первому пункту будем строить только половину кольца.

Внутренний диаметр кольца должен обеспечивать надежное закрепление второй линзы и промежуточного кольца, и не влиять на ход лучей. Резьбовое кольцо имеет проточки для ключа.



После выполнения штриховки и симметрирования, получим:

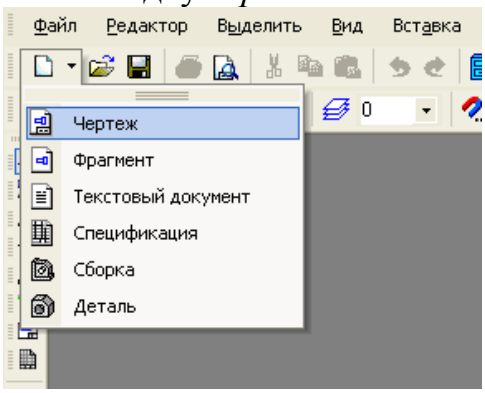


После построения чертежа вспомогательные линии можно удалить через меню *редактор – удалить – вспомогательные кривые и точки.*

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

1. ПОСТРОЕНИЕ ЧЕРТЕЖА ОПРАВЫ

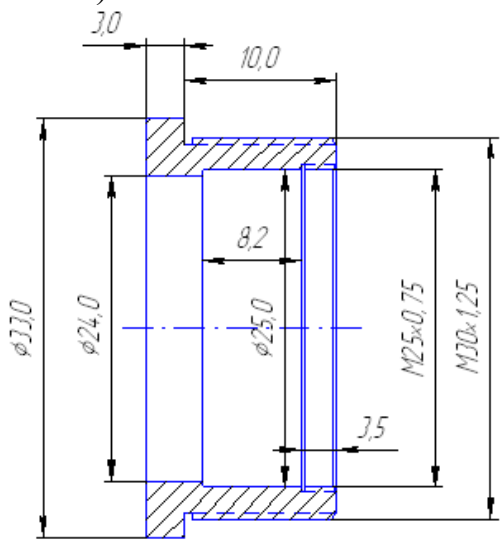
В меню *создать* выбираем вкладку *чертеж:*



В созданном листе нажимаем правой кнопкой мышки, в появившемся меню выбираем вкладку *вставить внешний фрагмент*, выбираем файл для открытия (сохраненный фрагмент оправы объектива, выполненный в лабораторной работе № 2), выбираем место для вставки чертежа на листе, подтверждаем выбор нажатием левой кнопки мышки. На появившемся фрагменте нажимаем правой кнопкой мышки и выбираем вкладку *разрушить*. С этого момента вставленный чертеж можно редактировать.

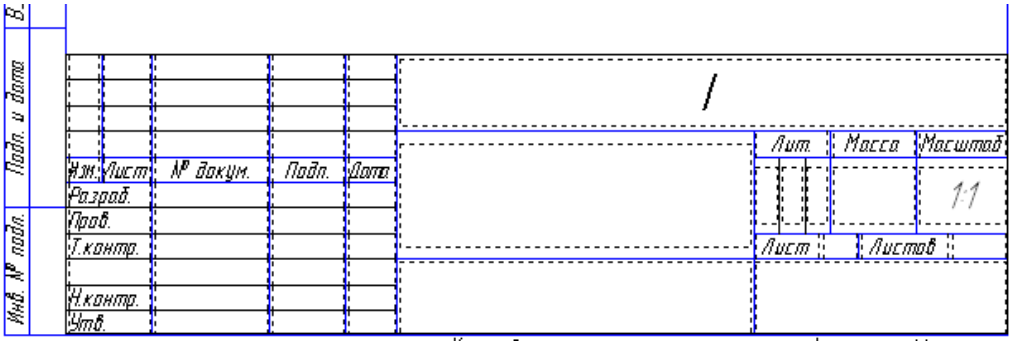
Выделяем чертеж оправы с помощью мышки, и командой *масштабирование* вкладки *редактировать* на *инструментальной панели* задаем необходимый масштаб чертежа.

Расстановку необходимых размеров производим аналогично лабораторной работе № 1, расставляя их значения вручную (после операции *масштабирование* значения размеров также изменились).

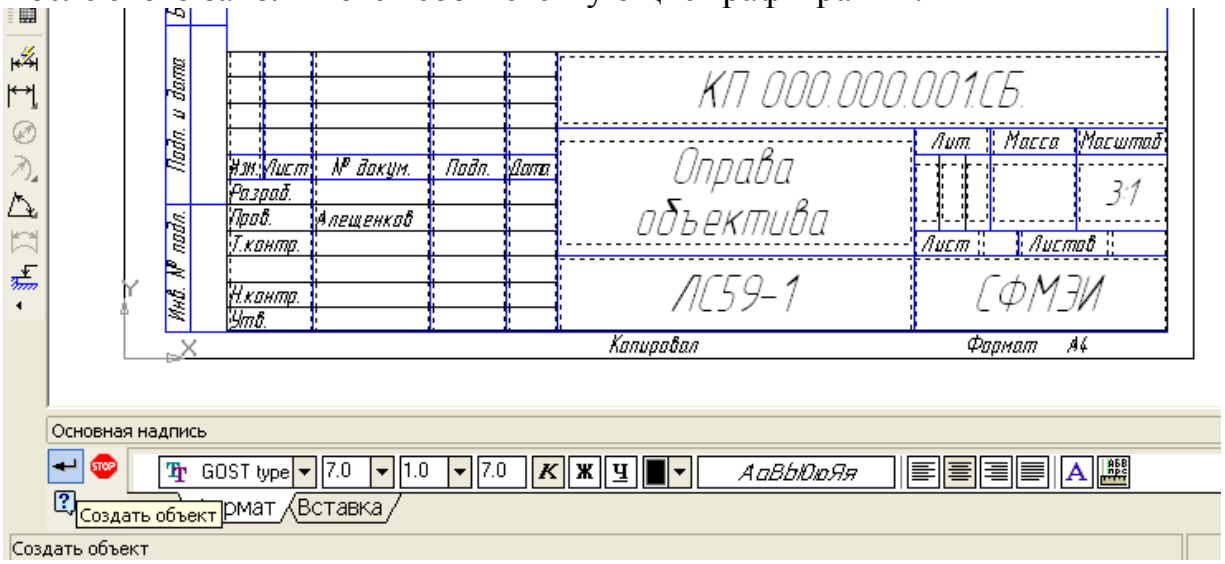


2. ЗАПОЛНЕНИЕ ОСНОВНОЙ РАМКИ

Активизировать эту область листа можно двойным нажатием левой кнопки мышки.



После этого заполняются соответствующие графы рамки:



Для сохранения внесенных изменений надо нажать кнопку *создать объект.*

3. Перечень лабораторных работ и методические рекомендации по выполнению рабочего задания

Лабораторный практикум включает 4 лабораторных работ (по 4 часа).

Рабочее задание на лабораторный практикум:

1. Запуск чертежно-графического редактора КОМПАС-ГРАФИК (2 часа)
2. Чертеж объектива, нанесение размеров и штриховок
3. Чертеж оправы объектива
4. Сборочный чертеж объектива, оформление рамки

Защита лабораторных работ.

3. Контрольные вопросы

1. Какие возможности обеспечивает чертежно-графический редактор КОМПАС-ГРАФИК.
2. Как осуществляется создание нового чертежа?
3. В каких режимах наносятся размеры на чертежи деталей?
4. Порядок нанесения линейных размеров?

5. Порядок нанесения диаметральных размеров?
6. Порядок нанесения радиальных размеров?
7. Каким образом осуществляется нанесение штриховки соответствующих областей чертежа?
8. Как выбрать фрагмент соответствующей детали?
9. Как выполнить текстовый документ в данном редакторе?
10. Как нанести спецификацию на чертеже?
11. Как выбрать вкладку *фрагмент*?
12. Как наносится вспомогательная прямая через систему координат?
13. Как наносится осевая линия.
14. Как проводятся вертикальные и горизонтальные линии, с заданным расстоянием между ними?
15. Каким образом строятся дуги, определенного радиуса?
16. Как удаляются вспомогательные кривые и точки?
17. Как осуществляется штриховка одной или нескольких областей в текущем виде чертежа?
18. Как изменить параметры штриховки (Шаг штриховки, угол наклона, базовой точки и текущего стиля)?
19. Как проставить размеры на чертеже (Линейные, диаметральные, угловые и радиальные)?
20. Как осуществляется редактирование размеров?
21. Почему изображается только половина оправы объектива?
22. Как обеспечить требуемое расстояние между объективами?
23. Почему изображение чертежа оправы начинается с наружной ее части?
24. Как выполняется чертеж внутренней части оправы?
25. Как создать локальную систему координат?
26. Как изобразить резьбу для зажимного резьбового кольца?
27. Как выполнить штриховку оправы?
28. Как осуществить преобразование симметрии относительно оси?
29. Как осуществить построение промежуточного кольца?
30. Как осуществить построение чертежа резьбового кольца?
31. Как удалить вспомогательные кривые и точки?
32. Как создать чертеж?
33. Как вставить внешний фрагмент?
34. Как задать необходимый масштаб чертежа?
35. Как расставить вручную необходимые размеры на чертеже?
36. Как выделить чертеж оправы?
37. Как создать рамку на чертеже?
38. Как активизировать эту область листа?
39. Как заполнить соответствующие графы рамки?
40. Как сохранить внесенные изменения?
41. Какую функцию выполняет кнопка *создать объект?*

Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»
в г. Смоленске

Методические рекомендации к практическим занятиям по дисциплине

КОНСТРУИРОВАНИЕ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОЭП

Смоленск – 2020 г.

1. Цели и задачи, объем практических занятий по дисциплине

Цель практических занятий по дисциплине «Оптико-электронные приборы и системы» – закрепление лекционного материала дисциплины, обучение студентов практической стороне компетенций, закрепленных за дисциплиной.

Для достижения поставленной цели на практических занятиях решаются следующие задачи:

- расчёты моделей оптико-электронных систем и их важнейших элементов;
- синтез математических моделей, соответствующих разработанным структурным и функциональным.

Объем практических занятий - в соответствии с рабочей программой дисциплины «Оптико-электронные приборы и системы».

2. Задания на практические занятия по дисциплине

Цель практических занятий по дисциплине – закрепление лекционного материала дисциплины, обучение студентов практической стороне компетенций, закрепленных за дисциплиной.

Задания на практические занятия по дисциплине

Задачи

1. Определите расстояние $d_{1,2}$ между компонентами, если $f'_{об}$=75, φ_1'=0,028, φ_2'=-0.0154

2. Проведите расчет допуска на радиус кривизны, если $\Delta f'_{доп}$=0,7 мм, h_1/h_2 = 1; p=4; $k_{\Delta r}$ = ⅓; n=1.5915; $f'_{об}$ = 116 мм; r_k=75.55

3. Проведите расчет допуска на число колец Ньютона, если λ = 555 нм, $D_{св}$=16; r_k=75.55; $\Delta r_{доп}$=0.0949

4. Определите допуски на местные искажения от идеальной формы интерференционных колец $\Delta N_{i\,доп}$, если $\Delta z'_{a,доп}$=*0,08* мм; $D_{св}$=16; p=4; n=1.5915; n' =1; $f'_{об}$ = 116 мм

5. Определите допуск на отклонение показателя преломления, если m=2; $f'_{об}$ = 116 мм; n=1.5915; $k_{\Delta n}$ = ⅓; $\Delta f'_{доп}$=0,7 мм; f'_i = 59,6 мм; h_1/h_2 = 1 ,1

6. Рассчитайте допуск на температурную деформацию радиусов кривизны, если $\Delta T = 80^0$; r_k = 75.55; α=55·10^{-7} *1/град*

7. Рассчитайте допуск на температурную деформацию показателя преломления, если $\Delta T = 80^o$; β, *1/град*=35·10^{-7}

8. Определите изменение оптической силы компонента $\Delta\varphi$, если β=35·10^{-7} *1/град;* α=55·10^{-7} *1/град;* n=1.5915; $\Delta T = 80^o$; φ'=0.017

9. Рассчитайте допуск на температурную деформацию фокусного расстояния объектива, если: $\Delta\varphi'_1 = 5{,}75\cdot10^{-7}$ $\Delta\varphi'_2 = -7{,}402\cdot10^{-7}$ $h_1/h_2 = 1$ $f'_{об} = 116$ мм

10. Определите допуск замыкающего звена TA_Δ, если $a_{ср}$=*16*; $A1_{ср} = 1{,}50$ мм; $A2_{ср} = 1{,}787$ мм; $A3_{ср} = 3{,}056$ мм

11. Рассчитайте максимальную толщину клина по краю $h_{кл2}$, если $D_{кл} = 18$ мм $\gamma = 2^\circ16'$; $h_{кл1}$=*2,0* мм.

12. Определите постоянную времени приемника излучения, если f=40 Гц

13. Рассчитайте момент инерции ведущего шкива, представив его в виде цилиндра радиусом *R=8,4* мм и высотой *h=6,0* мм (материал шкива - дюралюминий Д6, $\rho = 2{,}73$ г/см^3)

14. Определите электромеханическую постоянную времени, если
J_a =0,170·10^{-5} кг·м^2; $J_{пр}$ =4,382·10^{-6} кг·м^2; $T_{M\,0} = 0{,}02$ с

15. Рассчитайте время выхода системы на рабочий режим, $T_м$ =0.072с

16. Определите допуск на отклонение показателя преломления, если m=2; $f'_{об} = 116$ мм; n=1.5915; $k_{\Delta n}$ = ⅓; $\Delta f'_{доп}$=0,7 мм; $f'_i = 59{,}6$ мм; $h_1/h_2 = 1$

17. Проведите расчет светового диаметра линзы, если D: $f'_{об}$=1:5.1, $f'_{об}$=75

18. Проведите расчет радиуса поверхности, если n=1,723, $\varphi' = 0{,}028$

19. Проведите расчет оптической силы второй линзы, если h_1/h_2=1.05, $\varphi'_{пр\,i}$ =2.1, $f'_{об}$=75мм.

20. Рассчитайте оптическую силу линзы, если $\varphi'_{пр\,i}$ =2.1; $f'_{об}$=75мм.

21. Определить стрелки прогиба l_1, l_2 если D=19 mm, r_1 =75,55 r_2=-66,76

3. Технология проведения практических занятий

Для студенческой группы на занятии выдается задание, общая формулировка которого приведена в разделе 2 настоящих методических указаний.

Алгоритм проведения практических занятий по дисциплине предполагается следующий:

- после выдачи задания в первые 30 мин. занятия студенты анализируют исходные данные, записывают математические выражения (при необходимости) и решают задачу.
- один из студентов группы вызывается «к доске» и демонстрирует группе вариант решения задания со своими числовыми данными;
- организуется интерактивное обсуждение результатов с разграничением функциональных обязанностей студентов.
- в последние 30 мин. занятия каждый студент предъявляет преподавателю варианты решения предложенных задач.

4. Примерные вопросы, выносимые на экзамен по дисциплине, по темам практических занятий

1. Энергетические расчеты ОЭП
2. Расчет габаритных параметров приемной системы
3. Расчет и выбор параметров приемников излучений.
4. Выбор и расчет основных параметров сканирующей системы.
5. Энергетический расчет тепловизионной системы.
6. Энергетический расчет автоколлиматора.
7. Особенности габаритного расчета приемных оптических систем ОЭП.
8. Сранительная оценка и выбор вида модуляции.

Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»
в г. Смоленске

Методические рекомендации к курсовой работе
по дисциплине

КОНСТРУИРОВАНИЕ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОЭП

Смоленск – 2020 г.

1. Цели и задачи, объем курсовой работы по дисциплине

Цель курсовой работы по дисциплине «Оптико-электронные приборы и системы» – закрепление соответствующего лекционного материала дисциплины.

Разработать конструкцию оптико-механической части сканирующего прибора с возможностью фокусировки объектива.
В процессе проектирования необходимо:
1. Провести анализ ТЗ и технической литературы. Определить исходные данные для расчета. Обосновать функциональную и расчетную схему.
2. Произвести предварительный габаритный расчет оптической системы (расчет конструктивных параметров, допусков, размерных цепей).
3. Рассчитать конструктивные параметры оптико-механического узла (включая расчет оправы объектива)
4. Провести кинематический расчет и выбор двигателя.
5. Рассчитать время выхода прибора на рабочий режим.
6. Выбрать и обосновать материалы и технологии всех нестандартных элементов узла с учетом минимизации веса, габаритов, а также обеспечения надлежащей прочности, надежности конструкции и обеспечения технической эстетики.

На выполнение курсовой работы предполагается 0.5 з.е., 18 часов (из числа часов, выделяемых в учебном плане на самостоятельную работу студентов) в 8 семестре программы «Оптотехника».

2. Задание на расчетно-графическую работу по дисциплине

1. Провести анализ ТЗ и технической литературы. Определить исходные данные для расчета. Обосновать функциональную и расчетную схему.
2. Произвести предварительный габаритный расчет оптической системы (расчет конструктивных параметров, допусков, размерных цепей).
3. Рассчитать конструктивные параметры оптико-механического узла (включая расчет оправы объектива)
4. Провести кинематический расчет и выбор двигателя.

3. Указания по выполнению индивидуальных заданий

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

1. Выбрать и обосновать оптико-механическою часть прибора.
2. Определить и согласовать конструктивные параметры оптических элементов.
3. Рассчитать механизм сканирующей системы и выбрать двигатель.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Тип объектива	Двухлинзовый несклееный
Материалы линз	ТФ-3, Ф-1
$f'_{об}$, мм	75
D: $f'_{об}$	1:5,1
h_1/h_2	1,05
$Ф'_{1пр}$	2,1
$\Delta f_{доп}$, %	1
Глубина фокусировки, %	5
Сканирующий элемент	Оптический клин
Вид развертки	Конический
Закон сканирования	Равномерный
Частота, Гц	40
2α,°	0,5
2 β ,°	2

1. *ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ОЭП*

На основании условий заданных в техническом задании составим обобщенную схему разрабатываемого ОЭП.

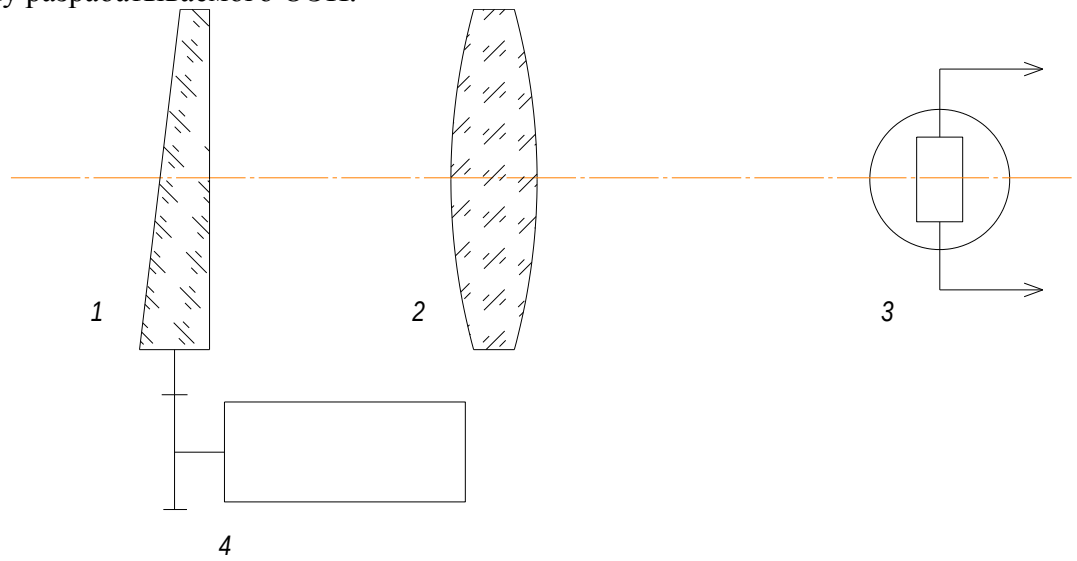


Рис. 1.1. Обобщенная схема сканирующей системы:
1 – оптический клин; 2 – объектив; 3 – приёмник оптического излучения; 4 – электродвигатель

Объектив в данной системе предназначен, для получения изображения исследуемого поля на ПОИ. По условию технического задания сканирование осуществляется с помощью оптического клина с равномерным законом сканирования и конической разверткой. Оптический клин приводится во вращения с помощью электродвигателя.

Все конструктивные элементы (кроме электродвигателя) размещаются на главной оптической оси, проходящей через центр чувствительной поверхности ПОИ.

2. ГАБАРИТНЫЙ РАСЧЁТ ОБЪЕКТИВА

2.1 Расчёт продольных и поперечных размеров объектива

Объектив состоит из двух линз. Согласно условию, марка стекла первой линзы – ТФ-3 ($n_1 = 1{,}723$), а второй – Ф1 ($n_2 = 1{,}6169$). Требуемые параметры объектива: $f'_{об} = 75$ *мм*, $\theta = 1:5{,}1$. Из конструктивных положений выберем несклеенный объектив с первой положительной и второй отрицательной линзами. Расчёт будем вести, пользуясь формулами для тонких компонентов. В результате данных расчётов будут найдены конструктивные и оптические параметры линз.

Оптическая сила линзы рассчитывается по формуле:

$$\varphi'_i = \varphi'_{\text{пр } i} \cdot \frac{1}{f'_{\text{об}}}, \qquad (2.1)$$

где $\varphi'_{\text{пр } i}$ - приведённая оптическая сила линзы;

$f'_{\text{об}}$ - фокусное расстояние объектива.

Рассчитаем оптическую силу первой линзы:

$$\varphi'_1 = 2{,}1 \cdot \frac{1}{75} = 0{,}028.$$

Приведённая оптическая сила объектива рассчитывается:

$$\varphi'_{\text{пр}} = \sum \varphi'_{\text{пр } i} \cdot \frac{h_i}{h_1} = \varphi'_1 + \frac{h_2}{h_1}\varphi'_2 = 1. \qquad (2.2)$$

Исходя из этого, рассчитаем приведённую оптическую силу второй линзы:

$$\varphi'_{\text{пр2}} = \left(1 - \varphi'_{\text{пр1}}\right) \cdot \frac{h_1}{h_2} = \left(1 - 2{,}1\right) \cdot 1{,}05 = -1{,}155.$$

Оптическая сила второй линзы:

$$\varphi'_2 = -1{,}155 \cdot \frac{1}{75} = -0{,}0154.$$

Найдём фокусные расстояния линз:

$$f'_1 = \frac{1}{\varphi'_1} = \frac{1}{0{,}028} = 35{,}7 \text{ мм},$$

$$f'_2 = \frac{1}{\varphi'_2} = \frac{1}{-0{,}0154} = -64{,}9 \text{ мм}. \qquad (2.3)$$

Для одиночной линзы оптическая сила вычисляется по формуле:

$$\varphi'_1 = \left(n_1 - 1\right) \cdot \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right). \qquad (2.4)$$

Рассчитаем радиусы поверхностей, предположив для определённости что $r_1 = -r_2$ и $r_3 = -2r_4$:

$$r_1 = \frac{2\left(n_1 - 1\right)}{\varphi'_1} = \frac{2 \cdot \left(1{,}723 - 1\right)}{0{,}028} = 51{,}4 \text{ мм}, \qquad r_2 = -51{,}4 \text{ мм},$$

$$r_3 = \frac{3\left(n_2 - 1\right)}{2\varphi'_2} = \frac{3 \cdot \left(1{,}6169 - 1\right)}{-0{,}0154 \cdot 2} = -60 \text{ мм}, \qquad r_4 = 30 \text{ мм}.$$

Рассчитаем световые диаметры линз:

$$\theta = \frac{D_{св1}}{f'_{об}} \longrightarrow D_{св1} = \theta \cdot f'_{об} = \frac{1}{5{,}1} \cdot 75 = 14{,}7 \text{ мм}, \qquad (2.5)$$

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{D_{св1}}{D_{св2}} \longrightarrow D_{св2} = \frac{h_2}{h_1} \cdot D_{св1} = \frac{14{,}7}{1{,}05} = 14 \text{ мм}.$$

Рассчитаем полные размеры линз.

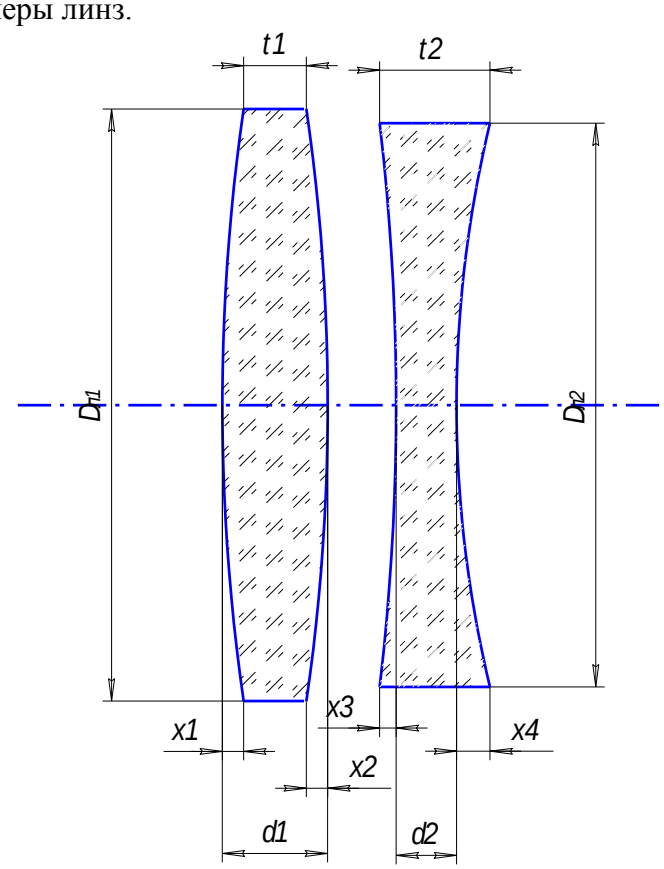


Рис 2.1. Размеры оптических компонентов объектива

Обе линзы будем крепить методом завальцовки. Тогда полный диаметр линзы будет определяться:

$$D_л = D_{св} + \Delta D \ , \qquad (2.6)$$

где ΔD - припуск на завальцовку линзы;

$D_л$ - полный диаметр линзы.

Для линз со световым диаметром от 10 до 18 припуск на завальцовку равен 1,0 мм, тогда для первой линзы:

$$t_1 \geq 0{,}05 D_{л1} \longrightarrow t_1 = 1{,}5 \text{ мм};$$

$$x_1 = x_2 = r_1 - \sqrt{r_1^2 - \frac{D_{л1}^2}{4}} = 51{,}4 - \sqrt{51{,}4^2 - \frac{15{,}7^2}{4}} = 0{,}603 \text{ мм};$$

$$D_{л1} = D_{св1} + \Delta D_1 = 14{,}7 + 1{,}0 = 15{,}7 \text{ мм};$$

$$d_1 = t_1 + x_1 + x_2 = 1{,}5 + 0{,}603 + 0{,}603 = 2{,}706 \text{ мм}. \qquad (2.7)$$

Так как обе линзы будут закреплены в одной оправе, то целесообразно сделать их диаметры одинаковыми для удобства их закрепления. Тогда диаметр второй линзы:

$$D_{л2} = D_{л1} = 15{,}7 \text{ мм};$$

$$d_2 \geq 0{,}05 D_{л2} \longrightarrow d_2 = 1{,}50 \text{ мм};$$

$$x_3 = r_3 - \sqrt{r_3^2 - \frac{D_{л2}^2}{4}} = 60{,}0 - \sqrt{60{,}0^2 - \frac{15{,}7^2}{4}} = 0{,}5157 \text{ мм};$$

$$x_4 = r_4 - \sqrt{r_4^2 - \frac{D_{л2}^2}{4}} = 30 - \sqrt{30^2 - \frac{15{,}7^2}{4}} = 1{,}04 \text{ мм};$$

$$t_2 = d_2 + x_3 + x_4 = 1{,}50 + 0{,}516 + 1{,}04 = 3{,}056 \text{ мм}.$$

Рассчитаем расстояние между компонентами:

$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 - \Phi_1\Phi_2 \cdot d_{1,2}; \quad (2.8)$$

$$d_{1,2} = -\frac{\Phi - \Phi_1 - \Phi_2}{\Phi_1\Phi_2} = -\frac{\frac{1}{75} - 0{,}028 + 0{,}0154}{-0{,}028 \cdot 0{,}0154} = 1{,}7 \text{ мм};$$

$$S_{F1} = -f_1'\left(1 + \frac{d_1(n_1 - 1)}{n_1 \cdot r_2}\right) = -35{,}7\left(1 + \frac{2{,}706 \cdot (1{,}723 - 1)}{1{,}723 \cdot (-51{,}4)}\right) = -34{,}91 \text{ мм;} \quad (2.9)$$

$$S'_{F'1} = f_1'\left(1 - \frac{d_1(n_1 - 1)}{n_1 \cdot r_1}\right) = 35{,}7\left(1 - \frac{2{,}706 \cdot (1{,}723 - 1)}{1{,}723 \cdot 51{,}4}\right) = 34{,}91 \text{ мм};$$

$$S_{F2} = 64{,}9\left(1 + \frac{1{,}5 \cdot (1{,}6169 - 1)}{1{,}6169 \cdot 30}\right) = 66{,}1 \text{ мм};$$

$$S'_{F'2} = -64{,}9\left(1 - \frac{1{,}5 \cdot (1{,}6169 - 1)}{1{,}6169 \cdot (-60{,}0)}\right) = -65{,}5 \text{ мм}.$$

Для предохранения острых краев второй линзы от выколов при сборке, уменьшения массы стекла, на линзы наносим фаски (под углом 45°): $m = 0{,}4^{+0{,}2}$

2.2 Расчёт допусков на размеры оптических компонентов

2.2.1 РАСЧЕТ ДОПУСКОВ НА ОТКЛОНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ МАТЕРИАЛА ЛИНЗ

Расчёт будет проводиться по формуле:

$$\Delta n_m = \frac{\Delta f'_{доп}(n_m - 1) f'_m \cdot k_{\Delta n}}{(f'_{об})^2 m} \cdot \frac{h_m}{h_1}. \quad (2.10)$$

где $\Delta f'_{доп}$ - допустимое изменение фокусного расстояния, $k_{\Delta n} = \frac{1}{3}$ - характеризует закон распределения погрешности, $m = 2$ - число оптических элементов. Согласно условию $\Delta f'_{доп} = \frac{1{,}0}{100} \cdot f'_{об} = 0{,}75$ мм.

Результаты расчёта:

$$\Delta n_1 = \frac{\Delta f'_{доп}(n_1 - 1) f_1' \cdot k_{\Delta n}}{(f'_{об})^2 m} \cdot \frac{h_1}{h_1} = \frac{0{,}75 \cdot (1{,}723 - 1) \cdot 35{,}7 \cdot 1/3}{75^2 \cdot 2} \cdot 1 = 5{,}74 \cdot 10^{-4},$$

$$\Delta n_2 = \frac{\Delta f'_{доп}(n_2 - 1) f_2' \cdot k_{\Delta n}}{(f'_{об})^2 m} \cdot \frac{h_2}{h_1} = \frac{0{,}75 \cdot (1{,}6169 - 1) \cdot 64{,}9 \cdot 1/3}{75^2 \cdot 2} \cdot 1 = 8{,}90 \cdot 10^{-4}.$$

Категории первого и второго стёкол: 3-я и 4-я соответственно.

2.2.2 РАСЧЕТ ДОПУСКОВ НА РАДИУСЫ КРИВИЗНЫ

Допуск на радиус кривизны рассчитывается по формуле:

$$\Delta r_{\text{доп}} = \frac{\Delta f'_{\text{доп}} \cdot r_m^2 \cdot k_{\Delta r}}{(f'_{\text{об}})^2 (n_m - 1)\sqrt{p}} \cdot \frac{h_m}{h_1}, \qquad (2.11)$$

где $p = 4$ - число поверхностей.

Результаты расчёта:

$$\Delta r_{\text{доп}\,1} = 81{,}2 \cdot 10^{-3} \text{ мм}, \quad \Delta r_{\text{доп}\,2} = 81{,}2 \cdot 10^{-3} \text{ мм},$$
$$\Delta r_{\text{доп}\,3} = 129{,}6 \cdot 10^{-3} \text{ мм}, \quad \Delta r_{\text{доп}\,4} = 32{,}4 \cdot 10^{-3} \text{ мм}.$$

Допуски на радиусы кривизны стёкол:

$$\frac{\Delta r_{\text{доп}\,1}}{r_1} = \frac{81{,}2 \cdot 10^{-3}}{51{,}4} = 1{,}58 \cdot 10^{-3}, \quad \frac{\Delta r_{\text{доп}2}}{r_2} = 1{,}58 \cdot 10^{-3},$$
$$\frac{\Delta r_{\text{доп}3}}{r_3} = 2{,}16 \cdot 10^{-3}, \quad \frac{\Delta r_{\text{доп}\,4}}{r_4} = 1{,}08 \cdot 10^{-3}.$$

Класс точности пробных стёкол – первый.

Найдём допустимое число колец Ньютона, с помощью формулы:

$$N_m = \frac{\Delta r_{\text{доп}\,m} \cdot (D_{\text{св}\,m})^2}{4\lambda (r_m)^2}, \text{ где } \lambda = 555 \text{ нм}. \qquad (2.12)$$

Результаты расчёта:

$$N_1 = 3, \quad N_2 = 3, \quad N_3 = 3, \quad N_4 = 3.$$

Определение допусков на местные искажения от идеальной формы интерференционных колец $\Delta N_{i\,\text{доп}}$:

$$\Delta N_{i\text{доп}} = \frac{450 \cdot (D_{\text{св}i})^2 \cdot a_{\text{доп}}}{2\frac{h_i}{h_1} \cdot (n_i - 1) \cdot f'^{\,2}_{\text{об}}}, \quad (2.13)$$

где $a_{\text{доп}}$ – допустимый астигматизм, $a = 0{,}05$ мм, тогда:

$$\Delta N_{1,2} = \frac{450 \cdot (14{,}7)^2 \cdot 0{,}05}{2 \cdot 1{,}05 \cdot (1{,}723 - 1) \cdot 75^2} = 0{,}570;$$

$$\Delta N_{3,4} = \frac{450 \cdot (14{,}0)^2 \cdot 0{,}05}{2 \cdot 1 \cdot (1{,}6169 - 1) \cdot 75^2} = 0{,}635.$$

2.2.3 РАСЧЕТ ДОПУСКОВ НА ТЕМПЕРАТУРНУЮ ДЕФОРМАЦИЮ

Параметры линз:

Линза	Марка стекла	n_D	n_e	β, 1/град	α, 1/град
1	ТФ3	1,7172	1,7232	$64 \cdot 10^{-7}$	$77 \cdot 10^{-7}$
2	Ф1	1,6138	1,6169	$49 \cdot 10^{-7}$	$71 \cdot 10^{-7}$

где β - коэффициент температурного приращения показателя преломления;

α - коэффициент линейного расширения.

Допуск на температурную деформацию радиусов кривизны:

$$\Delta r_к = r_к \cdot \alpha_к \cdot \Delta T \qquad (2.14)$$

где r_k - радиус кривизны;

ΔT - диапазон изменения температуры ($\Delta T = 80^o$).

$$\Delta r_1 = \Delta r_2 = 51.4 \cdot 77 \cdot 10^{-7} \cdot 80 = 0{,}0317 \text{ мм;}$$

$$\Delta r_3 = 60 \cdot 71 \cdot 10^{-7} \cdot 80 = 0{,}03408 \text{ мм;}$$

$$\Delta r_4 = 30{,}0 \cdot 71 \cdot 10^{-7} \cdot 80 = 0{,}01704 \text{ мм.}$$

Допуск на температурную деформацию показателя преломления:

$$\Delta n_k = \beta_к \cdot \Delta T \quad (2.15)$$

$$\Delta n_1 = 64 \cdot 10^{-7} \cdot 80 = 5{,}12 \cdot 10^{-4};$$

$$\Delta n_2 = 49 \cdot 10^{-7} \cdot 80 = 3{,}9 \cdot 10^{-4}.$$

Допуск на температурную деформацию оптической силы компонентов:

$$\varphi'_k = (n_{Dk} - 1) \cdot (\rho_k - \rho_{k+1}); \quad (2.16)$$

$$\rho_k = \frac{1}{r_k}; \qquad (2.17)$$

$$V_{tk} = \frac{\beta_{Dk}}{n_{Dk} - 1} - \alpha_k. \qquad (2.18)$$

Изменение оптической силы компонента $\Delta\varphi$ рассчитывается по формуле:

$$\Delta\varphi' = \left(\frac{\beta}{n_D - 1} - \alpha \right) \cdot \varphi' \cdot \Delta t \qquad (2.19)$$

Линза 1:

$$\varphi'_1 = (n_D - 1) \cdot \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) = (1{,}7172 - 1) \cdot \left(\frac{1}{51{,}4} - \left(-\frac{1}{51{,}4} \right) \right) = 0{,}0279 \text{ мм}^{-1};$$

$$\Delta\varphi'_1 = \left(\frac{64 \cdot 10^{-7}}{1{,}7172 - 1} - 77 \cdot 10^{-7} \right) \cdot 0{,}0279 \cdot 80 = 2{,}731 \cdot 10^{-6}.$$

Линза 2:

$$\varphi'_2 = (n_D - 1) \cdot \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) = (1{,}6138 - 1) \cdot \left(\frac{1}{-60{,}0} - \frac{1}{30} \right) = -0{,}03069 \text{ мм}^{-1};$$

$$\Delta\varphi'_2 = \left(\frac{49 \cdot 10^{-7}}{1{,}6138 - 1} - 71 \cdot 10^{-7} \right) \cdot (-0{,}03069) \cdot 80 = -2{,}168 \cdot 10^{-6}$$

Допуск на температурную деформацию фокусного расстояния объектива:

$$\Delta f' = -(f'_{об})^2 \cdot \sum \frac{h_k}{h1} \Delta\varphi_k; \quad (2.20)$$

$$\Delta f' = -(75)^2 \cdot (2{,}731 \cdot 10^{-6} - 2{,}168 \cdot 10^{-6}) = -3{,}167 \cdot 10^{-3} \text{ мм.}$$

2.3 Расчет размерных цепей объектива

Решим задачу методом равного квалитета. Данный метод достаточно прост и учитывает зависимость допуска от номинального размера.

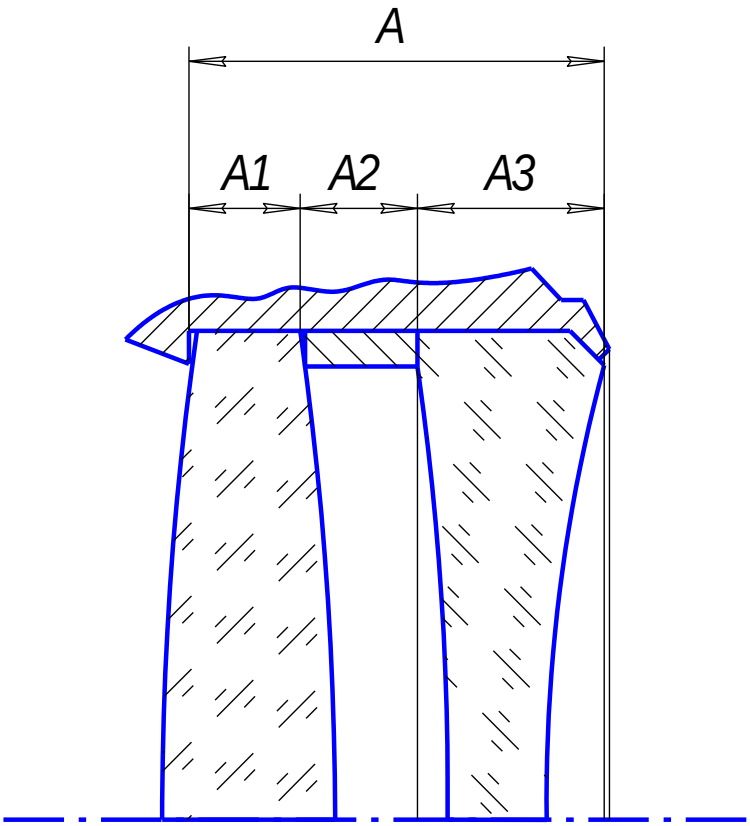


Рис.2.2. Размерная цепь объектива

A1, A2, A3– увеличивающие звенья; A_{Δ} - замыкающее звено.

$A1 = t_1 = 1{,}50$ мм;

$A2 = 1{,}787$ мм;

$A3 = t_2 = 3{,}056$ мм;

$A_{\Delta} = A1 + A2 + A3 = 6{,}343$ мм.

Размеры, составляющие цепь выполнены по 7-му квалитету.

Таким образом, допуски для номинальных размеров будут[2]:

ТА1 = 0,55·16=8,8 мкм;

ТА2 = 0,55·16=8,8 мкм;

ТА3 = 0,55·16=8,8мкм;

Допуск замыкающего звена:

$$TA_{\Delta} = a_{\text{ср}} \cdot \sum(0{,}45\sqrt[3]{A_{i\text{ср}}} + 0{,}001A_{i\text{ср}}),$$

где $a_{\text{ср}}$ – коэффициент точности размерной цепи, $a_{\text{ср}}=16$ (для 7-го квалитета);

$A_{i\text{ср}}$ - среднее значение интервала, к которому отклоняется данный линейный размер.

$A1_{\text{ср}} = 1{,}50$ мм;

$A2_{\text{ср}} = 1{,}787$ мм;

$A3_{\text{ср}} = 3{,}056$ мм;

$$TA_{\Delta} = 16 \cdot \sum(0{,}45\sqrt[3]{1{,}50} + 0{,}001 \cdot 1{,}50 + 0{,}45\sqrt[3]{1{,}787} + 0{,}001 \cdot 1{,}787 + 0{,}45\sqrt[3]{3{,}056} + 0{,}001 \cdot 3{,}056) = 27{,}53.$$

При этом должно выполняться условие $\sum TA_i < TA\Delta$:

условие выполняется, следовательно расчёт сделан верно.

2.4. Конструирование узла крепления объектива

$$8{,}8 + 8{,}8 + 8{,}8 = 26{,}4 \; < 27{,}53,$$

Конструирование узла крепления линзы предполагает обеспечение её базирования, ориентирования и закрепления в соединении с базовой механической основой, называемой оправой [3].

Конкретное конструктивное решение узла крепления зависит от ряда факторов: назначения линзы, её материала, размеров и формы, от требований, регламентирующих функционирование этой детали в оптической системе прибора, от назначения прибора и условий его работы, а также от вида производства.

При выборе типа крепления и разработке конструкции узла необходимо обеспечить выполнение следующих общих требований:

- крепление должно быть надежным, т.е. во время работы прибора положение линзы относительно оправы не должно изменяться;
- замыкающие усилия, необходимые для осуществления сопряжения между линзой и оправой, не должны вызывать опасных деформаций и напряжений;
- базовая основа узла, ориентирующие и крепежные детали или их элементы должны быть расположены вне габаритов светового пучка. Поверхности этих элементов, находящиеся вблизи пучка, не должны быть причиной появления рассеянного света и бликов в системе;
- крепления должны быть технологичны, как в отношении изготовления деталей, так и в отношении сборки.

Для разрабатываемого объектива выберем крепление завальцовкой. При этом способе линза удерживается в оправе тонкой её кромкой, которая приобретает свою конечную форму в результате пластического деформирования металла во время завальцовки. Такое крепление является неразъемным. Крепежная кромка оправы после завальцовки находится в сопряжении с конусной поверхностью специальной фаски линзы, при этом она не должна выступать за пределы фаски. Крепление завальцовкой позволяет избежать необходимости проведения юстировочных работ, так как перекос и децентрировка линз исключаются одновременной обработкой наружного диаметра оправы и подрезкой её опорных торцов с использованием автоколлимационного метода.

Материалы оправ при этом методе крепления должны обладать высокой пластичностью. Наилучшим является латунь ЛС59-1.

Достоинствами способа являются:

- высокая надежность крепления, особенно для линз малого диаметра;
- отсутствие пережимов в стекле при правильной технологии процесса завальцовки;
- высокоточное совмещение оптических и механических баз и отсутствие необходимости котировочных работ после крепления оптической детали.

К недостаткам способа можно отнести:

- падение надежности крепления с увеличением габаритных размеров детали;
- отсутствие возможностей компенсации термических деформаций.

Оправа с разработанным объективом приведена на рис.2.3.

Конструкция оправы и ее размеры показаны на рис. 2.4.

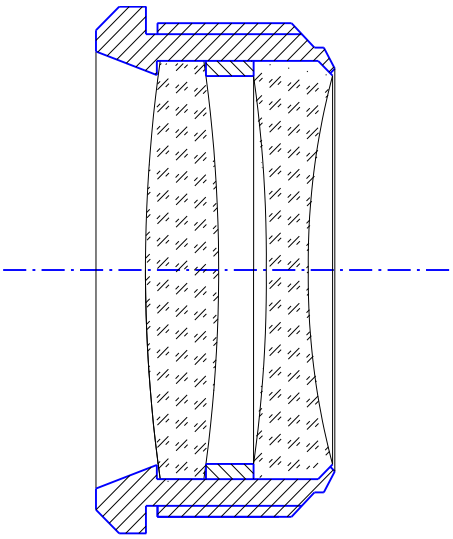


Рис.2.3. Оправа с закрепленным объективом

Размеры оправы объектива выбираются с использованием следующих соотношений:

$$d = D_{Л} = 15{,}7\text{мм},$$

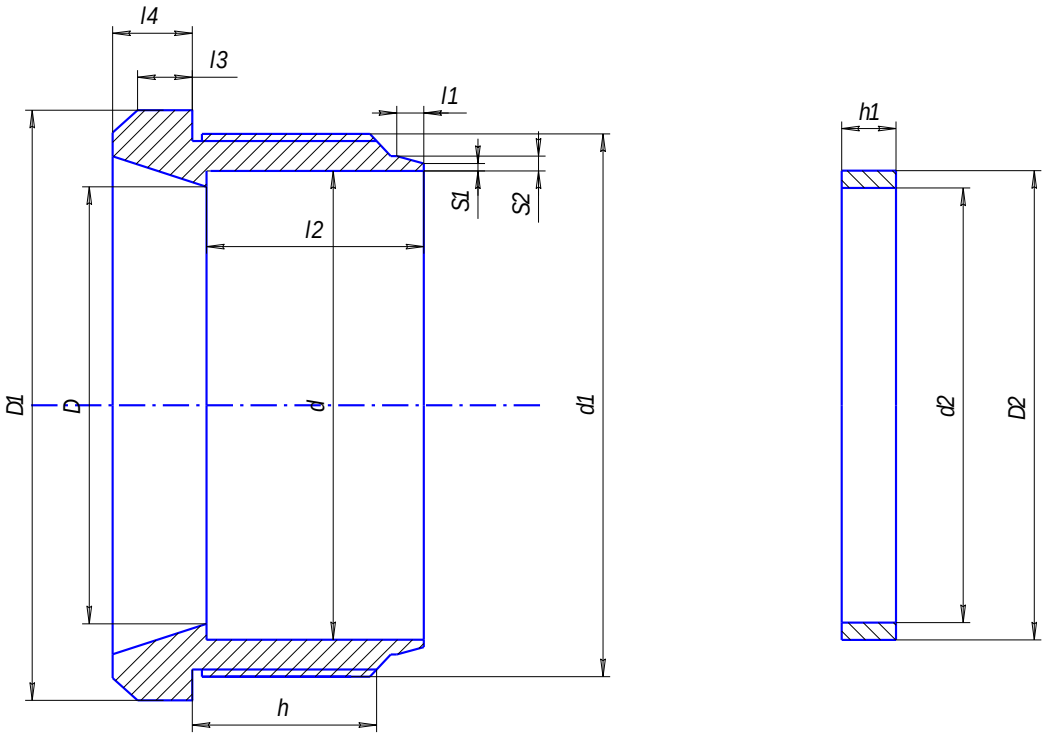


Рис. 2.4. Конструкция оправы для крепления объектива завальцовкой

$$D = D_{СВ} + 0{,}2 = 14{,}7 + 0{,}2 = 14{,}9 \text{ мм};$$

Внешний диаметр оправы *D1* примем равным 25 мм. На внешней стороне оправы (*l3* = 3 мм, *l4* = 4 мм) будет сделана накатка для удобства фокусировки объектива.

Ширина крепежной кромки оправы *l1* = 0,5 мм.

Толщины *S1* = 0,05 мм; *S2* = 0,3 мм.

Расстояние *l2* находится из суммы:

$$l2 = t_1 + t_2 + h_2 + l1 = 1{,}50 + 3{,}05 + 1{,}79 + 0{,}50 = 6{,}84 \text{ мм},$$

где t_1 и t_2 толщины первой и второй линз по краю.

При определении длины внешней резьбы необходимо учесть возможность фокусировки в переделах 5%, тогда примем $h \geq (6 \div 10)P' + \Delta h$, где $\Delta h = 0{,}05 f'_{об} = 3.75$мм, P' – шаг внешней резьбы. Для крепления оправы объектива внутри прибора будем использовать метрическую резьбу М20×0,5. Тогда примем h=6,75 мм.

Внутренний диаметр промежуточного кольца $d2$ определяется аналогично параметру D для оправы объектива, где в качестве $D_{СВ}$ принимается наибольший из световых диаметров оптических поверхностей, на границах воздушного промежутка, выдерживаемого с помощью кольца. Внешний диаметр кольца $D2$ будет равен диаметру d оправы:

$$d2 = D = 14{,}7 + 0{,}2 = 14{,}9 \text{мм};$$

$$D2 = d = 15{,}7 \text{ мм}.$$

Ширину кольца h_1 найдем из выражения:

$$h_1 = d_{12} + x_2 - x_3 = 1{,}7 + 0{,}603 - 0{,}5157 = 1{,}787 \text{ мм}.$$

3. КИНЕМАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СКАНИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ

3.1. Расчет конструктивных параметров сканирующего элемента

Оптический клин установленный перед объективом изменяет ход лучей таким образом, что изображение светящейся точки отклоняется на некоторый угол. Если клин вращается вокруг направления падающих на него лучей ,то выходящий луч движется по образующей прямого кругового конуса с углом при вершине:

$$2\beta = 2\arcsin(n \cdot \sin\gamma). \qquad (3.1)$$

Так как углы β и γ малы, то данную формулу можно переписать в виде:

$$2\beta = 2\gamma \cdot (n-1). \qquad (3.2)$$

Принцип сканирования оптическим клином показан на рис. 3.1.

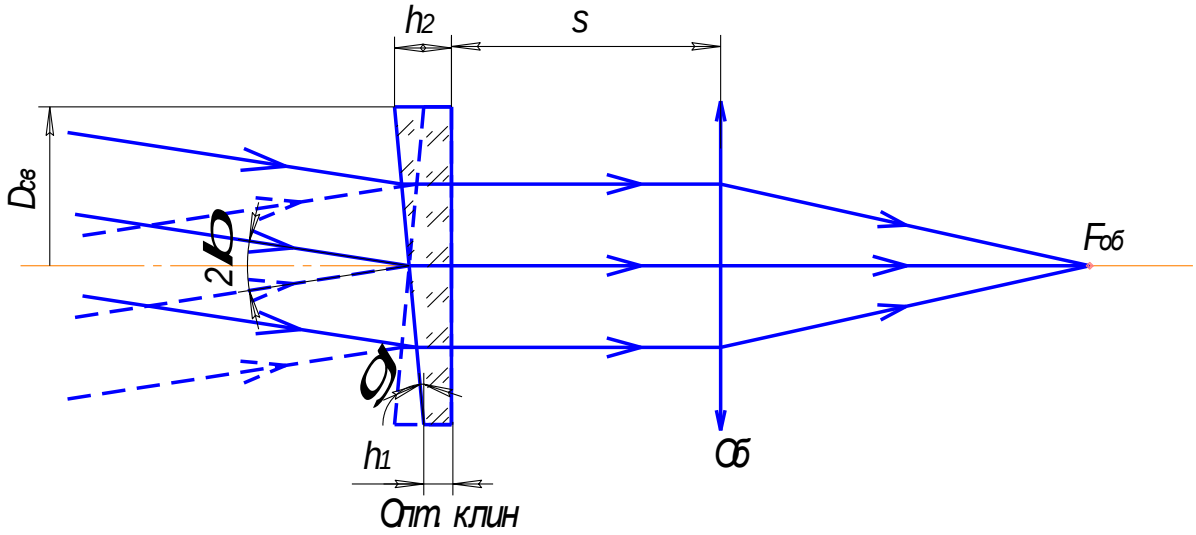


Рис. 3.1. Принцип сканирования оптическим клином

Пунктирной линией показаны оптический клин и ход лучей при повороте на 180°.

Рассчитаем конструктивные параметры сканирующего элемента, т.е. оптического клина, задавшись параметрами:

1. Марка стекла ЛК-1 (n=1,4414);
2. Угол $2\beta = 2^\circ$;
3. Толщина несущего слоя $h_{кл1}$=*2,0* мм;
4. расстояние от клина до объектива *S=40* мм.

Из формулы 3.2 имеем: $\gamma = \dfrac{\beta}{n-1} = \dfrac{1^\circ}{1{,}4414-1} = 2^\circ 16'$

Световой диаметр клина выберем равным световому диаметру первой линзы объектива:

$$D_{св} = D_{св.об.} = 14{,}7 \text{ мм}, \qquad (3.3)$$

где $D_{св.об}$ – световой диаметр первой линзы объектива.

Оптический клин будет крепиться в оправе методом завальцовки с использованием промежуточного кольца. Припуск на завальцовку примем равным 1,0 мм, тогда полный диаметр клина будет равен:

$$D_{кл} = D_{св} + \Delta D = 14{,}7 + 1{,}0 = 15{,}7 \text{ мм}. \qquad (3.5)$$

Рассчитаем максимальную толщину клина по краю $h_{кл2}$:

$$h_{кл2} = h_{кл1} + D_{кл} \cdot tg\gamma = 2{,}0 + 15{,}7 \cdot tg\,2^{\circ}16' = 2{,}6 \text{ мм.} \qquad (3.6)$$

3.2. Конструирование узла крепления оптического клина

Оптический клин будет крепиться в оправе методом завальцовки с использованием промежуточного кольца, повторяющем в поперечном сечении форму клина (рис. 3.3). Одновременно с этим, оправа будет служить ведомым звеном кинематической схемы, приводимым в движение электродвигателем через ремень. Конструкция оправы будет включать в себя шкив. Материал оправы – дюралюминий Д6.

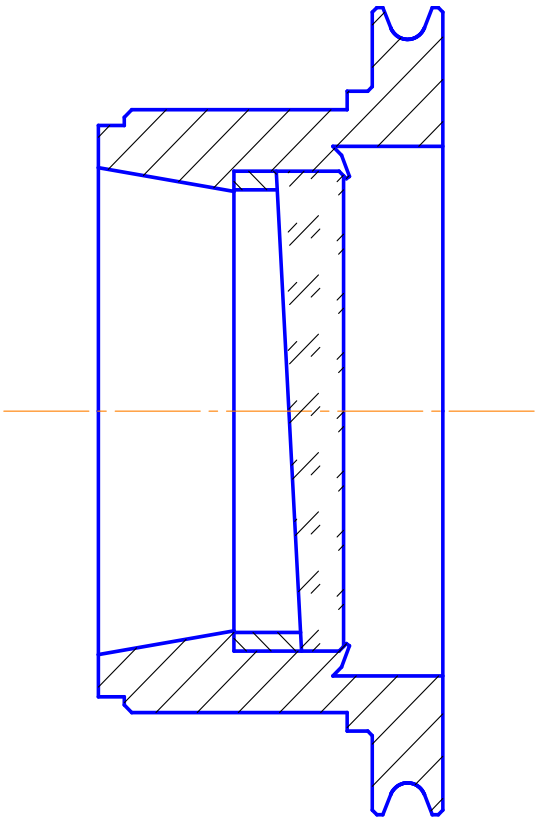


Рис. 3.2. Оптический клин в оправе

Для фиксации положения оси вращения опти-

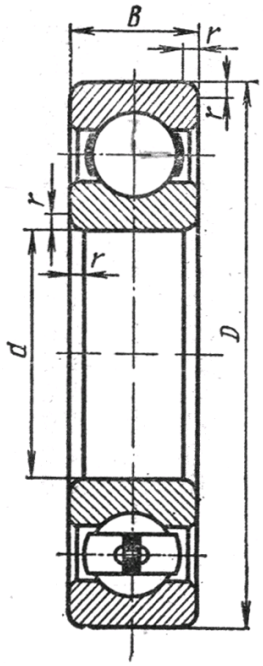


Рис.3.3. Подшипник 205

ческого клина используется подшипник марки 205 [4] (рис.3.3), его параметры приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1

Параметры подшипника марки 205

d, мм	*D*, мм	*B*, мм	*r*, мм	Предельное число оборотов, об/мин	Масса, кг
25	52	15	1,5	13000	0,12

Конструкция оправы и ее размеры показаны на рисунке 3.4.

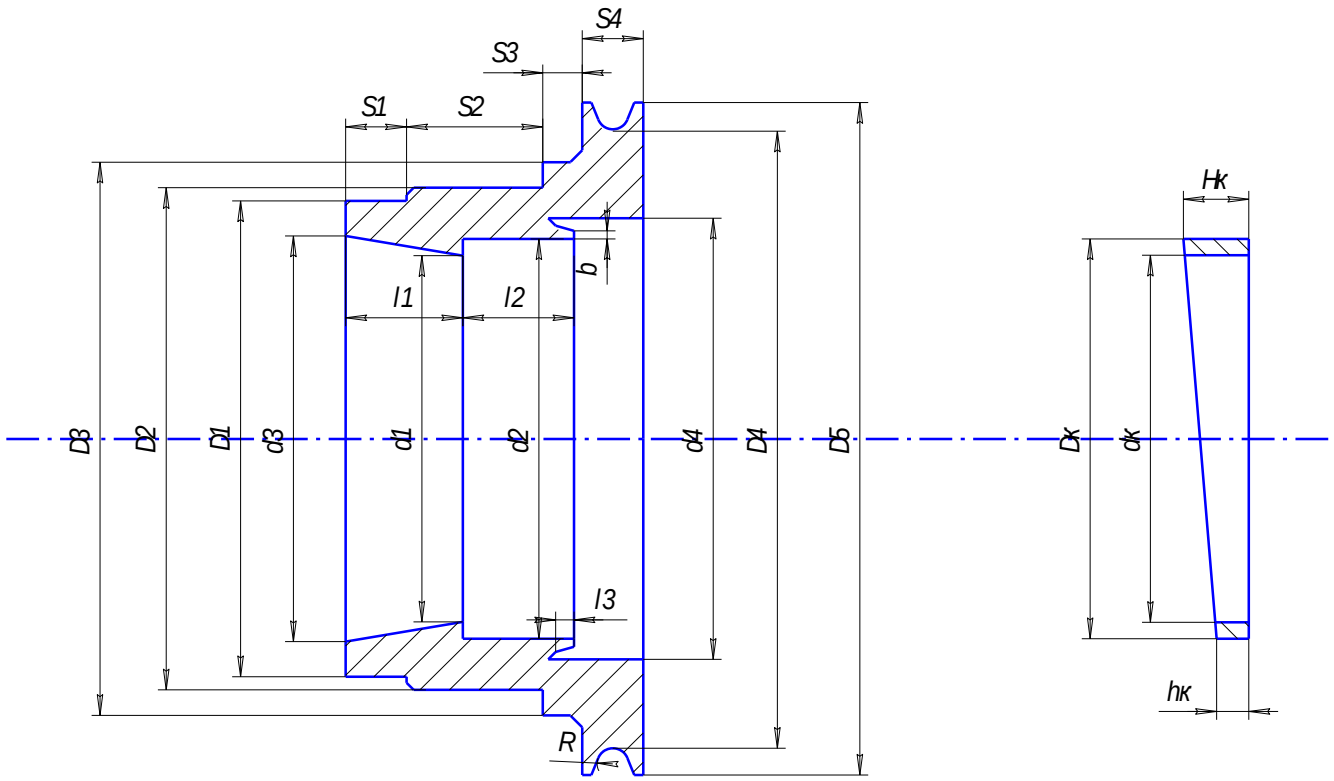


Рис.3.4. Конструкция оправы оптического клина

Кольцо служит для удобства закрепления оптического клина и в поперечном сечении повторяет его форму: $H_к$ =*2,6*мм, $h_к$ =*2,0*мм. Внешний диаметр кольца равен полному диаметру клина: $D_к = D_{кл}$ = *15,7*мм, внутренний диаметр равен световому диаметру клина: $d_к = D_{св}$ = *14,7*мм.

Размеры оправы оптического клина выбираются с использованием следующих соотношений:

$$d2 = D_{кл} + 0{,}03 = 15{,}73 \text{ мм},$$

зазор 0,03 мм нужен для компенсации обжатия оправы при посадке подшипника с натягом;

$$d1 = D_{СВ} + 0{,}2 = 14{,}7 + 0{,}2 = 14{,}9 \text{ мм}.$$

Ширина участка *l2* определяется из выражения:

$$l2 = h_{кл1} + H_к + l3, \quad (3.7)$$

где $h_{кл1}$ – минимальная толщина клина по краю;

$H_к$ – максимальная толщина кольца по краю;

l3 - ширина крепежной кромки оправы, *l3=0,5* мм.

$$l2 = 2{,}0 + 2{,}6 + 0{,}5 = 5{,}1 \text{ мм}.$$

Толщина крепежной кромки оправы *b = 0,2* мм. Диаметр *d4 =19,0* мм.

Участок оправы длиной *l1 = 13,5* мм, *d3 =17,5* мм выполняет функцию бленды, закрывая оптический клин от посторонних засветок. Диаметр *D1* примем равным 23 мм, расстояние *S1=2* мм. На участок оправы *S2 = 15,0* мм $D2=25,0^{+0,03}$ мм будет запрессован подшипник с соответствующим натягом. Ступенька диаметром *D3=32* мм и *S3=2* мм препятствует продольному перемещению подшипника.

Ведомый шкив кинематической схемы выполнен одним элементом с оправой и имеет размеры: *S4=6* мм, *D4=40* мм, *D4=46* мм, радиус скругления канавки *R=1,5* мм.

3.3. Выбор электродвигателя

Так как в нашей системе используется двигатель с малой мощностью и малыми массой и габаритными размерами, то будем выбирать двигатель по нагрузочному моменту и частоте вращения.

По условию, частота сканирования составляет 40 Гц. Значит, оправа с закрепленным оптическим клином должна вращаться с частотой 2400 об/мин. Проведем расчет передаточного отношения:

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1}, \quad (3.8)$$

где n_1 и n_2- число оборотов в минуту ведущего и ведомого звеньев;

d_1 и d_2- диаметры ведущего и ведомого шкивов.

Тогда:

$$i = \frac{9000}{2400} = 3,75.$$

Определим диаметр ведущего шкива, если известен диаметр ведомого:

$$i = \frac{d_2}{d_1} = 3,75 \Rightarrow d_1 = \frac{d_2}{3.75} = \frac{40}{3,75} = 10,8 \text{ мм}.$$

Нагрузочный момент рассчитывается по формуле:

$$M\text{н} = J \cdot E, \quad (3.9)$$

где *M*н – нагрузочный момент,

J – момент инерции вращающихся деталей,

E – угловое ускорение звенеьев.

Момент инерции найдем по формуле:

$$J = J_0 + J_1 \frac{n_1}{n_2} \quad (3.10)$$

J_0 – момент инерции ведущего звена,

J_1 – момент инерции ведомого звена, приведенный к валу двигателя.

Момент инерции цилиндра массой *m* и радиусом *R* рассчитывается по формуле:

$$J = \frac{1}{2} m \cdot R^2 \quad (3.11)$$

Ведущий шкив представлен на рисунке 3.5:

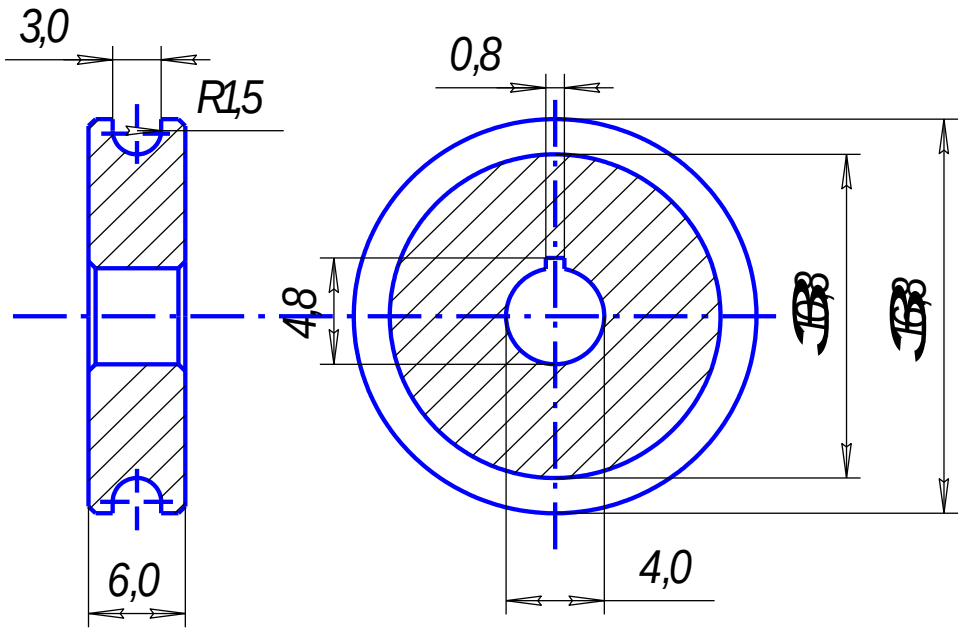


Рис.3.5. Конструкция ведущего шкива

Рассчитаем момент инерции ведущего шкива, представив его в виде цилиндра радиусом $R=8,4$ мм и высотой $h=6,0$ мм (материал шкива - дюралюминий Д6, $\rho = 2,73$ г/см^3):

$$J_0 = \frac{1}{2}\cdot\left(\pi R^2 \cdot h \cdot \rho\right)\cdot R^2 = \frac{1}{2}\cdot\left(3,14\cdot 0,84^2 \cdot 0,6 \cdot 2,73\right)\cdot 10^{-3}\cdot\left(8,4\cdot 10^{-3}\right)^2 = 0,128\cdot 10^{-6}\ \text{кг}\cdot\text{м}^2$$

Рассчитаем момент инерции ведомого звена, которое состоит из оправы, кольца, оптического клина, внутренней обоймы подшипника. Для упрощения расчетов, представим каждый из компонентов в виде цилиндров (рис.3.6) и определим их моменты инерций.

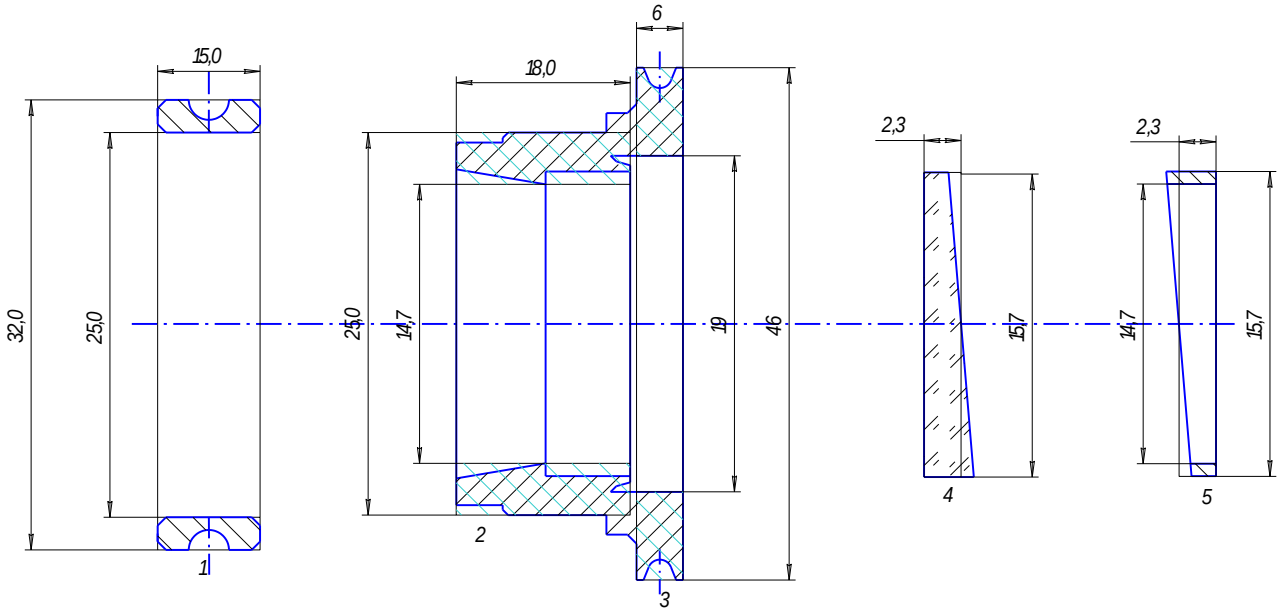


Рис.3.6. Ведомое звено кинематической схемы:
1 – внутренняя обойма подшипника; 2,3 – оправа; 4 - оптический клин; 5 – кольцо

Внутренняя обойма подшипника (плотность стали подшипника $\rho_1 = 8,0$ г/см^3):

$$J_1 = \frac{1}{2}\cdot\left(\pi\cdot 1{,}60^2\cdot 1{,}5\cdot 8{,}0\right)\cdot 10^{-3}\cdot\left(16{,}0\cdot 10^{-3}\right)^2 - \frac{1}{2}\left(\pi\cdot 1{,}25^2\cdot 1{,}5\cdot 8{,}0\right)\cdot 10^{-3}\cdot\left(12{,}5\cdot 10^{-3}\right)^2 = 7{,}751\cdot 10^{-6}\,\text{кг}\cdot\text{м}^2$$

Оправу клина (плотность материала оправы составляет $\rho_{2,3} = 2{,}73$ г/см^3) будем рассматривать как совокупность двух цилиндров, тогда ее момент инерции:

$$J_2 = \frac{1}{2}\cdot\left(\pi\cdot 1{,}25^2\cdot 1{,}8\cdot 2{,}73\right)\cdot 10^{-3}\cdot\left(12{,}5\cdot 10^{-3}\right)^2 - \frac{1}{2}\left(\pi\cdot 0{,}735^2\cdot 1{,}8\cdot 2{,}73\right)\cdot 10^{-3}\cdot\left(7{,}35\cdot 10^{-3}\right)^2 = 1{,}568\cdot 10^{-6}\,\text{кг}\cdot\text{м}^2$$

$$J_3 = \frac{1}{2}\cdot\left(\pi\cdot 2{,}30^2\cdot 0{,}6\cdot 2{,}73\right)\cdot 10^{-3}\cdot\left(23{,}0\cdot 10^{-3}\right)^2 - \frac{1}{2}\left(\pi\cdot 0{,}95^2\cdot 0{,}6\cdot 2{,}73\right)\cdot 10^{-3}\cdot\left(9{,}5\cdot 10^{-3}\right)^2 = 6{,}99\cdot 10^{-6}\,\text{кг}\cdot\text{м}^2$$

Рассчитаем момент инерции оптического клина (плотность стекла ЛК-1 составляет $\rho_4 = 2{,}46$ г/см^3):

$$J_4 = \frac{1}{2}\cdot\left(\pi\cdot 0{,}785^2\cdot 0{,}23\cdot 2{,}46\right)\cdot 10^{-3}\cdot\left(7{,}85\cdot 10^{-3}\right)^2 = 0{,}0434\cdot 10^{-6}\,\text{кг}\cdot\text{м}^2.$$

Момент инерции кольца (плотность материала кольца : $\rho = 2{,}73$ г/см^3) равен:

$$J_5 = \frac{1}{2}\cdot\left(\pi\cdot 0{,}785^2\cdot 0{,}23\cdot 2{,}73\right)\cdot 10^{-3}\cdot\left(7{,}85\cdot 10^{-3}\right)^2 -$$

$$-\frac{1}{2}\left(\pi\cdot 0{,}735^2\cdot 0{,}215\cdot 2{,}73\right)\cdot 10^{-3}\cdot\left(7{,}35\cdot 10^{-3}\right)^2 = 0{,}0104\cdot 10^{-6}\,\text{кг}\cdot\text{м}^2$$

По (3.10) момент инерции вращающихся деталей:

$$J = J_0 + \left(J_1 + J_2 + J_3 + J_4 + J_5\right)\cdot\frac{n_2}{n_1} =$$

$$= \left(0{,}128 + (7{,}751 + 1{,}568 + 6{,}99 + 0{,}0434 + 0{,}0104)\frac{2400}{9000}\right)\cdot 10^{-6} = 4{,}382\cdot 10^{-6}\,\text{кг}\cdot\text{м}^2$$

Угловое ускорение *E* найдем по формуле:

$$\text{E} = \frac{\omega - \omega_0}{\tau}, \quad (3.12)$$

где ω - рабочая частота вращения колеса, (ω = n_1, об/с)

ω_0 – начальная частота вращения колеса, (ω_0 = 0)

τ - время выхода двигателя на рабочий режим.

Время выхода двигателя на рабочий режим обычно составляет величину порядка τ = 0.01 ÷ 0.1 с,

$$E = \frac{2\pi\cdot n_2}{\tau} = \frac{2\pi\cdot 150}{0{,}1} = 9{,}425\cdot 10^3 \text{ об/с}^2.$$

Нагрузочный момент будет равняться по (3.9):

$$M_H = J\cdot E = 4{,}382\cdot 10^{-6}\cdot 9{,}425\cdot 10^3 = 41{,}30\cdot 10^{-3}\,\text{Н}\cdot\text{м} = 413\,\text{Г}\cdot\text{см}$$

В соответствии с полученным нагрузочным моментом, выберем электродвигатель марки ДПР-52 Н2-05[5] (рис.3.7), его характеристики представлены в таблицах 3.2 и 3.3.

Таблица 3.2

Характеристики двигателя ДПР-52 Н2-05

Номинальные данные				Холостой ход	Пусковой режим		Срок служ бы, ч
$U_н$, В	$M_н$, Г·см	$n_н$, об/мин	$I_н$ (max), А	I_0 (max), А	$M_н$ (min), Г·см	$I_н$ (max), А	
12	100	9000	1,2	0,25	1080	19,6	400

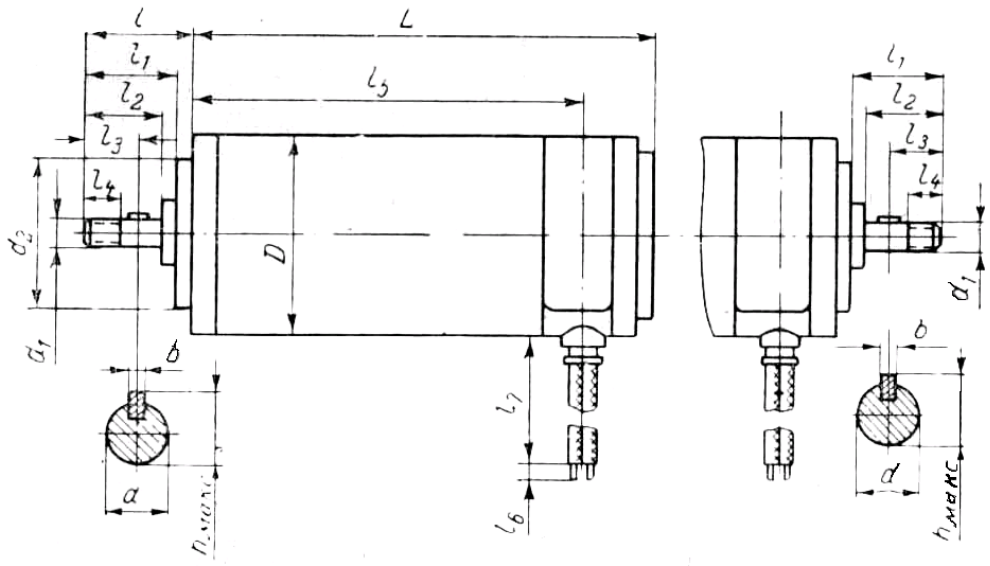


Рис.3.7. Эскиз микродвигателя серии ДПР исполнения Н2

Таблица 3.3

Габаритные и установочные размеры микродвигателя ДПР-52 Н2-05

D	D	d_1	D_2	L	l	l_1	l_2
30С3	4	М4×0,5 Кл.2	22С3	64 мм	13,5±0,6	12	10,5

l_3	l_4	l_5	L_6	l_7	B	h	Вес, г
7,5	4,5	54,5	5	250	$0,8^{+0,015}$	4,6	260

3.4. Разработка узла крепления двигателя

Крепление двигателя при своей простоте должно обеспечивать надежное его закрепление на корпусе прибора, а также возможность натяжения ремня в пределах 5мм. Двигатель будет крепиться к корпусу прибора двумя хомутами. Чертежи хомутов приведены в приложении.

3.5. Кинематический расчет сканирующей системы

Вращение сканирующего элемента осуществляется с помощью электродвигателя ДПР-52 Н2-05 через ременную передачу (рис.3.8).

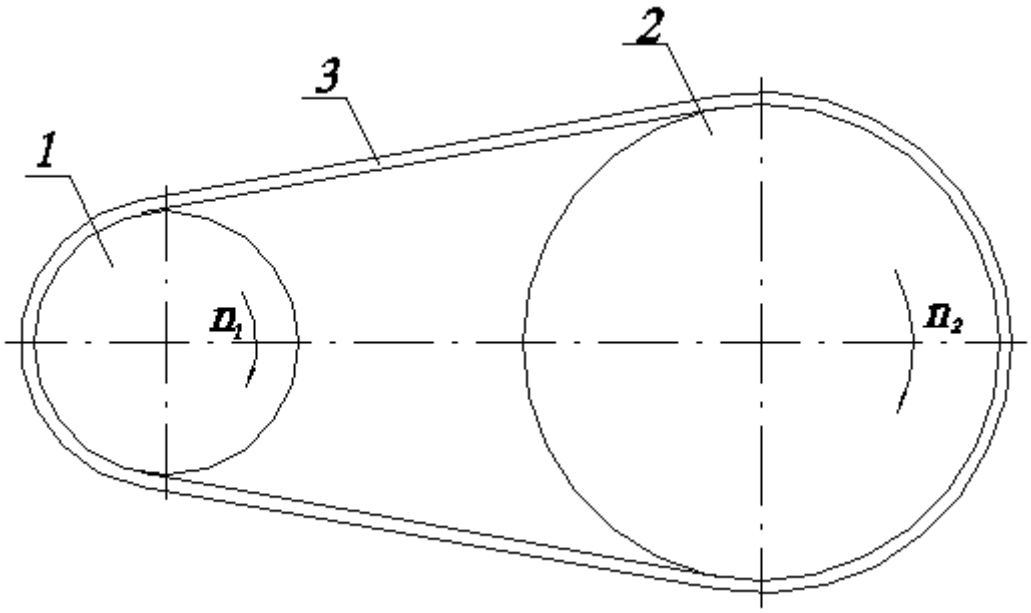


Рис. 3.8. Ременная передача: 1 – ведущий шкив; 2 – ведомый шкив; 3 - ремень

В данном случае использована передача трением с круглым в поперечном сечении ремнем диаметром 3 мм.

Достоинства ременной передачи:

1. Возможность работы с высокими скоростями;
2. Плавность и малошумность работы;
3. Предохранение механизмов от резких колебаний нагрузки и ударов;
4. Защита от перегрузки за счет проскальзывания ремня по шкиву;
5. Простота конструкции, отсутствие необходимости смазочной системы;
6. Малая стоимость.

Проведем расчет основных геометрических параметров (рис.3.9).

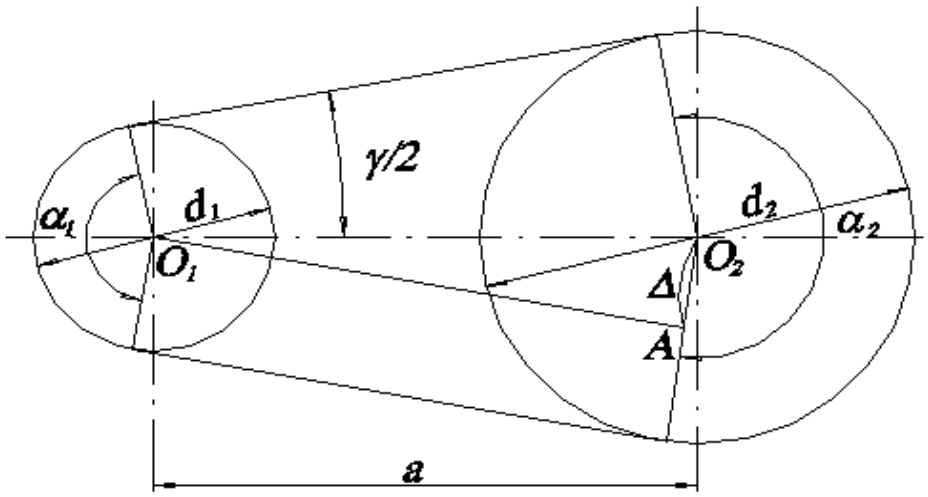


Рис.3.9. Ременная передача. Основные геометрические параметры

Определим межосевое расстояние *a.* Оптимальное межосевое расстояние определяется по табл.3.4:

Таблица 3.4

Зависимость межосевого расстояния от диаметра ведомого шкива и передаточного отношения

i	1	2	3	4	5	≥ 6
a/d_2	1,5	1,2	1	0,95	0,9	0,85

Из пункта 3.3 передаточное отношение $i=3,75$, значит:

$$a = 0{,}95 \cdot d_2 = 0{,}95 \cdot 40 = 38 \text{ мм.} \quad (3.13)$$

Угол между ветвями ремня γ найдем из треугольника $\Delta O_1 A O_2$:

$$\sin\frac{\gamma}{2} = \frac{\Delta}{a}, \text{ где } \Delta = \frac{d_2 - d_1}{2} \quad (3.14)$$

Тогда угол между ветвями ремня в радианах равен:

$$\gamma = 2\arcsin\frac{\Delta}{a} \approx \frac{2\Delta}{a} = \frac{d_2 - d_1}{a} = \frac{40 - 10{,}8}{38} = 0{,}768 = 43^\circ 48'.$$

Угол охвата ремнем малого шкива:

$$\alpha_1 = 180^\circ - \gamma^\circ = 180^\circ - 43^\circ 48' = 136^\circ 12'. \quad (3.15)$$

Угол охвата ремнем большого шкива:

$$\alpha_2 = 180^\circ + \gamma^\circ = 180^\circ + 43^\circ 48' = 223^\circ 48'. \quad (3.16)$$

Длина ремня (без учета его деформации на шкивах) определяется как сумма длин прямолинейных участков и длин дуг охвата ремнем малого и большого шкивов:

$$L = 2a \cdot \cos\frac{\gamma}{2} + \frac{\pi(d_2 + d_1)}{2} + \gamma\frac{(d_2 - d_1)}{2} \quad (3.17)$$

Используя разложение в ряд Маклорена с точностью до первых двух членов:

$$\cos\frac{\gamma}{2} \approx 1 - \frac{1}{2}\cdot\left(\frac{\gamma}{2}\right)^2, \text{ получим:}$$

$$L = 2a + \frac{\pi(d_2 + d_1)}{2} + \frac{\Delta^2}{a} = 2 \cdot 38 + \frac{\pi(40 + 10{,}8)}{2} + \frac{14{,}6^2}{38} = 161{,}4 \text{ мм.} \quad (3.18)$$

Передача работает с неизбежным упругим скольжением ремня по шкивам так как силы натяжения ведущей F_1 ведомой F_2 ветвей ремня при передачи полезной нагрузки различны (рис.3.10). тогда по закону Гука различно и относительное удлинение ветвей ε_1 и ε_2 . натяжение ремня по ведущему шкиву падает, ремень укорачивается и проскальзывает по шкиву. На ведомом шкиве ремень удлиняется и вновь проскальзывает. Скольжение происходит не по всей дуге охвата α, а на ее части β, называемой дугой скольжения. Сила трения между ремнем и шкивами передается в основном на дугах скольжения.

Со стороны набегания ремня находится дуга сцепления, на которой ремень движется совместно со шкивом, без проскальзывания. Окружная скорость каждого шкива равна скорости набегающей ветви ремня. По мере роста нагрузки на передачу дуга скольжения растет, когда она достигает всей дуги охвата, начинается буксование передачи.

Рассмотрим поведение участка ремня единичной длины на ведущей ветви. В момент входа участка ремня в контакт со шкивом он испытывает относительное удлинение ε_1 под действием силы натяжения F_1. Двигаясь после этого вместе со шкивом, участок ремня в момент схода со шкива

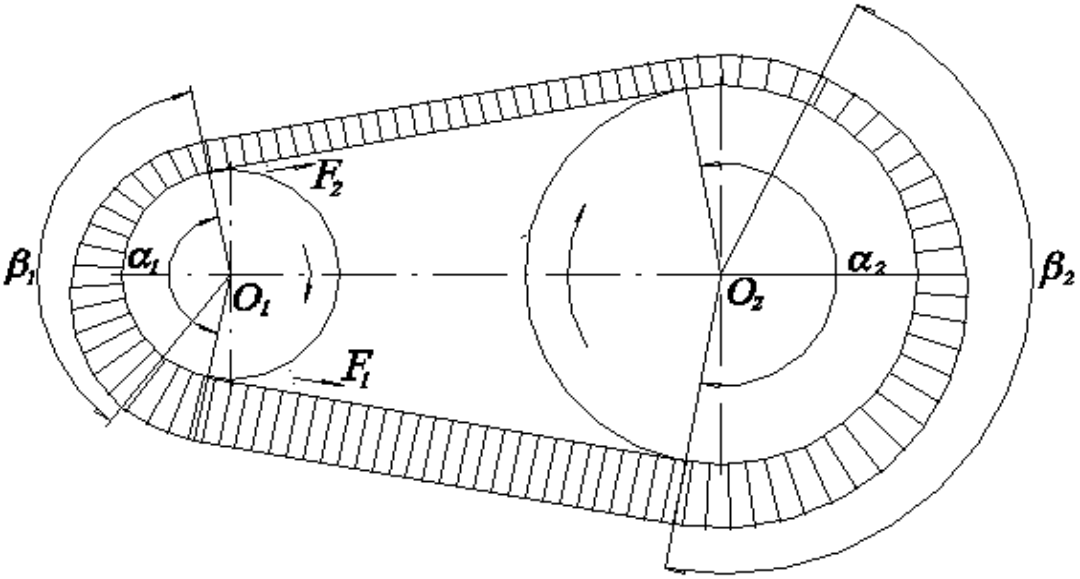


Рис.3.10. Взаимодействие ремня со шкивами

испытывает относительное удлинение ε_2 под действием силы натяжения F_2. Таким образом, во время движения вместе со шкивом длина участка ремня уменьшается и ремень проскальзывает относительно шкива. Это явление проскальзывания ремня на шкиве из-за различной упругой деформации в ведущей и ведомой ветвях называют упругим скольжением.

Упругое скольжение ремня равно разности относительных удлинений ветвей ремня:

- $$\xi_y = \varepsilon_1 - \varepsilon_2 . \quad (3.19)$$

- Обычно упругое скольжение находится в пределах 0,01…0,02 и растет с увеличением нагрузки. В рассматриваемом случае примем упругое скольжение ξ_y=0,02.

Окружные скорости (м/с) на шкивах (рис.3.8):

$$\upsilon = \pi d \cdot n ,(3.20)$$

где d – диаметр шкива, м;

n - частота вращения шкива, об/с, тогда:

$$\upsilon_1 = \pi \cdot 0{,}0108 \cdot 150 = 5{,}04 \text{м/с} ;$$

$$\upsilon_2 = \pi \cdot 0{,}040 \cdot 40 = 5{,}04 \text{м/с} .$$

Окружная скорость на ведомом шкиве υ_2 меньше скорости на ведущем υ_2 вследствие скольжения:

- $$\upsilon_2 = (1-\xi_y)\cdot\upsilon_1 = (1-0{,}02)\cdot 5{,}04 = 4{,}94 \text{м/с} \quad (3.21)$$

Передаточное отношение:

- $$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1(1-\xi_y)} = \frac{40}{10{,}8(1-0{,}02)} = 3{,}78 \quad (3.22)$$

Сила предварительного натяжения ремня вычисляется по формуле:

$$F_0 = A\cdot\delta_0, \quad (3.23)$$

где A – площадь поперечного сечения ремня;

δ_0 – напряжение от предварительного натяжение ремня, $\delta_0 = 2{,}0$ МПа.

Тогда:

$$F_0 = (\pi\cdot R^2)\cdot\delta_0 = (3.14\cdot 0{,}0015^2)\cdot 2{,}0\cdot 10^6 = 14{,}14 \text{ Н}.$$

Сила, действующая на валы:

$$F_\Sigma = 2F_0\cdot z\cdot\cos\gamma/2, \quad (3.24)$$

где z – количество ремней, $z = 1$, тогда:

$$F_\Sigma = 2\cdot 14{,}14\cdot 1\cdot\cos 21^\circ 54' = 26{,}24 \text{ Н}.$$

4. РАСЧЕТ ВРЕМЕНИ ВЫХОДА ПРИБОРА НА РАБОЧИЙ РЕЖИМ

Время выхода прибора на рабочий режим равно времени, за которое двигатель разовьет скорость, равную скорости холостого хода.

Скорость вращения двигателя находят по формуле, предложенной в [6]:

$$n = n_0(1 - e^{-\frac{t}{T_m}}), \qquad (4.1)$$

где n_0 – частота вращения вала двигателя на холостом ходу;

$T_м$ – электромеханическая постоянная времени, с;

t – время, с.

При этом электромеханическая постоянная может быть найдена следующим образом:

$$T_M = T_{M_0} \cdot \frac{J_a + J_{пр}}{J_a}, \qquad (4.2)$$

где J_a – момент инерции якоря, г·см·с^2 (для ДПР–52–Н2–05 J_a =0,170·10^{-5} кг·м^2);

$J_{пр}$ – приведенный к валу двигателя момент инерции подвижных частей механизма, кг·м^2;

$T_{M\,0}$ – электромеханическая постоянная времени при холостом ходе, с (для ДПР–52–Н2–05 $T_{M\,0}$ = 0,02 с).

Выразим из формулы (4.1) время, за которое двигатель разовьет частоту вращения, равную 0.9·n_0 (фактически, выйдет на рабочий режим работы).

$$t = -T_м \cdot ln0{,}1. \qquad (4.3)$$

$$T_M = 0{,}02 \cdot \frac{0{,}170 \cdot 10^{-5} + 4{,}382 \cdot 10^{-6}}{0{,}170 \cdot 10^{-5}} = 0{,}072 \text{ с},$$

$$t = -0{,}072 \ln 0{,}1 = 0{,}166 \text{ с}.$$

Время выхода системы на рабочий режим составляет 0,166 с.

5. ВЫБОР ФОТОПРИЕМИКА

Приемник излучения в разрабатываемом приборе должен удовлетворять ряду требований:

1. Все излучение, проходящее через объектив должно попадать на рабочую поверхность приемника;
2. Максимальная рабочая частота приемника должна быть больше частоты сканирования прибора;
3. Спектральная область чувствительности приемника должна удовлетворять рабочему спектральному диапазону сканирующей системы;
4. Приемник должен обладать большой спектральной чувствительностью при малых собственных шумах.

Инерционные свойства приемника излучения, используемого в сканирующей системе, должны обеспечивать восприятие изменения сигнала в процессе сканирования. Постоянная времени приемника излучения должна удовлетворять условию:

$$\tau \le \frac{1}{2\pi f}, \qquad (5.1)$$

где f - частота сканирования.

При частоте развертки 40Гц: $\tau \le \frac{1}{2\pi \cdot 40} = 3{,}98 \cdot 10^{-3}$ с.

Для определения минимальных размеров чувствительной поверхности приемника рассмотрим часть сканирующей системы (рис.5.1):

Разрабатываемый спектральный прибор работает в видимой части спектра, поэтому приемник должен иметь спектральную область чувствительности ≈300 – 800 нм.

В качестве приемника, удовлетворяющем всем этим требованиям, выберем фотодиод ФД-9К [7], параметры которого приведены в табл.5.1.

Таблица 5.1

Параметры фотодиода ФД-9К

Спектральная область чувствительности, мкм	Световая чувствительность S_I, мА/лм	Площадь чувствительной поверхности, см^2	Постоянная времени, с	I_T не более, мкА	U_p, В
0,4-1,1	3,5 - 7,5	0,2	$1{,}2 \cdot 10^{-7}$	10	10

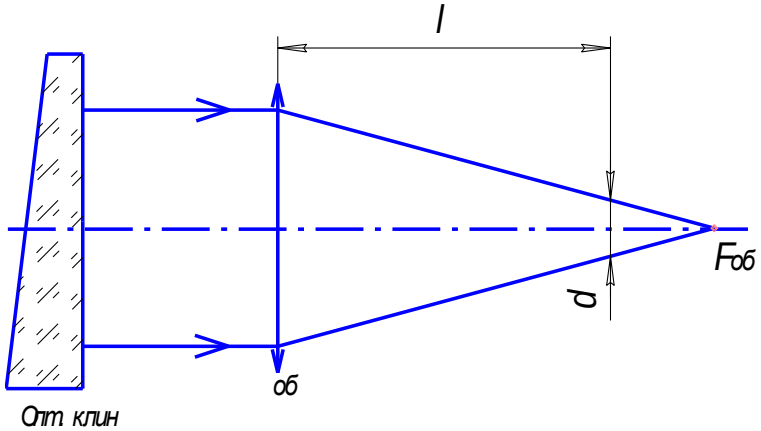


Рис.5.1. Расчет минимальных размеров чувствительной поверхности приемника

Минимальный размер чувствительной поверхности приемника S равен:

$$S = \pi \cdot \frac{d^2}{4}.$$

Рассчитаем расстояние l, на котором надо расположить приемник, чтобы все излучение, проходящее через объектив, попадало на его рабочую поверхность. Для точного выполнения этого условия, рассчитаем расстояние l при котором площадь светового пучка S=0,15см^2:

$$l = 75 - \frac{75 \cdot \sqrt{\frac{15}{\pi}}}{7{,}35} \approx 53 \text{ мм}.$$

Приемник излучения крепится на отдельной стойке, чертеж которой представлен в приложении.

6. РАСЧЕТ ЗАЩИТНОГО СТЕКЛА И БЛЕНДЫ

Для предотвращения прибора от попадания в него пыли, влаги и различных агрессивных сред в его конструкцию следует ввести защитное стекло. Для этого защитное стекло должно обеспечивать герметичность прибора, то есть крепиться в оправе при помощи замазки «Герметик УТ-32».

К защитному стеклу предъявляются следующие требования:

1. размеры стекла должны превышать размеры входного окна прибора, то есть защитное стекло не должно выполнять виньетирования поступающего от исследуемого объекта пучка лучей;
2. защитное стекло не должно значительно влиять на ход лучей, чтобы не вызывать искажения строимого объективом изображения.

Для удовлетворения первого требования следует выбрать размеры стекла из следующих неравенств:

$$D_{зс,\,min} > D_{min} + a \cdot \alpha, \qquad (6.1)$$

$$D_{зс,\,max} > D_{min} + a \cdot tg(\beta - \alpha), \qquad (6.2)$$

где a – расстояние от центра сканирующего элемента до плоскости установки защитного стекла;

α – мгновенное поле обзора;

β – полное поле обзора.

Примем a = 45 мм. Тогда:

$$D_{зс,\,min} > 16 + 0{,}0088 \cdot 45 = 16{,}4 \text{ мм},$$

$$D_{зс,\,max} > 16 + 45 \cdot tg\,(2° - 0{,}5°) = 17{,}2 \text{ мм}.$$

Пусть $D_{зс,\,min}$ = 16,5 мм, а $D_{зс,\,max}$ = 17,5 мм.

Для удовлетворения второго требования толщина защитного зеркала должна быть минимальной. Исходя из требований к грубым плоскопараллельным пластинкам, указанным в [8], выбираем толщину стекла из соотношения:

$$d_{зс} > (1/15 \ldots 1/25) \cdot D_{зс}, \qquad (4.4)$$

$$d_{зс} = 1{,}5 \text{ мм}.$$

Материалом защитного стекла является стекло марки ЛК 1.

Для уменьшения фонового излучения, попадающего в плоскость приемника излучения, можно использовать бленды. Блендами называются устройства, устанавливаемые перед входным зрачком оптической системы для ее защиты от засветок. Простейшая бленда в виде конической трубки показана на рис. 4.6.

Внутри бленда 2 окрашивается черной матовой краской, хорошо поглощающей излучение, поэтому излучение от боковой помехи 1, пройдя входное окно бленды, рассеивается и поглощается, а часть рассеянного света через выходное окно бленды попадает во входной зрачок 3 объектива

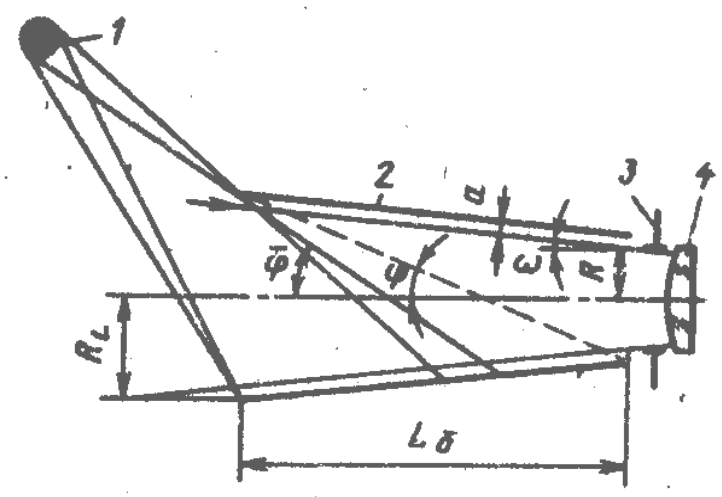


Рис. 6.1. Принцип действия бленды

4. Чтобы не допустить виньетирования полевых лучей от измеряемого объекта, угол конуса должен соответствовать 2ω.

Основными габаритными параметрами бленд являются следующие: радиусы входного R_L и выходного R окон бленды, а также ее длина $L_б$, угол ω наклона внутренней поверхности бленды к оптической оси, угол φ прямой засветки—угол между оптической осью и лучом, проходящим через кромки входного и выходного окон; угол засветки бленды φ’ — угол между лучом, образующим с оптической осью наименьший угол, и этой осью.

Длину бленды найдем по формуле:

$$L_б = 2R/(tg\varphi - tg\omega). \quad (6.3)$$

Радиус входного окна бленды найдем по формуле:

$$R_L = R(tg\varphi + tg\omega)/(tg\varphi - tg\omega), \quad (6.4)$$

где ω = 1,5°, R = 8,25 мм.

Зададимся значением φ = 15°.

Подставляя численные данные получим:

$$L_б = 2 \cdot 8{,}25/(tg10° - tg1{,}5°) = 110 \text{ мм}.$$

$$R_L = 8{,}25(tg10° + tg1{,}5°)/(tg10° - tg1{,}5°) = 11{,}14 \text{ мм}.$$

7. МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВСЕХ НЕСТАНДАРТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИБОРА

1. Линзы объектива – изготавливаются из оптических стекол марок ТФ-3 и Ф-1. Для увеличения доли потока проходящего в систему и уменьшения потерь на поверхности обеих линз наносятся просветляющие покрытия.
2. Оптический клин – изготавливается из оптического стекла ЛК-1 и покрывается просветляющим покрытием.
3. Защитное стекло - изготавливается из оптического стекла ЛК-1 и покрывается просветляющим покрытием.
4. Промежуточное кольцо - изготавливается из латуни ЛС59-1 путем точения.
5. Разнотолщинное кольцо - изготавливается из дюралюминия Д6 путем точения.
6. Оправа объектива – изготавливается из латуни ЛС59-1 путем литья под давлением с последующей обработкой.
7. Оправа оптического клина - изготавливается из дюралюминия Д6 путем литья под давлением с последующей обработкой.
8. Стойка объектива – изготавливается из стали 20Х. Способ изготовление – литье под давлением, с последующей доработкой основных размеров.
9. Стойка оправы сканирующего элемента – изготавливается из стали 20Х. Способ изготовления – литье под давлением, с последующей доработкой основных размеров.
10. Стойка приемника излучения - изготавливается из стали 20Х. Способ изготовления – литье под давлением, с последующей доработкой основных размеров.
11. Ведущий шкив – изготавливается из дюралюминия Д6. Способ изготовления – точение.
12. Хомут – изготавливается из стали 20Х. Способ изготовления – гибка.
13. Опора двигателя - изготавливается из стали 20Х. Способ изготовления – литье под давлением, с последующей доработкой основных размеров.
14. Бленда - изготавливается из стали 20Х. Способ изготовления – точение.

Покрытие металлических поверхностей эмалью ЭФ1118.

7. КОМПОНОВКА ПРИБОРА

Схема компоновки прибора полностью централизована [8]. При этом все блоки прибора размещаются в общем корпусе. Такая схема свойственна стандартно устанавливаемым приборам.

Достоинства схемы:

- компактность
- минимальная длина межблочных связей
- возможность обеспечения одновременной защиты от внешних воздействий.

3. Примеры вопросов к защите курсовой работы

1. Обосновать выбор структурной схемы оптико-механической части ОЭП.
2. Пояснить работу выбранной схемы.
3. Обосновать выбор и расчет излучателя.
4. Обосновать выбор и расчет приемника излучения.
5. Обосновать кинематический расчет сканирующей системы.