

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут”

Розрахунок і конструювання оптичних приладів

Методичні вказівки до курсового проекту

Київ НТУУ “КПІ” 2010

УДК 681.7, ББК 22.34

Розрахунок і конструювання оптичних приладів. Методичні вказівки до курсового проекту для студентів спеціальності “Оптичні та оптично-електронні прилади” / Уклад.: О.К.Кучеренко.- К.: НТУУ “КПІ”, 2010, - 65с.

*Гриф надано Методичною радою НТУУ «КПІ»
(Протокол № від)*

Навчальне видання

Розрахунок і конструювання оптичних приладів

Методичні вказівки до курсового проекту

для студентів спеціальності “Оптичні та оптично-електронні прилади”
напрямків підготовки бакалавр, магістр

Автор: Кучеренко Олег Костянтинович

Відповідальний редактор - Колобродов В.Г., д-р техн. наук, проф.

Рецензент: Кашперський В.С., канд. техн. наук, доцент.

ВСТУП

Метою курсового проекту з дисципліни «Розрахунок і конструювання оптичних приладів» (РіКОП), є привиття студентам знань, умінь та навичок з питань проектування оптичних приладів, що розроблюються на базі трьох основних оптичних систем: телескопічної системи, системи мікроскопа та проекційної системи. Цей проект виконується студентами в другому семестрі на четвертому курсі. При виконанні проекту студенти застосовують знання з загальних питань проектування приладів, які вони отримали раніше при вивченні таких дисциплін як: «Технічна механіка»; «Основи конструювання»; «Технологія приладобудування»; «Теорія оптичних систем»; «Випробування оптичних приладів» та інших. Дисципліна «Розрахунок і конструювання оптичних приладів» має на меті надати студентам оптикам теоретичні і практичні знання пов'язані із специфікою проектування точних оптичних приладів. Процес проектування, як відомо, містить дві основні складові: розрахункова частина і безпосереднє виконання креслень приладу, що проектується. Основний акцент у вказівках поставлений на допомозі студентам у вирішенні першої складової процесу проектування. При цьому мається на увазі, що друга частина більш ефективно може бути вирішена під час індивідуальних консультацій студентів викладачем. Такі консультації передбачені навчальним планом підготовки фахівців.

Дані методичні вказівки складені згідно діючої програми відповідної дисципліни. Програмою передбачено зокрема самостійна робота студентів по поглибленню знань певних розділів дисципліни РіКОП, працюючи самостійно в бібліотеці з науково-технічною літературою. Посилання на літературні джерела у вказівках допоможуть студентам підібрати необхідну літературу для самостійного вивчення. Що стосується питань виконання креслень при конструюванні оптичних приладів то тут основну увагу студентам слід приділити вивченню системи державних стандартів, які мають відношення до правил ведення конструкторської документації, а також вивченню систем автоматизованого конструювання «Компас» або «AutoCad».

Наприкінці вказівок надані додатки, які містять інформацію що до технологічних вимог при виготовленні оптичних деталей різного призначення, а також конструктивних параметрів елементної бази, яку студенти мають використовувати при проектуванні приладів передбачених темами курсового проекту.

Методичні вказівки будуть корисними для самостійного виконання студентами курсового проекту, при підготовці до проведення практичних занять по дисципліні РіКОП, а також при вивченні інших навчальних дис-

циплін, які викладаються на кафедрі «Оптичних та оптико-електронних приладів» та споріднених кафедрах.

1. Основні вимоги до змісту курсового проекту.

Курсовий проект з дисципліни РіКОП виконується в 7-му семестрі на 4-му курсі. На час виконання курсового проекту студенти прослухали вказані вище лекційні курси, але з питаннями проектування оптичних приладів в повному обсязі цих робіт стикаються вперше. Титульна сторінка до пояснювальної записки проекту наведена у *додатку 1*. Кожен студент отримує індивідуальне завдання по формі наданій у *додатку 2*. Типовий вигляд завдання буде прокоментований у наступному параграфі. Згідно завдання, виконавши курсовий проект, студент повинен пред'явити до захисту матеріали наступного змісту:

I. Пояснювальна записка	– 35-40 стор.
1. Вступ	– 1-2 стор.
2. Опис схеми прийнятої до проектування та параметрів, що її характеризують	– 2-3 стор.
3. Габаритний розрахунок	– 7-8 стор.
4. Конструкторські розрахунки (розрахунки шкал, сіток, оптичних мікрометрів, механізмів приводу мікрометрів та діоптрійної наводки та інше).	– 6-7 стор.
5. Точносні розрахунки	– 6-7 стор.
6. Обґрунтування принципу компоновки приладу та опис конструкції з особливостями юстування	– 6-7 стор.
7. Методика контролю вихідних характеристик приладу, або його градуювання	– 5-6 стор.
8. Висновки	– 1 стор.
9. Література	– 1 стор.
10. Зміст	– 1 стор.
II Креслення	– 2,5-3 листа формату А1
1. Оптична схема	– 1 лист формату А2/А3
2. Складальне креслення розробки	– 1 лист формату А2/А3
3. Вузлові креслення та деталювання оптичних та механічних деталей	– 1/1,5 листа формату А1

При розробці вузлових креслень студентам пропонується розробити один з типових вузлів: об'єктив, окуляр, призматичний блок, мікрометр,

склеєний лінзовий блок. При деталюванні оптичних деталей слід розробляти креслення окремих лінз, призм, сіток, світлофільтрів. При деталюванні механічних деталей слід розробляти креслення однієї з корпусних деталей, а також деталей що виготовляються методами точіння, фрезерування та лиття. При виборі деталей для деталювання перевагу слід надавати деталям, що входять до однієї складальної одиниці.

Пояснювальна записка та графічний матеріал повинні бути виконані згідно вимог державного стандарту що до виконання текстових та графічних матеріалів..

2.Перелік тем, технічне завдання на проект та графік виконання

Виходячи з мети курсового проекту, студентам пропонуються теми по розробці наступних оптичних приладів:

1. Монокуляр
2. Телескопічний приціл
3. Панорама
4. Коліматор
5. Коліматорний приціл
6. Автоколіматор
7. Відліковий мікроскоп
8. Проектор

По кожній з тем запропоновано 6-7 варіантів, що відрізняються технічними вимогами, елементною базою, вимогами експлуатації. Наприклад тема «Монокуляр» має варіаційні відмінності по збільшенню, кутовим полям зору оптичної системи, типам обертальних систем, типам окулярів та ін. Типовий зміст технічного завдання на курсовий проект по темі «Монокуляр» наведено в *Додатку 2*. Аналогічно, студенти отримують завдання по всім перерахованим вище темам.

Курсовий проект виконується згідно графіка:

етапу	Н№ Найменування етапу	Термін виконання (неділі)
11	Ознайомлення з завданням, уточнення технічного завдання та опис схеми приладу.	1
22	Габаритний розрахунок оптичної схеми	2
33	Конструкторські розрахунки та попереднє оформлення оптичної схеми	2

44	Оцінка точності приладу та попередня компоновка конструкції	2
55	Остаточне креслення оптичної схеми і складальне креслення приладу	3
66	Опис конструкції з рекомендаціями по юстуванню	1
77	Розробка креслень деталей	2
88	Розробка методики контролю вихідних характеристик або градуювання приладу	1
99	Остаточне оформлення пояснювальної записки та підготовка до захисту курсового проекту	2

Хід виконання графіка курсового проекту контролюється керівником і враховується при атестації студентів і остаточній оцінці за виконання проекту.

3.Вказівки до виконання габаритного розрахунку в курсовому проекті

На першому етапі студенти детально вивчають завдання, уточнюють вимоги до приладу, роблять короткий огляд можливих схем для реалізації приладу. В цій же частині приводяться співвідношення, які дозволяють обчислити основні характеристики приладу: збільшення, розмір та віддалення вихідної зіниці, діапазон вимірювань, паралакс і таке інше. Розділ закінчується вибором схеми для проектування.

На другому етапі студенти виконують габаритний розрахунок оптичної схеми приладу. Методика габаритного розрахунку приладів залежить від типу оптичної системи, що лежить в його основі: телескопічна, проекційна або система мікроскопу. Але, незалежно від типу, результатом цього розрахунку повинно стати :

- § визначення параметрів об'єктивів, окулярів, конденсорів;
- § визначення світлових діаметрів компонентів схеми;
- § визначення взаємного розташування компонентів схеми;
- § визначення положення вхідної зіниці;
- § визначення положення вихідної зіниці;
- § визначення відсотку віньєтування світлових пучків.

Приклади габаритного розрахунку розглянемо для кожної з типових схем.

3.1 Габаритний розрахунок приладу на основі телескопічної оптичної системи.

Габаритний розрахунок приладу на основі телескопічної системи розглянемо на прикладі габаритного розрахунку приладу по темі «Монокуляр».

Для розрахунку приймемо такі вихідні дані:

- збільшення $\Gamma_m = 12^*$;
- кутове поле зору $2w = 3^\circ$;
- діаметр вхідної зіниці $D = 48$ мм;
- віддалення вихідної зіниці $S'_p \approx 18$;
- діоптрійне переміщення окуляра ± 5 дптр.
- тип обертальної призми Акр-60.

Завдання на розрахунок:

1. розрахувати і вибрати окуляр;
2. розрахувати і вибрати об'єктив;
3. визначити світлові діаметри об'єктива і окуляра;
4. уточнити віддалення вихідної зіниці;
5. побудувати хід променів в монокулярі;
6. визначити розміри призми і її розташування;
7. визначити роздільну здатність;
8. побудувати габаритну схему монокуляра.

Перед розрахунком рекомендується провести теоретичний аналіз оптичної схеми майбутнього приладу.

Монокуляр являє собою прилад для спостереження, в основу якого покладена зорова труба Кеплера. Вона містить об'єктив і додатний окуляр. Це значить, що збільшення монокуляра від'ємне, тобто $\Gamma_T < 0$. Призма, введена в оптичну схему, має подвійне призначення. Вона використовується для зламу оптичної осі на 60° і є обертальною системою. Збільшення призмової обертальної системи від'ємне, тобто $\beta = -1^*$. Це означає, що для отримання повного обертання (по двом координатам) необхідно використовувати призму з непарним числом відбиваючих граней і з дахом. Із цих міркувань вибираємо призму Акр $P = 60^\circ$. Призма виготовляється із скла БК 10 і має параметри: $a = D$, $C = 2D$, $h = 1,094D$, $l = \kappa D = 2,646D$, де a – розмір вихідної та вихідної граней; D – найбільший світловий діаметр однієї з граней призми; C – довжина ребра даху; h – висота; l – довжина ходу променів у призмі; $\kappa = 2,646$ – коефіцієнт призми.

Таким чином, збільшення монокуляра з призмовою обертальною системою є додатнім.

Габаритний розрахунок монокуляр проводиться без урахування призми, тобто для збільшення $\Gamma_T = -12^*$.

Визначаємо оптичні характеристики окуляра і об'єктива і підбираємо їх по каталогу[1].

Вибір окуляра. Визначимо кутове поле зору окуляра за формулою:

$$\operatorname{tg} w' = -12(-\operatorname{tg} 1,5^\circ) = (-12)(-0,02618) = 0,31422; w' = 17,4^\circ; 2w' = 34,8^\circ.$$

Такий кут мають симетричний окуляр і окуляр Кельнера. Вибираємо симетричний окуляр, тому що у нього найбільший задній відрізок S'_f . Його фокусну відстань визначаємо із припущення, що $S'_f \approx S'_p \approx 0,75 f'_{ок}$. Звідси: $f'_{ок} = S'_p / 0,75 = 18 / 0,75 = 24$ мм. За отриманими даними вибираємо симетричний окуляр з оптичними характеристиками: $f'_{ок} = 25$ мм, $2w' = 40^\circ$, $S_f = -18,9$ мм, $S'_f = 18,9$ мм. Його конструктивні параметри приведені нижче:

г, мм	d, мм	D _{св.} , мм
68,6	1,5	22
21,0	7,5	
-30,8	0,1	
30,6	7,5	22
-21,0	1,5	
-68,6		

Ескіз оптичної схеми окуляра наведений на рис.3.1.

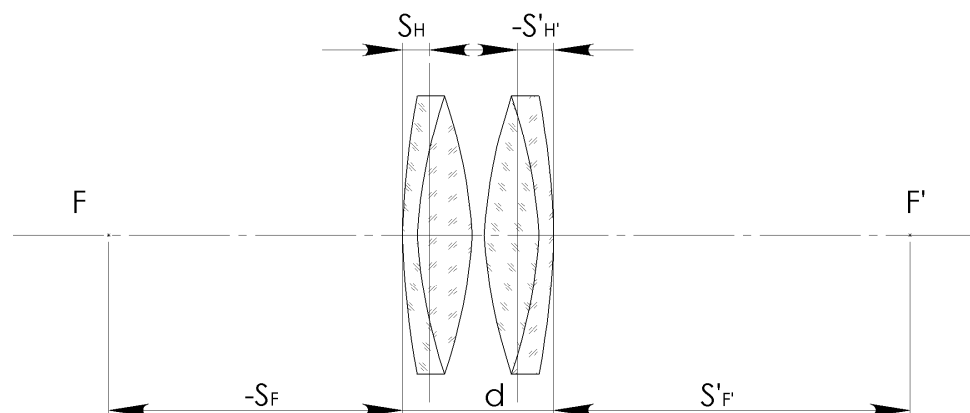


Рис.3.1.Схема симетричного окуляра

Вершині відрізки окуляра дорівнюють:

$$S_H = S_f - f_{ok} = -18,9 - (-25) = 6,1 \text{ мм};$$

$$S'_{H'} = S'_f - f'_{ok} = 18,9 - 25 = -6,1 \text{ мм}.$$

Збільшення окуляра $\Gamma_{ок} = 250/f'_{ок} = 250/25 = 10^*$.

Вибір об'єктива. Відомо: $\Gamma_T = -12^*$, $D = 48 \text{ мм}$ і $f'_{ок} = 25 \text{ мм}$.

Визначимо фокусну відстань і відносний отвір об'єктива за формулою:

$$f'_{об} = -(-12) \cdot 25 = 300 \text{ мм};$$

$$D: f'_{об} = 48:300 = 1:6,25.$$

За отриманими даними вибираємо з каталогу об'єktiv з оптичними характеристиками $f'_{кат.} = 320 \text{ мм}$. Його конструктивні параметри наступні:

г, мм	d, мм	D _{св.} , мм
110,4	9,8	54,0
-120,6	3,2	
-859,0		

Оптичні характеристики вибраного об'єктива відрізняються від розрахованого. Потрібне перерахування конструктивних параметрів через коефіцієнт перерахування за формулою:

$$K_{пер.} = 300/320 = 0,937.$$

Після перерахування отримуємо об'єktiv з оптичними характеристиками: $f'_{об} = 300 \text{ мм}$, відносний отвір 1:6, $S_F = -303,4 \text{ мм}$, $S'_{F'} = 287,4 \text{ мм}$. Його конструктивні параметри мають наступні значення:

г, мм	d, мм	D _{св.} , мм
103,5	9,8	50,0
-112,9	3,2	
-804,8		

Ескіз оптичної схеми об'єктива наведений на рис.3.2.

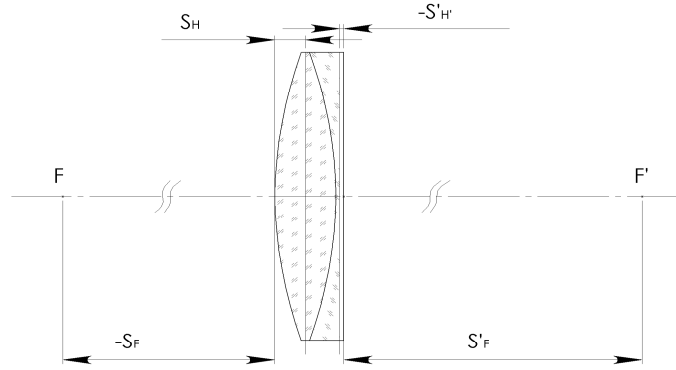


Рис.3.2.Схема об'єктива

Вершинні відрізки об'єктива дорівнюють:

$$S_H = S_F - f_{об} = -303,4 + 300 = -3,4 \text{ мм};$$

$$S'_{F'} = S'_{F'} - f'_{об} = 287,4 - 300 = -12,6 \text{ мм}.$$

Вибраний об'єктив середньої світлосили, достатньої для візуального приладу.

Визначимо світлові діаметри об'єктива і окуляра. Для забезпечення заданого збільшення приймаємо входну зіницю $D = 48 \text{ мм}$ за світловий діаметр об'єктива, тобто $D = D_{св.} = 48 \text{ мм}$.

Для визначення світлового діаметра окуляра розрахуємо шлях апертурного променя, що падає на край входної зіниці, коли $h_1 = -D/2 = -24 \text{ мм}$, і двох польових променів, що проходять через верхній та нижній край входної зіниці, тобто при $m = \pm 24 \text{ мм}$. Розрахунок висоти h_{i+1} та кута a_{i+1} ведемо по формулам довільного променя[2]:

$$h_{i+1} = h_i - d_i \cdot \operatorname{tg} a_{i+1}; \quad (3.1)$$

$$\operatorname{tg} a_{i+1} = \operatorname{tg} a_i + h_i / f'_i. \quad (3.2)$$

Для даних параметрів згідно (3.1) і (3.2) маємо:

$$h_1 = -24 \text{ мм}; \quad a_1 = -w;$$

$$\operatorname{tg} a_1 = \operatorname{tg}(-1,5) = -0,02618;$$

$$d = f'_{об} + f_{ок} = 300 + 25 = 325 \text{ мм};$$

$$\operatorname{tg} a_2 = \operatorname{tg}(-w) + \frac{h_1}{f'_{об}} = -0,02618 + \frac{(-24)}{300} = -0,10618;$$

$$h_2 = h_1 - d \operatorname{tg} a_2 = -24 - 325(-0,10618) = 10,5 \text{ мм}.$$

Світловий діаметр окуляра $D_{св.ок} = 2h_2 = 21,0 \text{ мм}$.

Уточнимо віддалення вихідної зіниці. Із формули $Z'_{p'} = Z_p / \Gamma_T^2$, отримаємо: $z'_{p'} = 300/144 = 2,08 \text{ мм}$; $S'_{p'} = S'_{F'} + z'_{p'} = 18,9 + 2,08 = 20,98 \text{ мм}$, тобто віддалення більше ніж 18 мм, що відповідає завданню.

По розрахунковим даним будуюмо на міліметровому папері хід променів в монокулярі. Графічна побудова має підтвердити правильність виконаних розрахунків.

Розрахунок сітки.

Визначимо параметри сітки із формули $D_c = D_{\text{пл}} = 2 \cdot f'_{\text{об}} \cdot \text{tgw}$. Світловий діаметр сітки D_c дорівнює діаметру польової діафрагми

$D_{\text{пл}} : D_c = 2 \cdot 300 \cdot 0,2618 = 15,7 \text{ мм}$. Прийнемо $D_c = 16 \text{ мм}$. Перевіримо отриманий результат через поле зору окуляра:

$$D_c = 2 \cdot 25 \cdot 0,3639 = 18,1 \text{ мм}.$$

Це говорить про те, що поле зору окуляра має деякий запас і не обрізає зображення сітки. Товщину сітки вибираємо рівній $d_c = 1,5 \pm 0,2 \text{ мм}$. Матеріал сітки БК 10. Подовження, що вноситься сіткою Δd_c , розрахуємо за формулою

$$\Delta d = \frac{n-1}{n} \cdot d \quad (3.3)$$

Підставивши у (3.3) вихідні дані отримаємо:

$$\Delta d_c = \frac{1,5713-1}{1,5713} \cdot 1,5 = 0,54 \text{ мм}.$$

Визначимо процент віньєтування. Щоб визначити, чи має місце віньєтування і яка його величина, уточнимо висоту в зворотньому ході. Відомо, що $a'_{p'} = 27,08 \text{ мм}$. Тоді $h_2 = a'_{p'} \cdot \text{tgw}' = 27,08 \cdot 0,36397 = 9,8 \text{ мм}$. Звідси, діючий світловий діаметр окуляра $D_{\text{св.ок.}} = 2h_2 = 19,6 \text{ мм}$. Це означає, що віньєтування існує і частина похилих пучків по краю поля зрізається. Віньєтування складає з урахуванням формули

$$B = \frac{D_{\text{св.ок.}} - D_{\text{св.ок.д}}}{D_{\text{св.ок.}}} \cdot 100\%$$

$$B = \frac{21 - 19,6}{21} \cdot 100 = 7\%.$$

Для монокуляра ця величина дуже незначна. Такий монокуляр можна вважати світлосильним.

Визначимо розміри призми і її розташування. Для визначення розмірів призми і її положення використовуємо графо-аналітичний метод проф. І.А. Туригіна[11].

При $D > D_{\text{пл}}$ половину кута конуса між ними s знайдемо з формули

$$\text{tg} s = \frac{D - D_{\text{пл}}}{2 f'_{\text{об}}} = \frac{48 - 16}{2 \cdot 300} = 0,0533; s = 3^\circ.$$

Розрахунок параметрів призми ведемо від її вихідної грані, розташованої від польової діафрагми (сітки) на відстані l (див.рис.3.3), що дорівнює:

$$l \geq 0,01 f_{ок}^2 \geq 0,01 \cdot 25^2 \geq 6,25.$$

Прийmemo $l = 10$ мм.

Найдемо світловий діаметр D_2 вихідної грані призми за формулою $D_2 = D_{пл} + 2l \tan g = 16 + 2 \cdot 10 \cdot 0,0533 = 17,0$ мм.

Для визначення світлового діаметра вхідної грані призми D_1 знайдемо кут g :

$$\tan g = \frac{n}{2\kappa} = \frac{1,5713}{2 \cdot 2,64} = 0,279; g = 16,8^\circ, \text{ де } n - \text{показник заломлення матері-}$$

алу призми; κ - її коефіцієнт.

Кут g вводиться в побудову ходу променів наступним чином. На відстані $l = 10$ мм від сітки проводять слід вихідної грані призми. З точки перетину її із оптичною віссю проводять промінь під кутом $g = 16,8^\circ$. Знаходять точку перетину цього променя з верхнім похилим променем. Через неї проводять слід вихідної грані призми. Відстань між вхідною і вихідною гранню призми є редуційованою товщиною розгортки призми $d_{ред.} = 36$ мм. Звідси, довжина оптичної розгортки призми d_{np} дорівнює:

$$d_{np} = d_{ред} n = 36 \cdot 1,5713 = 56,6 \text{ мм.}$$

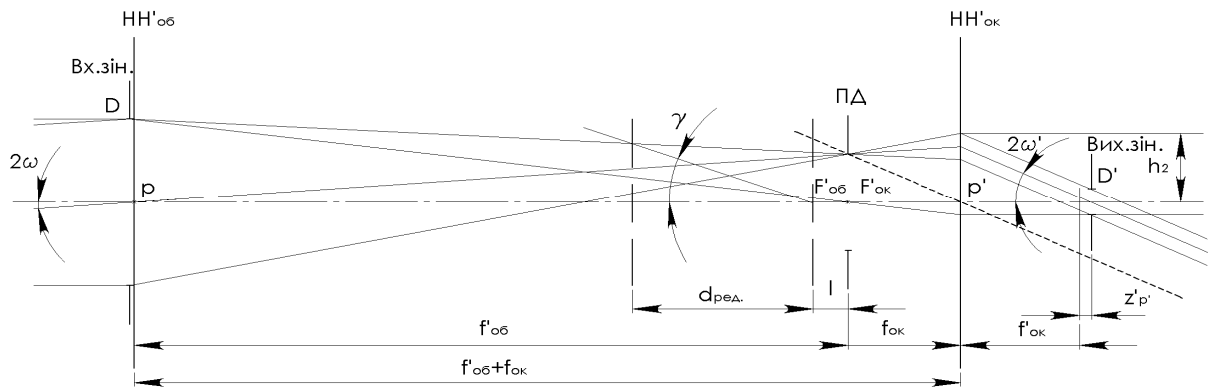


Рис. 3.3.Схема розташування елементів в монокулярі

Нарешті отримаємо $D_1 = d_{np} / c = 56,6 / 2,64 = 21,44$. Світловий діаметр реальної призми слід округлити до найближчого стандартного розміру по ГОСТ 6636-69, тобто приймаємо $D_1 = 22$ мм.

Подовження, що вноситься призмою, знайдемо за формулою

$$\Delta d = \frac{n-1}{n} \cdot d :$$

$$\Delta d_{np} = \frac{1,5713-1}{1,5713} 56,6 = 20,6 \text{ мм.}$$

Довжина ребра даху призми дорівнює $c = 2D_1 = 44$ мм. Відстань від об'єктива до призми l_1 знайдемо за формулою:

$$l_1 = f'_{об} + \Delta d_{пр} - l - d_{пр} = 300 + 20,6 - 10 - 56,6 = 254 \text{ мм.}$$

Будуємо габаритну схему монокуляра, як це показано на рис.3.4.

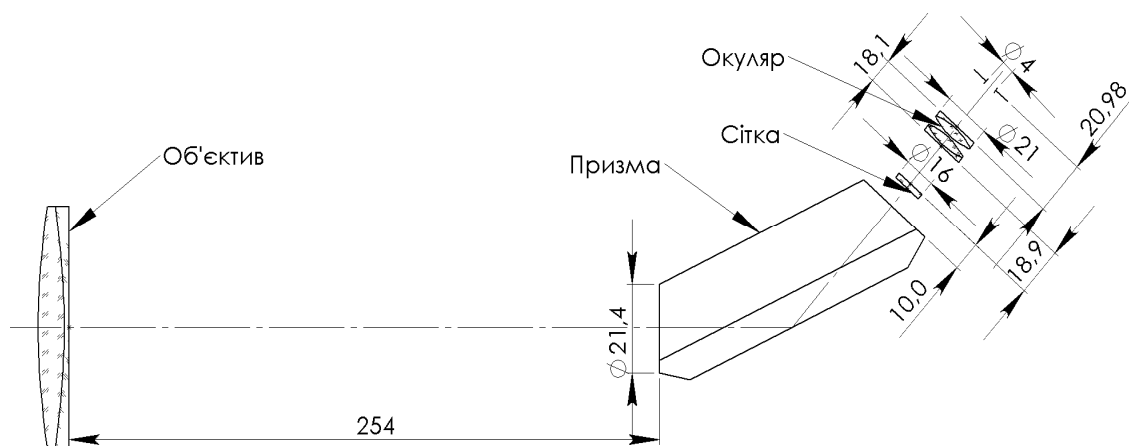


Рис.3.4. Габаритна схема монокуляра

3.2 Габаритний розрахунок приладу на основі оптичної схеми мікроскопу

Габаритний розрахунок приладу на основі оптичної схеми мікроскопу розглянемо на прикладі теми „Мікроскоп відліковий”. В якості мікрометра в схемі використовується плоско-паралельна пластинка, що обертається.

Вихідні дані:

- § Збільшення мікроскопа $\Gamma_m = -70^*$;
- § Збільшення окуляра $\Gamma_{ок} = 10^*$;
- § Оптичний інтервал мікроскопа $\Delta \approx 140$ мм.
- § Діапазон діоптрійної наводки ± 15 дптр.

Завдання на розрахунок:

- § Розрахувати і вибрати об'єктив;
- § Розрахувати і вибрати окуляр;
- § Розрахувати лінійне поле зору мікроскопа і окуляра;
- § Визначити положення предмету відносно об'єктиву;

- § Розрахувати діаметр вихідної зіниці і її віддалення;
- § Розрахувати параметри оптичного мікрометра;
- § Побудувати хід променів в мікроскопі;
- § Розрахувати межу розділення мікроскопа;
- § Визначити глибину різкості;
- § Розрахувати механізм діоптрійної наводки;
- § Побудувати габаритну схему мікроскопа.

Оптична схема мікроскопа має вигляд наведений на рис.3.5.

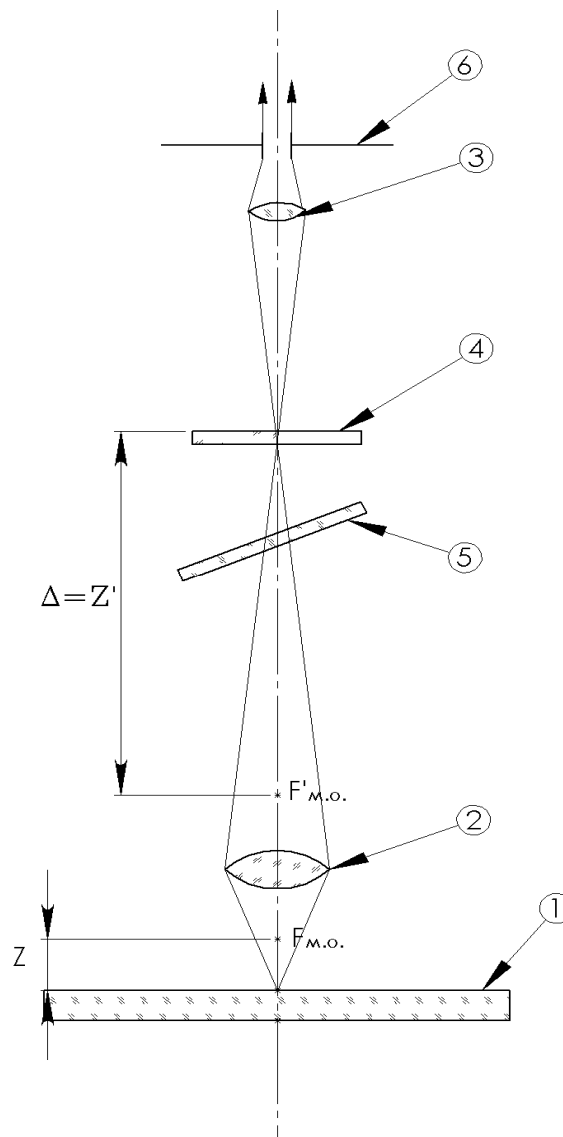


Рис.3.5. Оптична схема відлікового мікроскопа

Згідно рис.3.5 основна шкала 1 проектується мікрооб'єктивом 2 в площину додаткової шкали 4. Плоско-паралельна пластина мікрометра 5 зсуває зображення основної шкали відносно нуль-punkту додаткової шкали. В склад мікроскопа входять окуляр 3 та вихідна зіниця 7.

Вибір об'єктива.

Визначимо збільшення об'єктива:

$$b_{об} = -\frac{\Gamma_m}{\Gamma_{ок}} = -\frac{70}{10} = 7*$$

Із співвідношення: $500A \leq \Gamma_m \leq 1000A$, вибираємо апертуру мікро-
скопа:

$$A = \frac{\Gamma_m}{500} = \frac{70}{500} = 0,14$$

З урахуванням $A = n \sin s_A$ отримаємо:

$$\sin s_A = A/n = 0,14 \text{ і } s_A = 8^\circ$$

Фокусну відстань об'єктива попередньо визначимо за формулою:

$$-b_{об} = -\frac{\Delta}{f'_{об}}; f'_{об} = \frac{-\Delta}{-b_{об}} = \frac{140}{7} = 20 \text{ мм.}$$

Згідно з отриманими даними, вибираємо об'єктив з оптичними ха-
рактеристиками: $f'_{об} = 24,18 \text{ мм}$; $S_F = -21,77 \text{ мм}$; $S'_{F'} = 23,68 \text{ мм}$; $A = 0,14$; $b \leq 10$.
Його оптичні параметри:

r , мм	d , мм	$D_{св}$, мм
13,1	2,9	9,0
-8,6	1,5	
-39,9		

Оптична схеми мікрооб'єктива наведена на рис.3.6.

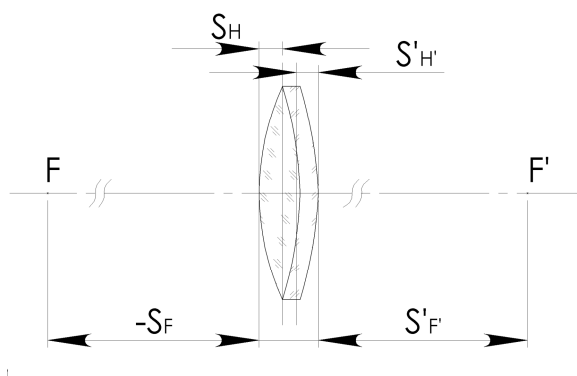


Рис.3.6. Оптична схема мікрооб'єктива

Вершинні відрізки об'єктива дорівнюють:

$$S_H = S_F - f_{o\delta} = -21,77 + 24,18 = 2,41 \text{ мм};$$

$$S'_H = S'_F - f'_{o\delta} = -23,68 + 24,18 = -0,5 \text{ мм}.$$

Уточнимо оптичний інтервал мікроскопа:

$$\Delta = f'_{o\delta} \cdot b_{o\delta} = 24,18 \cdot 7 = 168 \text{ мм}.$$

Вибір окуляра.

Визначимо фокусну відстань за формулою:

$$f'_{ok} = \frac{250}{\Gamma_{ok}} = \frac{250}{10} = 25 \text{ мм}.$$

Із каталога вибираємо симетричний окуляр з наступними характеристиками: $f'_{ok} = 25 \text{ мм}$; $2w^0 = 52$; $S_F = -11,2 \text{ мм}$; $S'_F = 11,2 \text{ мм}$.

Його конструктивні параметри:

r , мм	d , мм	$D_{св}$, мм
35,11	10,0	15
13,93	4,5	15
-20,14	0,07	
20,14	4,5	
-13,93	10,0	15
-35,11		15

Ескіз оптичної схеми окуляра наведений на рис.3.7.

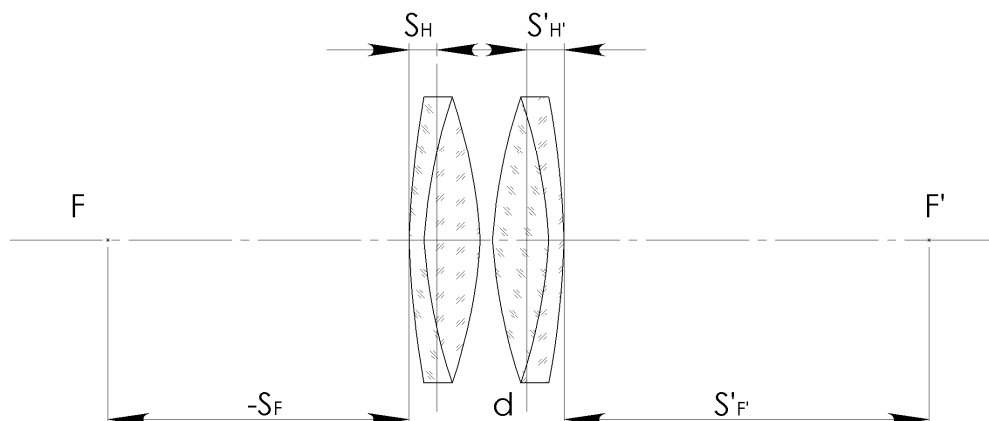


Рис.3.7. Оптична схема окуляра

Вершинні відрізки окуляра дорівнюють:

$$S_H = S_F - f_{ok} = -11,2 + 15 = 3,8 \text{ мм};$$

$$S'_H = S'_{F'} - f'_{об} = 11,2 - 15 = -3,8 \text{ мм}.$$

Розрахуємо лінійне поле зору мікроскопа і окуляра.

Лінійне поле зору мікроскопа визначимо за формулами:

$$tgw' = \frac{2y \cdot \Gamma_m}{500}; \quad 2y = \frac{500 \cdot tgw'}{\Gamma_m}. \quad (3.4)$$

Підставивши в (3.4) вихідні дані отримаємо

$$2y = \frac{500 \cdot tg 26^\circ}{70} = \frac{500 \cdot 0,4877}{70} = 3,48.$$

Лінійне поле зору окуляра дорівнює:

$$2y' = 2y \cdot b_{об} = 3,48 \cdot 7 = 24,35 \text{ мм}.$$

Перевіримо його значення зі сторони окуляра:

$$2y' = 2f'_{ок} \cdot tg 26^\circ = 14,6 \text{ мм}.$$

Приймемо світловий діаметр сітки рівним діаметру польової діафрагми:

$$D_{н.д.} = 2y' = 14,5 \text{ мм}.$$

Визначимо положення предмету відносно мікрооб'єктива за формулою:

$$Z_{об} = \frac{-24,18^2}{168} = -3,4$$

Передні відрізки об'єктива дорівнюють:

$$-a_{об} = -f_{об} + (-Z_{об}) = -27,58 \text{ мм};$$

$$-S_{об} = -S_F + (-Z_{об}) = -25,17 \text{ мм}.$$

Уточнимо діаметр об'єктива:

$$D_{об} = 2 | a_{об} | A = 7,7 \text{ мм}.$$

Розрахуємо діаметр і віддалення вихідної зіниці.

Діаметр вихідної зіниці визначимо за формулою:

$$D' = \frac{500A}{\Gamma_m} = \frac{500 \cdot 0,2}{70} = 1,43 \text{ мм}.$$

Віддалення вихідної зіниці визначимо за формулами:

$$Z_p = a_{об} = f'_{об} + \Delta = 24,18 + 168 = 192,18 \text{ мм}.$$

$$Z'_p = \frac{-f'_{ок}}{Z_p} = \frac{25^2}{166,84} = 3,76 \text{ мм}.$$

Побудувати на міліметровому папері хід променів в мікроскопі.

Знайдемо межу розділення мікроскопа за формулою:

$$d = \frac{l}{2A} = \frac{0,689}{2 \cdot 0,2} = 1,47 \text{ мкм}.$$

Для підвищення розділення рекомендується установити зелений або синій світлофільтр[3].

3.3 Габаритний розрахунок приладу на основі проекційної оптичної схеми

Габаритний розрахунок приладу на основі проекційної оптичної схеми розглянемо на прикладі теми „Проектор”

Вихідні дані:

- формат предмету - $18 \times 24 \text{ мм}^2$;
- розмір екрана - $1,8 \times 2,4 \text{ м}^2$;
- освітленість екрана - $E = 60 \text{ лк}$;
- віддалення екрана від проекційного апарату - $S' = 10 \text{ м}$;
- коефіцієнт пропускання оптичної системи $t = 0,5$
- джерело світла лампа K14
світловий потік - $F_0 = 11000 \text{ лм}$;
- габаритна яскравість - $L = 18 \cdot 10^6 \text{ кд/м}^2$;
- розмір тіла накаливання $10 \times 10 \text{ мм}^2$;
- освітлювач – дволінзовий конденсор;
- точність регулювання збільшення $\pm 0,1\%$;

Вибір об'єктива.

Із заданих розмірів предмету і екрана знаходимо лінійне збільшення об'єктива:

$$b = -\frac{y'}{y} = -\frac{1800}{18} = -100^*.$$

Фокусну відстань об'єктива визначимо за формулою:

$$f' = \frac{a'}{1-b} \approx \frac{S'_{об}}{1-b}, \quad (3.5)$$

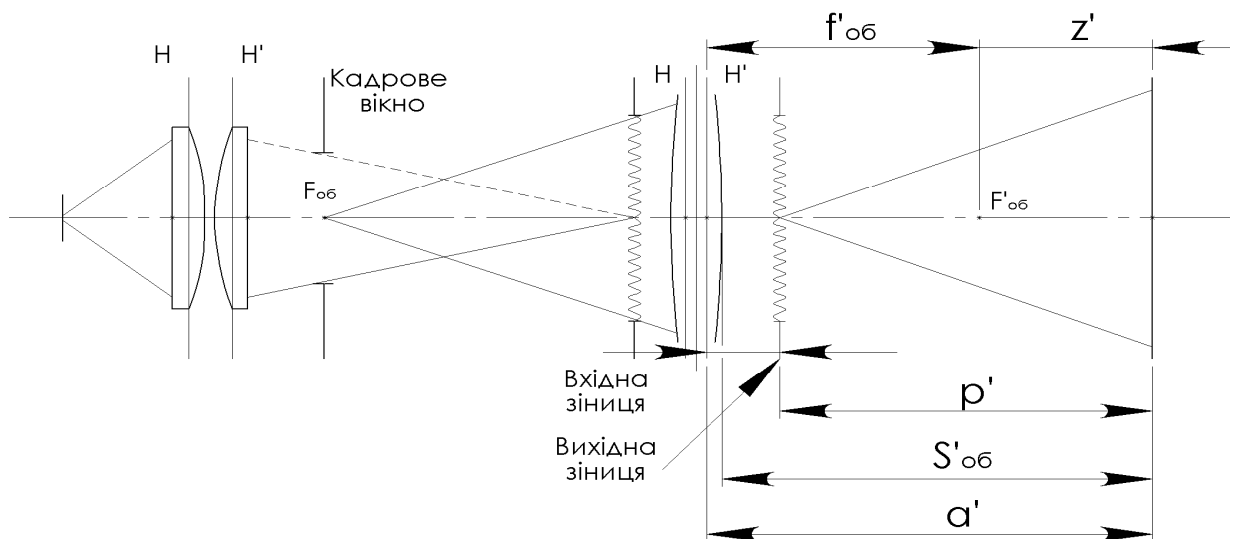


Рис.3.8. Оптична схема проектора

де позначення зрозумілі зі схеми наведених на рис.3.8.
Підставивши в (3.5) вихідні дані отримаємо:

$$f' = \frac{10000}{101} \approx 100 \text{ мм.}$$

Визначимо діаметр вихідної зіниці об'єктива за формулою[11]:

$$D' = 2S' \sqrt{\frac{E}{p \cdot L \cdot t}}, \quad (3.6)$$

де S' - відстань до екрану; E – освітленість екрана; L - габаритна яскравість джерела випромінювання; t - коефіцієнт пропускання оптичної системи.

Підставивши в (3.6) вихідні дані, отримаємо:

$$D' = 2 \cdot 10^4 \sqrt{\frac{60}{0,5 \cdot 3,14 \cdot 18 \cdot 10^6}} \approx 29 \text{ мм.}$$

Відносний отвір об'єктива буде дорівнювати:

$$\frac{D'}{f'} = \frac{30}{100} = \frac{1}{3,3} \approx 1:3.$$

Визначимо відстань z від переднього фокуса до площини предмету за формулою:

$$z = -\frac{f'}{1-b} = -\frac{100}{101} \approx -1 \text{ мм.}$$

Так як площина предмета розташована поблизу передньої фокальної площини об'єктива, то його поле зору буде дорівнювати:

$$\text{tg} w' = \frac{\sqrt{x^2 - y^2}}{2f'} = 0,15; \quad 2w' = 17^\circ.$$

В якості об'єктива виберемо проєкційний об'єктив П-5. Його оптична схема наведена на рис.3.9.

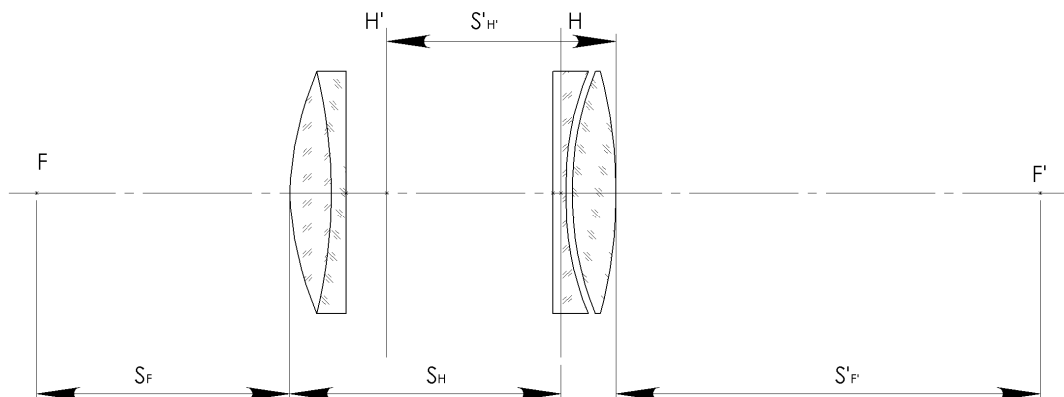


Рис.3.9. Оптична схема проєкційного об'єктива

Об'єктив, що є в каталозі має параметри:

$$f' = 75 \text{ мм};$$

$$D'/f' = 1:2,1;$$

$$2w' = 23^\circ;$$

$$S'_{F'} = 37,39 \text{ мм}; S_F = -45 \text{ мм}.$$

Його конструктивні параметри наступні:

Номер поверхні	r , мм	d , мм	n_D	D
1	46,8	11,0	1,510	36,5
2	-39,9	2,5	1,578	36,5
3	∞	32,5	1	36,5
4	66,5	2,5	1,578	39,5
5	26,5	2,5	1	39,5
6	30,4	10,5	1,510	39,5
7	-134,8			

Коефіцієнт перерахунку радіусів кривизни поверхонь лінз дорівнює:

$$k = \frac{100}{75} = 1,33.$$

Визначимо нові радіуси кривизни. Після перерахунку для цього об'єктива отримаємо:

$$S'_{F'} = 49,7; S_F = -60,5; e \cdot d = 61,5$$

$$S'_{H'} = S'_{F'} - f_{об} = 49,7 - 100 = -50,3 \text{ мм}$$

$$S_H = S_F - f_{об} = -60,5 + 100 = 39,5.$$

Розрахунок конденсора.

Для розрахунку конденсора знайдемо його лінійне збільшення b_k , за умови, що зображення тіла накалювання заповнює всю вхідну зіницю об'єктива.

Площадка, що світиться має розміри $10 \times 10 \text{ мм}^2$. Збільшення конденсора буде дорівнювати:

$$b_k = -\frac{D_{ex}}{10} = -\frac{36}{10} = -3,6^*.$$

Визначимо кут захвата конденсора, $2s_0$.

Для спрощення, прийmemo, що вхiдна зiниця об'єктива спiвпадає з передньою поверхнею об'єктива. Тодi, кут поля зору об'єктива визначимо iз спiввiдношення:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} w &= \frac{l}{d_e + S'_{F'} + z}; \\ l &= \frac{\sqrt{18^2 + 24^2}}{2} = \frac{\sqrt{324 + 576}}{2} = \frac{30}{2} = 15 \text{ мм}; \\ \operatorname{tg} w &= \frac{15}{61,5 + 49,7 + 1} = \frac{15}{112,2} = 0,13; \\ w &= 7^\circ; \sin w = 0,12. \end{aligned}$$

Iз формули $\sin s_0 = b_k \cdot \sin w$, знайдемо: $\sin s_0 = 3,6 \cdot 0,12 = 0,432$. $s_0 \approx 26^\circ$. З цього випливає, що конденсор має наступні характеристики: $b_k = -3,6$; $2s_0 = 52^\circ$.

Для того, щоб дефекти конденсатора не відображувалися різко на екрані виберемо відстань між конденсатором і кадровим вікном рівним $l \approx 10$ мм.

Матеріалом лінз конденсатора виберемо К8.

Для забезпечення високої світлосили, його відносний отвір повинен бути близьким до одиниці. Прийmemo: $\frac{D_k}{f_k} = \frac{1}{1,2}$. Діаметр конденсатора беремо більше за розмір предмета на 5÷10 мм. Прийmemo діаметр конденсатора: $D_k = 2 \cdot l + 5 = 35$ мм. Тоді: $f'_k = 1,2 D_k = 1,2 \cdot 35 = 42$ мм.

Оптична сила конденсора дорівнює: $\Phi_k = 2\Phi_1$. Звідси:

$$f'_1 = 2 f'_k = 2 \cdot 42 = 84 \text{ мм}.$$

Радіус лінзи знайдемо за формулою:

$$r_1 = f'_1 \cdot (n - 1) = 84 \cdot (1,5163 - 1) = 43,36 \text{ мм}. \quad r_2 = \infty.$$

Товщина лінзи d дорівнює сумі стрілок прогину сферичних поверхонь і товщини края лінзи.

Iз формули: $h_x = r_1 - \sqrt{r_1^2 - \left(\frac{D_k}{2}\right)^2}$, отримаємо значення стрілки прогину лінзи

$$h_x = 43,36 - \sqrt{1880 - 306} = 43,36 - 39,6 = 3,76.$$

Звідси: $d = h_x + d_{кр}$.

$d_{кр} \geq 0,05 \cdot D_k$ - товщина на краю.

$$d_{кр} = 1,75 \approx 2 \text{ мм}.$$

$$d = 3,76 + 2 = 5,76 \text{ мм}.$$

Перевіriamo величину освітленості екрана за формулою:

$$E = \frac{p \cdot L \cdot t \cdot k \cdot D^2 \cdot \cos^4 w}{4 \cdot f_{об}^2 \cdot (1 - b_{об})^2}; \quad (3.7)$$

Де L – яскравість джерела, $\frac{\text{кд}}{\text{м}^2}$; t – коефіцієнт пропускання; k – коефіцієнт заповнення вхідної зіниці об’єктива D ; w – кут поля зору об’єктива. Скориставшись формулою (3.7) отримаємо:

$$E = \frac{3,14 \cdot 18 \cdot 10^6 \cdot 0,5 \cdot 0,8 \cdot 36^2 \cdot 0,99^4}{4100^2 \cdot (1 + 100)^2} = \frac{28127 \cdot 10^6}{4 \cdot 10^8} = 7000 \cdot 10^{-2} \approx 70 \text{ лк.}$$

Побудувати хід променів в проекторі на міліметровому папері і габаритну схему проектора. Бажано використати кольорові олівці.

4.Вказівки до виконання конструкторських розрахунків в курсовому проекті

На третьому етапі студенти виконують конструкторські розрахунки що не увійшли в розділ габаритного розрахунку курсового проекту.

До конструкторської частини курсового проекту відноситься низка типових розрахунків, серед яких:

- Визначення коефіцієнта пропускання оптичної системи приладу;
- Розрахунки оптичних мікрометрів;
- Розрахунки окулярної різьби та діоптрійної шкали для механізму діоптрійної наводки;
- Розрахунки шкал та сіток.

Окрім цих типових розрахунків студенти, працюючи над певною темою за завданням керівника, виконують конструкторські розрахунки, які необхідні для проектування приладу.

Зміст типових розрахунків викладений у цьому параграфі.

4.1.Визначення коефіцієнта пропускання оптичної системи монокуляра

При проходженні світлового потоку через оптичну систему, частина світла витрачається на відбивання, поглинання та розсіювання. Кількість світла, що пройшло через систему, характеризується коефіцієнтом пропускання. Для непросвітлених поверхонь, його визначають за формулою:

$$t = 0,99^d \cdot 0,96^{Kp} \cdot 0,95^{\Phi_l} \cdot 0,93^{3k}, \quad (4.1)$$

де d – сумарна товщина оптичних деталей вздовж оптичної осі; Kp и Φ_l – число поверхонь, із крона і флінта відповідно; $3k$ – кількість дзеркальних поверхонь.

Для просвітлених поверхонь:

$$t = 0,99^d \cdot 0,98^{3вн} \cdot 0,99^{Вн} \cdot 0,93^{3k}, \quad (4.2)$$

де $Z_{вн}$ - кількість зовнішніх поверхонь, $B_{вн}$ - кількість внутрішніх поверхонь

Наприклад, відповідно до оптичної системи монокуляра $d = 8,92$ мм, $Kp = 7$, $\Phi_l = 3$, і $3k = 2$. Тоді згідно (4.1) отримаємо

$$t = 0,99^{8,92} \cdot 0,96^7 \cdot 0,95^3 \cdot 0,93^2 = 0,9142 \cdot 0,7514 \cdot 0,8305 \cdot 0,8648 = 0,4934.$$

Приймаємо $t = 50\%$.

Визначимо коефіцієнт пропускання оптичної схеми монокуляра t_{np} з просвітленими поверхнями: зовнішні поверхні – одношарове 43Р ($r = 2\%$) і внутрішні – багатошарове 44Р.43Р ($r = 1\%$). В цьому випадку, якщо кількість зовнішніх поверхонь дорівнює 2, а внутрішніх 8, то згідно (4.2)

$$t_{np} = 0,99^{8,92} \cdot 0,98^2 \cdot 0,99^8 \cdot 0,93^2 = 0,9142 \cdot 0,9603 \cdot 0,9227 \cdot 0,8648 = 0,7005.$$

Приймаємо, $t_{np} = 70\%$. Це говорить про те, що просвітлення поверхонь деталей оптичної схеми збільшило пропускання світла на 20%.

4.2 Розрахунки окулярної різьби та діоптрійної шкали для механізму діоптрійної наводки

Діоптрійна шкала слугує для швидкої установки окуляра з урахуванням аметропії ока. Поділки шкали наносять звичайно через одну діоптрію з оцифруванням кожної поділки в обидві сторони від нульової поділки. Діоптрійну шкалу і окулярну різьбу розраховують одночасно, оскільки вони взаємопов'язані[5].

Розрахунок виконують у дві стадії – попередню, коли по розрахованому числу заходів «п» окулярної різьби визначають кут повороту діоптрійної шкали « b » і кутову відстань між штрихами a і остаточну, коли остаточно визначають параметри діоптрійної шкали..

В ході попереднього розрахунку задаються кутом b_{np} , котрий звичайно вибирають в межах від 270° до 320° . Кут менше 270° небажаний, оскільки потребує велику кількість заходів окулярної різьби, а відстань між штрихами на шкалі буде невеликим. Кут більше 320° поганий, оскільки при кінцевому розрахунку він може перевищувати 360° .

«п» визначають за формулою:

$$n = \frac{360 \cdot N \cdot (f'_{ok})^2}{1000 \cdot P \cdot b_{np}}, \quad (4.3)$$

де N – число поділок; P – шаг окулярної різьби; b_{np} - попередній кут повороту діоптрійної шкали; f'_{ok} - фокусна відстань окуляра.

N дорівнює сумі абсолютних величин заданих значень аметропії.

$$N = | +A | + | -A | = 2A$$

Кількість заходів «п» розраховане за формулою округляють до найближчого цілого із ДСТУ, після чого уточнюють b по формулі:

$$b = \frac{360 \cdot N \cdot (f'_{ок})}{1000 \cdot n \cdot P} \quad (4.4)$$

Для визначення a користуються співвідношенням

$$a = b / N .$$

Кількість заходів передбачена ДСТУ дорівнює:

$$n_{ДСТУ} = 1,2,4,6,8,12,16,20 .$$

Для діоптрійної наводки окулярів мікроскопів їх переміщують вздовж оптичної осі на відстань

$$x = \pm \frac{f'^2_{ок} \cdot A}{1000}$$

Для розглянутого раніше відлікового мікроскопа $x = \pm 11.7$ мм.

4.3 Конструювання сіток

Найменший розмір товщини штриха сітки t визначимо за формулою:

$t_{\min} = e f'_{ок} = 2,8 \cdot 10^{-4} \cdot 25 = 0,007$ мм, де e - граничний кут розділення ока, $e = 1'$.

Допустиму товщину штриха сітки в лінійній мірі можна визначити за формулою $t = \frac{0,1 \cdot f'_{ок}}{250}$:

$$t = 0,1 \cdot 25 / 250 = 0,01 \text{ мм.}$$

Розрахунки показали, що практичну товщину штриха сітки потрібно взяти 0,01 мм.

Лінійний розмір шкали сіток в вимірювальних приладах залежить від діапазону вимірювань. Наприклад, якщо мова йде про вимірювальну сітку візуального автоколіматора то лінійний розмір шкали l дорівнює

$$l = 2 \cdot f'_{об} \cdot \operatorname{tg} \alpha ,$$

де f - фокусна відстань об'єктива автоколіматора; α - кутовий діапазон вимірювань.

Товщина сітки визначається в залежності від її діаметра згідно рекомендацій довідника.

4.4 Розрахунки оптичних мікрометрів.

Примітка: при установці в оптичну схему мікроскопа плоско-паралельної пластини або клинів мікрометра слід врахувати подовження

оптичної системи, що вноситься плоско-паралельною пластиною чи клинами.

Розрахуємо основні параметри мікрометра з плоско-паралельною пластинкою (ППП) з наступними параметрами:

- показник заломлення - $n = 1,5163$;
- розділення ока вдень - $r = 10''$;
- допустима нелінійність - $\frac{\Delta x_{н/л}}{x_{лін.}} = 10^{-3}$;
- здвиг зображення мікрометром - $x = 0,2 \text{ мм.}$

Визначимо допустимий кут повороту плоско-паралельної пластинки за формулою:

$$b_{\max} = 100 \cdot \sqrt{\frac{\Delta x}{x}}; \quad (4.5)$$

Підставивши в (4.5) вихідні дані отримаємо:

$$b_{\max} = 100 \sqrt{10^{-3}} = 3,1^0.$$

Визначимо товщину PPP за формулою:

$$d = \frac{x \cdot n}{(n-1) \cdot \text{tg} \cdot b_{\max}}. \quad (4.6)$$

Для прийнятих вихідних даних із (4.6) отримаємо

$$d = 15,5 \text{ мм.}$$

Визначимо подовження ходу променів PPP

$$\Delta d = \frac{n-1}{n} \cdot d = 5,2 \text{ мм.}$$

У випадку використання в якості мікрометра клину, що лінійно переміщується, його заломлюючий кут s визначається за формулою

$$s = \frac{x \cdot r'}{(n-1) \cdot \Delta},$$

$\Delta = 40 \dots 60 \text{ мм.}$ - величина лінійного переміщення клина, що визначається із конструктивних міркувань.

5.Вказівки до виконання точностних розрахунків в курсовому проекті

На четвертому етапі виконуються точностні розрахунки, які повинні містити слідує питання:

- Визначення вимог до точності установки сіток та шкал в оптичних приладах;
- Визначення впливу коливань температури на основні характеристики фокусуючих вузлів;
- Аналіз впливу похибки конструктивних параметрів фокусуючих вузлів на похибку фокусної відстані;

- Оцінка похибки одного з параметрів приладу, або вузла приладу.

5.1 Визначення вимог до точності установки сіток та шкал в оптичних приладах.

Для виключення паралаксу приймаючого пристрою оптичного приладу необхідно сумістити чутливу поверхню приймача променевої енергії з площиною зображення. В візуальних оптичних приладах площа зображення повинна співпадати з площиною шкали або сітки. Вимоги до точності установки сітки чи шкали повинні задовольняти двом умовам[9].

1. Сітка (або шкала) і зображення предмету, котре на неї проєктуюється, повинні бути видні однаково різко. Цю вимогу слід пред'явити до всіх приладів, в особливості до візуальних, і її можна назвати обов'язковою, мінімальною чи загальною вимогою.

2. Друга вимога витікає із точності вимірювань і може бути регламентована допустимим кутовим паралаксом (телескопічні системи) або допустимим лінійним паралаксом – (відлікові мікроскопи, проектори).

Може виявитись, що достатньо виконати лише першу вимогу про одночасну різкість зображення предмету і сітки при спостереженні через окуляр. При цьому залишковий паралакс не повинен перевищувати величину, яка відповідає точності вимірювань (друга вимога). А інакше, слід уточнити поздовжню установку сітки. У відповідності з цим в першому випадку допуск на встановлення сітки задається в діоптрійній мірі $A_{різк}$, а в другому – величиною допустимого паралаксу, наприклад величиною $(q_{об.})_{доп.}$.

Як відомо, всі віддалені предмети, починаючи з деякої відстані X_{∞} і до нескінченності, представляються спостерігачу однаково різкими. Ця відстань X_{∞} називається практичною нескінченністю і дорівнює

$$X_{\infty} = 1,25 \cdot (d_p)^2 \text{ м ,}$$

де d_p - діаметр робочої вхідної зіниці телескопічної системи , мм.

Ця формула отримується, якщо знайти відстань до зображення сітки, котра від фокуса об'єктива $F'_{об}$ віддалена на величину імовірної помилки поздовжнього фокусування $\Delta X = 0,2/U^2$ (мкм), де U – апертурний кут.

Застосовувавши її до простору зображення за окуляром отримаємо

$$X'_{\infty} = 1,25 \cdot (d'_p)^2 \text{ м.}$$

Допуск на різницю сходження променів, що виходять з центру зображення і центру сітки із умови одно часової різкості у діоптріях за окуляром дорівнює

$$A_{різк} \leq 1/X'_{\infty} = 0,8/(d'_p)^2, \quad (5.1)$$

де d'_p - діаметр робочої вихідної зіниці.

Діаметр робочої вихідної зіниці визначається розміром приймача світлового потоку. Якщо це око і $d' > d_{з.о.}$ то $d'_p = d_{з.о.} = 2 \text{ мм}$. Тоді

$$A_{різк} \leq 0,8 / (d'_p)^2 = 0,2 \text{ дптр} = \text{const},$$

Тобто допуск на точність встановлення сітки із умови одночасної різкості для всіх візуальних приладів з вихідною зіницею більше 2 мм можна приймати однаковими і рівними 0,2 дптр. При малих вихідних зіницях менше ніж 2 мм маємо змінний по величині допуск і завжди більше 0,2 дптр. За величиною допуску $A_{різк}$ за окуляром можна отримати допустиму величину зміщення сітки із площини зображення перед окуляром, тобто:

$$z_{дон} = f'^2_{ок} / a = f'^2_{ок} \cdot A_{різк} / 1000, \quad (5.2)$$

де $f'^2_{ок}$ - фокусна відстань окуляра.

При встановленні сітки по признаку одночасної різкості з точністю $A_{різк}$ величину залишкового паралаксу слід порівняти з допуском, отриманим із вимог точності вимірювання. Залишковий кутовий паралакс в телескопічній візирній системі у кутових хвилинах дорівнює

$$(q_{ок})'_{зал} = t_{\max} \cdot A_{різк} \cdot 3400 / 1000 = 3,4 \cdot t_{\max} \cdot A_{різк}, \quad (5.3)$$

де $t_{\max}$ - максимальна величина поперечного переміщення ока в межах вихідної зіниці;

Залишковий лінійний паралакс в відліковому мікроскопі, в площині сітки перед окуляром

$$(P_{ок})_{залишк.} = t_{\max} \cdot X / f'_{ок} = (q_{ок})'_{зал} \cdot f'_{ок} = t_{\max} \cdot A_{різк} \cdot f'_{ок} / 1000.$$

Якщо залишковий паралакс перевищує припустиму величину то слід уточнити допуск на точність установки сітки виходячи з допустимого паралаксу $q'_{дон}$, або $P_{дон}$. Допуск на неспівпадіння сітки з площиною зображення визначають таким чином:

для відлікової труби

$$X_{дон} \leq f'^2_{ок} \cdot q'_{дон} \cdot \Gamma / 3440 \cdot t_{\max} \quad (5.4)$$

де Γ – видиме збільшення відлікової труби;

для відлікового мікроскопа

$$X_{дон} \leq f'_{ок} \cdot P_{дон} \cdot b_{об} / 3440 \cdot t_{\max},$$

де $b_{об}$ - збільшення мікрооб'єктива мікроскопа.

Несуміщення чутливої поверхні приймача променевої енергії з площиною зображення предмету контролюється різними способами, але всі вони ґрунтуються чи на спостереженні неодноразової різкості зображення сітки і предмету, чи на виявленні залишкового паралаксу.

Приклад:

Для відлікової зорової труби визначити вимоги до точності установки сітки при наступних вихідних даних:

$$d' = 4 \text{ мм}; f'_{ок} = 25 \text{ мм}; q_{дон} = 0,5; z'_{\infty} = (1,25 \cdot d'^2_p) \text{ мм}; \Gamma = 10^*.$$

Скориставшись формулами (5.1- 5.4) для відлікової зорової труби отримаємо:

$$d' > d_{\text{зін.ока.}}$$

$$d_{p'} = d_{\text{зін.ока.}} = 2 \text{ мм.}$$

$$A_{\text{різк.}} = \frac{1}{z'_{\infty}} = \frac{1}{1,25 \cdot 2^2} = \pm 0,2 \text{ дптр}$$

$$\Delta z \cdot z'_{\infty} = f'^2_{\text{об}}$$

$$z = \frac{-f'^2_{\text{ок}}}{z'_{\infty}} = -\frac{f'^2_{\text{ок}} \cdot A_{\text{різк.}}}{1000} = -\frac{25^2 \cdot 0,2}{1000} = \pm 0,125 \text{ мм}$$

$$q'_{\text{зал.}} = 3,4 \cdot t_{\text{max}} \cdot A_{\text{різк.}} = 3,4 \cdot 2 \cdot 0,2 = 1,36^1$$

$$\text{Оскільки } q_{\text{зал}} > q_{\text{доп}} \text{ то слід уточнити } \Delta z_{\text{доп}} \cdot i \cdot A_{\text{доп}}$$

$$t_{\text{max}} = \frac{d'}{2} = 2 \text{ мм}$$

$$\Delta z_{\text{доп}} = \frac{f'^2_{\text{ок}} \cdot q'_{\text{доп}}}{t_{\text{max}} \cdot 3440} = \frac{25^2 \cdot 0,5}{2 \cdot 3440} = 0,045 \text{ мм}$$

$$z'_{\infty} = f'^2_{\text{ок}} / \Delta z_{\text{доп.}} = 6,25 / 0,045 = 1388 \approx 13,9 \text{ мм}$$

$$A_{\text{доп.}} = \frac{1}{z'_{\infty}} = 0,071 \text{ дптр}$$

5.2 Визначення впливу коливань температури на основні характеристики фокусуючих вузлів

Для окремої тонкої лінзи (нехтуючи зміною її товщини) зміну її фокусної відстані при коливаннях температури можна визначити, про диференціював вираз $\Phi = \frac{1}{f'} = (n-1) \cdot \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$. Після диференціювання отримаємо:

$$\begin{aligned} \Delta f'_{\Delta t} &= -f'^2 \cdot \Delta \Phi_{\Delta t} = f'^2 \cdot \left[\frac{\Delta n_{\Delta t}}{n-1} \cdot \Phi - (n-1) \cdot \left(\frac{\Delta r_1 \cdot \Delta t}{r_1^2} - \frac{\Delta r_2 \cdot \Delta t}{r_2^2} \right) \right] = \\ &= -f'^2 \cdot \left[\frac{b_l \cdot \Delta t}{n-1} \cdot \Phi - (n-1) \cdot a \cdot \Delta t \cdot \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \right] = \\ &= -f'^2 \cdot \left[\left(\frac{b_l}{n-1} - a \right) \cdot \Phi \cdot \Delta t \right] = -f'^2 \cdot V_t \cdot \Phi \cdot \Delta t = f' \cdot V_t \cdot \Delta t. \end{aligned}$$

де $\Delta n_{\Delta t} = b_l \cdot \Delta t$ - зміна показника заломлення при зміні температури на величину Δt (b_l - температурний приріст n для довжини хвилі світла l); $\Delta r_{1,2\Delta t} = \Delta r_{1,2} \cdot d_{\Delta t}$ - зміна радіуса кривизни поверхні при зміні t (a - коефіцієнт лінійного розширення матеріалу лінз); $V_t = [b_l \cdot (n-1)^{-1} - a]$ - термооптична стала (ДСТУ 13659-78).

Приклад значень термооптичних сталих для крону та флінту:

$$V_{t,крв} = -22 \cdot 10^{-7};$$

$$V_{tj_{л,кфб}} = 19 \cdot 10^{-7}$$

Для склейки із двох лінз маємо:

$$\Delta f'_{\Delta T} = -f'^2_{\vartheta} \cdot (\Phi_1 \cdot V_{1t} + \Phi_2 \cdot V_{2t}) \cdot \Delta t; \quad (5.5)$$

де Φ_1 і Φ_2 -оптичні сили кожної з лінз склейки.

Зміна фокусної відстані призводить до розфокусування системи, зміни масштабу зображення, паралаксу. Термооптичні аберації можна не враховувати, оскільки вони не великі і зводяться до нуля спеціальним підбором марок скла. Компенсація розфокусування здійснюється також підбором матеріалів лінз із умови $V_1 \Phi_1 = \frac{n_2 \cdot \Phi_1 \cdot V_2}{n_1}$, де n_1, n_2 -коефіцієнти дисперсії відповідних марок скла. Для вирішення питання компенсації розфокусування може бути застосовано переміщення одного з компонентів системи. Рух виконується за допомогою набору спеціальних деталей, котрі мають певне встановлене значення лінійного температурного коефіцієнта розширення a , рідинних резервуарів і електродвигунів[8].

На рис.5.1 зображений однонаправлений компенсатор розфокусування. В конструкцію входить об'єтив 1, два циліндричних кільця 2 і 4, встановлені між об'єктивом і фотоприймачем 5, корпус 3, пружинне кільце 6.

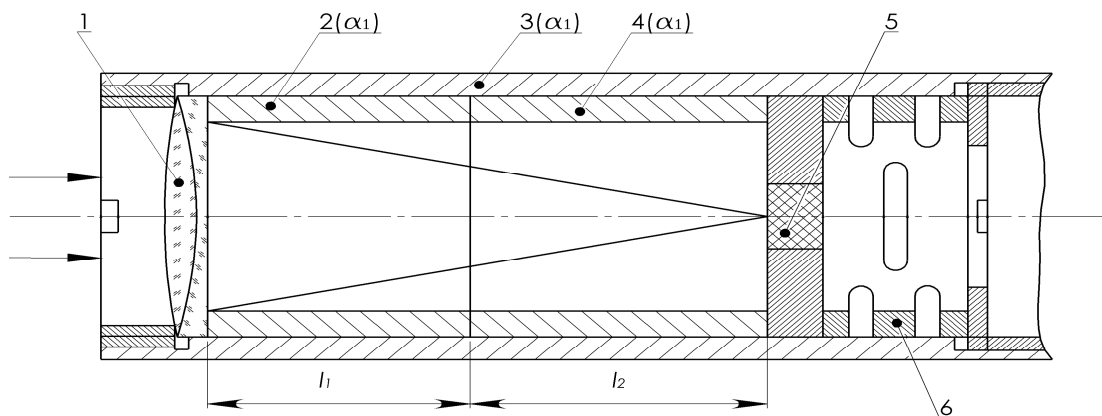


Рис.5.1.Однонаправлений компенсатор розфокусування

Умова відсутності розфокусування має вигляд:

$$\Delta f'_{\Delta T} = \Delta l_1 \cdot \Delta t + \Delta l_2 \cdot \Delta t; \quad \Delta l_{1,2} = a_{1,2} \cdot l_{1,2} \cdot \Delta t$$

$$- f'^2_{\vartheta} \cdot (\Phi_1 \cdot V_{1t} + \Phi_2 \cdot V_{2t}) = l_1 \cdot a_1 + l_2 \cdot a_2. \quad (5.6)$$

Оскільки, $l_1 + l_2 = f'_{\vartheta}$, то, вибрав матеріал, з якого будуть виготовлятися кільця термокомпенсатора, (тобто вибрав a_1 і a_2), можна рішити рівняння (5.6) відносно невідомих l_1 і l_2 .

$$l_1 = \left[-f'^2_{\vartheta} \cdot (\Phi_1 \cdot V_{1t} + \Phi_1 \cdot V_{2t}) - f'_{\vartheta} \cdot a_2 \right] \cdot (a_1 - a_2)^{-1}.$$

Першопочаткове фокусування об'єктива в подібній конструкції виконується під час юстування системи підрізкою оправы приймача чи оправы об'єктива. Пружинне кільце робить надійне замикання системи об'єктив – кільця – приймач.

На рис 5.2 зображений термокомпенсатор, котрий дозволяє переміщувати приймач як вліво, так і в право, вздовж оптичної осі. В конструкцію компенсатора входить набір кілець 1-3 з різними коефіцієнтами лінійного розширення, різьбове кільце 4, пружинне кільце 5. Умова відсутності розфокусування має вигляд:

$$\Delta f'_{\Delta t} = (L_k \cdot a_k - l_1 \cdot a_1 + l_2 \cdot a_2 - l_3 \cdot a_3) \cdot \Delta t,$$

де a_k, a_1, a_2, a_3 - коефіцієнт лінійного розширення корпуса і кілець. Першопочаткове фокусування проводиться різьбовим кільцем 4.

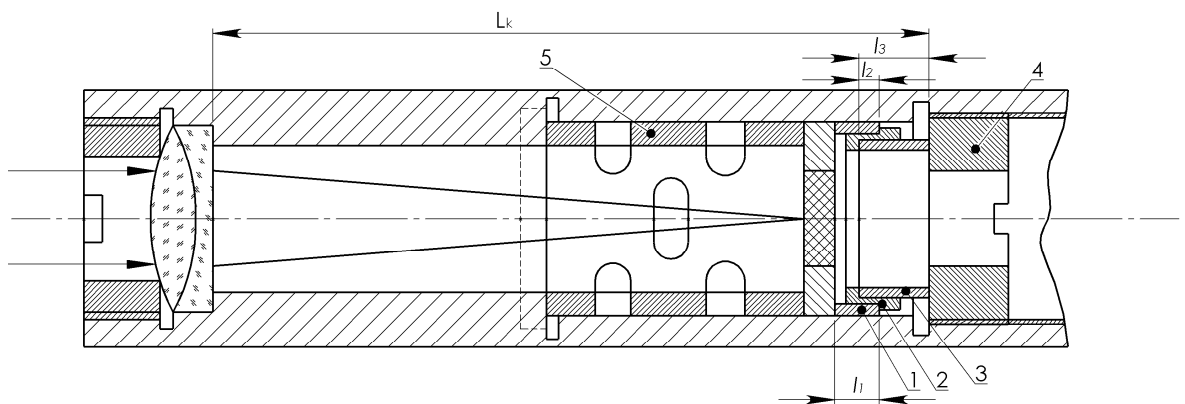


Рис.5.2.Двонаправлений компенсатор розфокусування

Найбільш сильно впливає перепад температур на розфокусування довгофокусних об'єктивів. В таких випадках для скорочення габаритів компенсатора його виконують у вигляді набору циліндрів, вставлених один в один і маючих різні a . В якості матеріалу циліндрів застосовують: сталь, титан, інвар, алюміній, латунь.

Приклад значень лінійних температурних коефіцієнтів розширення для матеріалів кілець термокомпенсаторів із сталі і інвару наступний:

$$a_{ст} = 11,8 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1} \quad a_{ин} = 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}.$$

Приклад:

Оцінити вплив коливань температури на відхилення фокусної відстані об'єктива з наступними конструктивними параметрами:

$f' = 300 \text{ мм}$; матеріал першої лінзи-К8, матеріал другої лінзи-ТФ1

$$\Phi_1 = 0,01 \text{ мм}^{-1}; V_{К8} = -2,2 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{град}}; V_{ТФ1} = 0,1 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{град}};$$

$$\Phi_2 = -0,006 \text{ мм}^{-1}; \text{діапазон коливання температури- } \Delta t = \pm 50^\circ;$$

Скориставшись формулою (5.5) отримаємо

$$\Delta f_{\Delta t} = -f_{o0}^2 \cdot (\Phi_1 V_1 + \Phi_2 V_2) \cdot \Delta t = -(300)^2 \cdot (0,01 \cdot (-2,2 \cdot 10^{-6}) + (-0,006) \cdot 0,1 \cdot 10^{-6}) \cdot (\pm 50) = \pm 101700 \cdot 10^{-6} = \pm 0,1017 \text{ мм}$$

5.3 Аналіз впливу похибок конструктивних параметрів фокусуючих вузлів на похибку фокусної відстані.

Похибки фокусних відстаней об'єктивів, а також похибки їх розташування вздовж оптичної осі, як підкреслювалось раніше, призводять до появи розфокусування, паралаксу, непаралельності візирних осей біноклярного приладу, похибок масштабу зображення. На етапі конструювання приладу в залежності від вимог до точності його функціонування і якості зображення розраховують допуски на їх виготовлення. Цей розрахунок виконують для визначення можливості забезпечення вказаних допусків технологічним шляхом чи необхідності застосування компенсаторів.

Похибка $\Delta f'$ силового елементу залежить від відхилення показників заломлення скла, похибок виготовлення лінз і складання лінзових блоків. Вплив кожної первісної похибки на фокусну відстань лінзи знаходять диференціюванням виразу для оптичної сили одиночної лінзи, розташованої в повітрі

$$\Phi = 1/f' = (n-1) \cdot \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) + \frac{d \cdot (n-1)^2}{n \cdot r_1 \cdot r_2},$$

де n – показник заломлення матеріалу лінзи; r_1, r_2 – радіуси кривизни поверхонь; d – товщина лінзи.

Продиференціював Φ по відповідним конструктивним параметрам, отримаємо:

$$\Delta f'_{\Delta n} = -f'^2 \cdot \Delta \Phi_{\Delta n} = f'^2 \cdot \left[\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{d \cdot (n^2 - 1)}{n^2 \cdot r_1 \cdot r_2} \right] \cdot \Delta d \approx \left(\frac{f'}{n-1} \right) \cdot \Delta n;$$

$$f'_{\Delta r_1} = -f'^2 \cdot \Delta \Phi_{\Delta r_1} = f'^2 \cdot \left[\frac{(n-1)}{r_1^2} + \frac{d \cdot (n-1)^2}{n \cdot n_1^2 \cdot r_2} \right] \cdot \Delta r_1 \approx \frac{-f'^2 \cdot (n-1) \cdot \Delta r_1}{r_1^2} \approx f'^2 \cdot (n-1) \cdot \frac{4 \cdot l \cdot N_1}{D^2}$$

$$f'_{\Delta r_2} = -f'^2 \cdot \Delta \Phi_{\Delta r_2} = f'^2 \cdot \left[-\frac{(n-1)}{r_2^2} + \frac{d \cdot (n-1)^2}{n \cdot n_1 \cdot r_2^2} \right] \cdot \Delta r_2 \approx \frac{-f'^2 \cdot (n-1) \cdot \Delta r_2}{r_2^2} \approx -f'^2 \cdot (n-1) \cdot \frac{4 \cdot l \cdot N_2}{D^2}$$

$$f'_{\Delta d} = -f'^2 \cdot \Delta \Phi_{\Delta d} = -f'^2 \cdot (n-1)^2 \cdot \Delta d / n \cdot r_1 \cdot r_2$$

де $\Delta n, \Delta d, \Delta r_{1,\Sigma}$ – похибки конструктивних параметрів лінзи; N – відступ радіуса кривизни поверхні від номіналу в числі полос; l – довжина хвилі світла при контролі по пробному склу; D – світловий діаметр лінзи.

На етапі конструювання всі первісні похибки відносяться до випадкових, тому сумарне відхилення фокусної відстані лінзи визначимо із виразу:

$$\Delta f'_{\Sigma} = \sqrt{\left(\frac{f'}{n-1}\right)^2 \cdot dn^2 + \left(\frac{f'^2 \cdot (n-1)}{r_1^2}\right)^2 \cdot dr_1^2 + \frac{f'^2 \cdot (n-1)}{r_2^2} \cdot dr_2^2 + \left(\frac{f'^2 \cdot (n-1)^2}{n \cdot r_1 \cdot r_2}\right)^2 \cdot dd^2},$$

де dn_1, dr_1, dr_2, d – половина поля допуску відповідної первинної похибки.

Для одиночного сферичного дзеркала з зовнішнім відбиттям фокусна відстань дорівнює $r/2$, тому

$$\Delta f'_{\Delta r} = \frac{\Delta r}{2} = f' \cdot \Delta r / r \approx 4 \cdot f' \cdot r \cdot l \cdot N / D^2 \approx 8 \cdot f'^2 \cdot l \cdot N / D^2.$$

Для склейки двох тонких лінз, приймаючи $d \rightarrow 0$ і враховуючи умову ахроматизації $n_1 \cdot f'_1 = -n_2 \cdot f'_2$, а також слабкий вплив помилок радіусів кривизни склеюваних поверхонь, отримаємо:

$$\Phi_{\circ} = 1/f' = \Phi_1 + \Phi_2 = |\Phi_2 = -\Phi_1 \cdot n_2 / n_1| = \Phi_1 \cdot (1 - n_2 / n_1);$$

$$\Delta f'_{\circ} = \sqrt{\left(\frac{f'^2_{\circ} \cdot \Phi_1}{n_1 - 1}\right)^2 \cdot dn_1^2 + \left[\frac{f'^2_{\circ} \cdot \Phi_1 \cdot n_2}{(n_1 - 1) \cdot n_1}\right]^2 \cdot dn_2^2 + \left[\frac{f'^2_{\circ} \cdot (n_1 - 1)}{r_1^2}\right]^2 \cdot dr_1^2 + \left[\frac{f'^2_{\circ} \cdot (n_2 - 1)}{r_4^2}\right]^2 \cdot dr_4^2};$$

де $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_{\circ}$ – оптичні сили кожного компонента і склейки загалом; n_1, n_2, n_1, n_2 – коефіцієнти середньої дисперсії і показники заломлення скла кожного компонента; r_1, r_4 – радіуси кривизни поверхонь, що межують з повітрям.

Оптична сила двох лінз чи системи лінз, що складаються із двох компонентів, розташованих на відстані d одна від одної, дорівнює

$$\Phi_{\circ} = \Phi_1 + \Phi_2 - \Phi_1 \cdot \Phi_2 \cdot d.$$

У зв'язку з цим вплив похибки товщини лінзи на похибку фокусної відстані дорівнює:

$$\Delta f'_{\circ \Delta d} = \Delta \Phi_{\circ \Delta d} \cdot (-f'^2_{\circ}) = f'^2_{\circ} \cdot \Phi_1 \cdot \Phi_2 \cdot \Delta d.$$

Наведені формули дозволяють визначити можливі похибки фокусної відстані системи і вирішити питання про діапазон роботи компенсатора похибки фокусної відстані і розфокусування. Компенсацію похибок проводять зміною повітряного проміжку між компонентами об'єктивів чи за допомогою селекції елементів об'єктивів. Точність компенсації при зміні повітряного проміжку визначається відповідною формулою і похибкою засобів контролю результатів коректування. При компенсації за допомогою селекції точність визначається кількістю груп, на які розбивається поле допуску відповідного розміру. Фокусування проводиться повздовжнім переміщенням силових елементів. Максимальне переміщення визначають по приведеним вище формулам, а чуттєвість – чуттєвістю ока до повздовжніх наводок, допустимим значенням паралаксу, глибиною різкості.

5.4 Оцінка похибки одного з параметрів приладу

Як приклад розглянемо вплив похибок фокусної відстані об'єктива і окуляра на відхилення від номінального значення збільшення приладу на основі телескопічної системи.

Збільшення телескопічної системи визначається із співвідношення:

$$\Gamma = \frac{f_{об}}{f'_{ок}}; \quad (5.7)$$

Логарифмічним диференціюванням співвідношення (5.7) для найгіршого випадку, коли похибки фокусної відстані об'єктива і окуляра складаються, з урахуванням випадкового впливу цих похибок, отримаємо:

$$\frac{\Delta\Gamma}{\Gamma} = \sqrt{\left(\frac{\Delta f_{об}}{f_{об}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta f'_{ок}}{f'_{ок}}\right)^2} \quad (5.8)$$

При відхилення фокусної відстані об'єктива $\frac{\Delta f'_{об}}{f'_{об}} \approx 0,02$ і окуляра $\frac{\Delta f'_{ок}}{f'_{ок}} \approx 0,04$ для відхилення від номінального значення збільшення телескопічної системи з урахуванням (5.8) отримаємо $\frac{\Delta\Gamma}{\Gamma} = 0,044 = 4,4\%$.

6. Опис конструкції, методи юстування та контролю вихідних характеристик приладу

Зміст цієї частини курсового проекту розглянемо на прикладі опису конструкції монокуляра.

6.1 Опис конструкції монокуляра

Конструкція монокуляра поділена на вузли за функціональною ознакою. Це вузли об'єктива, призми та окуляра. Кожен з вузлів може бути зібраний окремо, а також можуть бути проконтрольовані їхні характеристики. Основною несучою базовою деталлю монокуляра є патрубок, на якому є два циліндричних виступи для закріплення, при необхідності, окуляра в кронштейн штатива.

Як видно з рис.6.1 монокуляр містить об'єктив 1, окуляр 2, сітку 3, корпус 4 з призмою 6. Об'єктив виконаний в вигляді складальної одиниці і складається з дволінзового оптичного блоку, встановленого в оправу і закріпленого в ній проміжним і різьбовим кільцями. Точність центрування

оптичної деталі відносно зовнішнього посадочного діаметру забезпечується технологічним способом.

Симетричний окуляр представляє собою складальну одиницю. Він має два однакових дволінзових оптичних блока, встановлених симетрично в оправу і закріплених в ній за допомогою різбового і проміжного кілець. Одночасно на оправі кріпляться жорсткий наочник і оправка з діоптрійною шкалою. Оправка має окулярну різьбу, за допомогою якої переміщуються лінзи в різбовій втулці, закріпленій на корпусі 4. Різьбова втулка на зовнішньому діаметрі має штрих для відліку по діоптрійній шкалі. Сітка закріплена в оправі приклеюванням і має поперечне переміщення разом з оправкою 13. Різьбове кільце 14 фіксує сітку з оправкою після її центрування. Переміщення і попередня фіксація сітки виконується чотирма гвинтами 17, розміщеними попарно під кутом 90° один до одного. Кріплення призми 6 в корпусі 4 зі сторони робочих граней виконується пружинними упорами 12, гайкою 10 і втулкою 13. Регулювання тиску упора здійснюється гвинтом 16 і гайкою 18 через шайбу 11. З торцевих поверхонь призма закріплена напівжорсткими упорами на корпусі 4 і кришці 5. Кришка приєднується до корпусу гвинтами 15.

Таким чином, окуляр, сітка і призма закріплені з необхідною точністю в корпусі 4. Їх взаємозв'язок з об'єктивом 1 здійснюється за допомогою патрубку 7, котрий вкручений в корпус 4. Патрубок має зовнішній установочний діаметр, відносно якого об'єктив центрований за допомогою посадочного діаметра з точністю 0,01-0,02 мм.

Кріплення дволінзового об'єктива 1 в патрубку 7 виконується накладною гайкою 8 через кільце 9, котре дозволяє при юстуванні сумістити фокальну площину об'єктива з площиною сітки. Установочний діаметр патрубка 7 є установочною базою монокуляра при кріпленні його в прилад.

У відповідності з ДСТУ 2.108-81 конструкція монокуляра має специфікацію.

Установочний діаметр патрубка 7 є установочною базою монокуляра при кріпленні його в прилад.

У відповідності з ДСТУ 2.108-81 конструкція монокуляра має специфікацію.

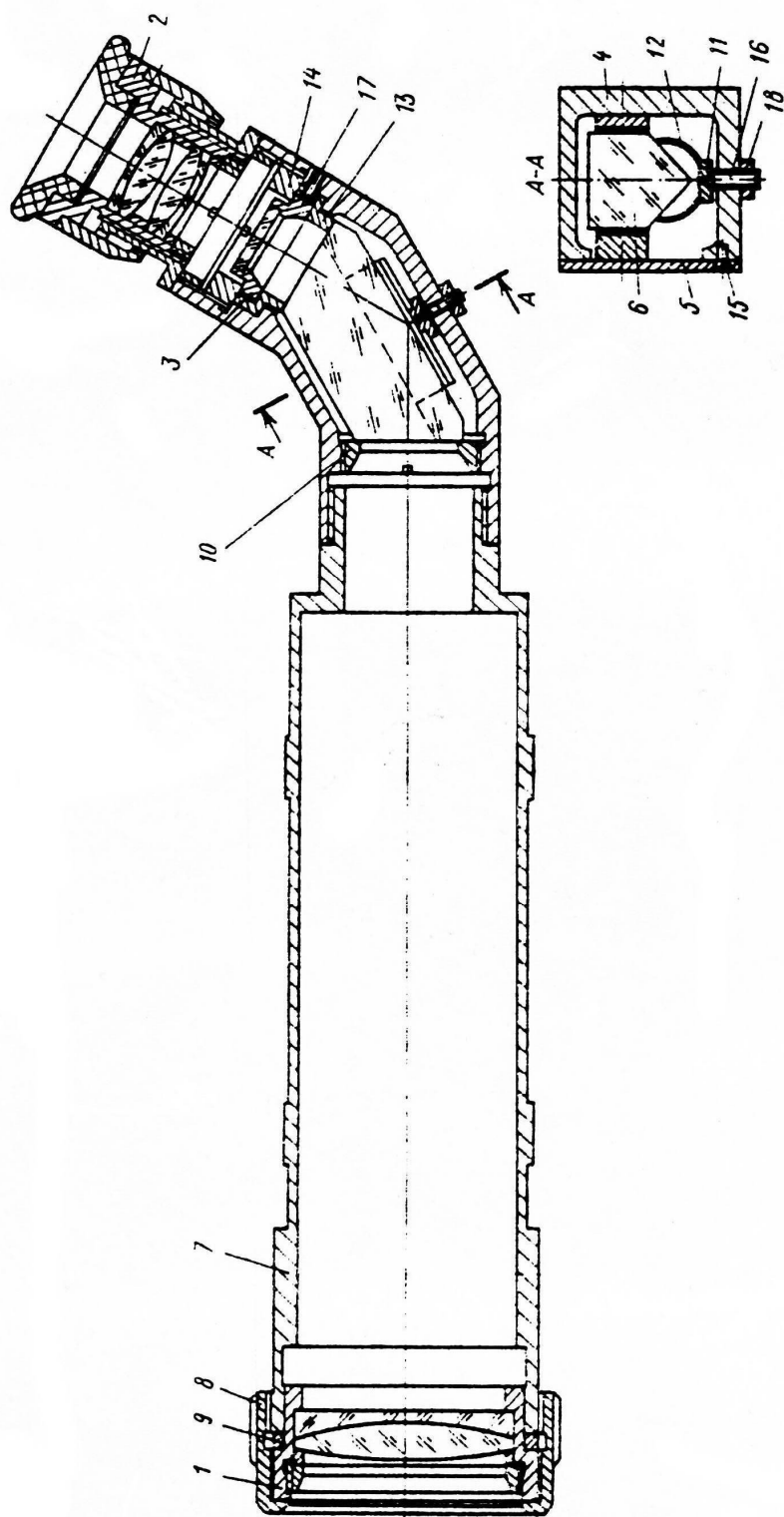


Рис. Конструкция монокуляра

6.2 Методика юстування сітки

Для юстування сітки в приладах на базі телескопічних систем застосовуються наступні схеми[10].

- за допомогою коліматора і діоптрійної трубки;
- за допомогою автоколімаційної зорової труби.

Схема стенда, що ілюструє перший спосіб юстування сітки наведена на рис.6.2

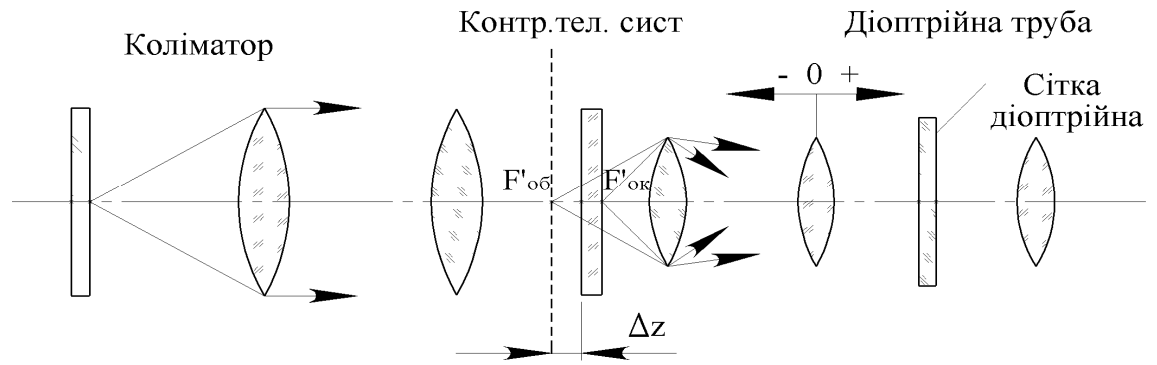


Рис.6.2.Схема стенда для юстування сітки

Згідно першого метода діоптрійну трубку настроюють на різке зображення сітки коліматора, що створене в фокальній площині об'єктива телескопічної системи і знімають відлік A_1 . Після цього діоптрійну трубку настроюють на різке зображення сітки випробуваного приладу і знімають відлік A_2 . Різниця $|A_1 - A_2|$ дає різницю сходимості пучків, що виходять із центрів зображення сітки коліматора і сітки приладу, що випробується. На основі різностей сходимості ΔA , розраховують величину Δz , що визначає зсув сітки відносно фокальної площини об'єктива телескопічної системи за формулою:

$$\Delta z = \frac{f_{ок}^2 \cdot \Delta A}{1000},$$

де $\Delta A = |A_1 - A_2|$.

При проектуванні приладів величина ΔA визначається частковими технічними умовами на прилад. Якщо допустима сходимость менша за вимірювану $\Delta A_{дон} < \Delta A$, то уточнюємо граничну похибку установку сітки $\Delta z_{дон}$:

$$\Delta z_{дон} = \frac{f_{ок}^2 \cdot \Delta A_{дон}}{1000}.$$

Згідно другого метода за допомогою напівпрозорого дзеркала установлюють автоколімаційну зорову трубу на нескінченність і знімають відлік

z_1 Потім зорову трубу настроюють на різке зображення сітки випробуваного приладу і знімають відлік z_2 .

Якщо сітка не співпадає з фокусом об'єктива, то окулярний тубус зорової труби зміщують на величину $\Delta z_{mp} = |z_1 - z_2|$. За отриманим значенням розраховують величину Δz , що визначає необхідний зсув сітки відносно фокальної площини об'єктива телескопічної системи для усунення паралаксу

$$\Delta z = \frac{\Delta z_{mp} \cdot f'^2_{випр.}}{f'^2_{об.зор.тр.}}$$

Якщо ця величина більше допустимої необхідно провести уточнення повздовжньої установки сітки.

6.3 Методика контролю вихідних характеристик приладу на базі телескопічної системи

Методику контролю вихідних характеристик покажемо на прикладі телескопічної системи монокуляра.

На практиці в приладах на базі телескопічних систем контролюють два основних параметра:

- а) збільшення телескопічної системи,
- б) кут поля зору.

Існує декілька способів контролю збільшення телескопічних систем. Всі вони базуються на основі формули для видимого збільшення телескопічної системи:

$$\Gamma = \frac{f'_{об}}{f'_{ок}} = \frac{D}{d} = \frac{tgw'}{tgw}. \quad (6.1)$$

Схема установки для контролю видимого збільшення телескопічної системи по кутовому збільшенню наступна (Рис.6.3):

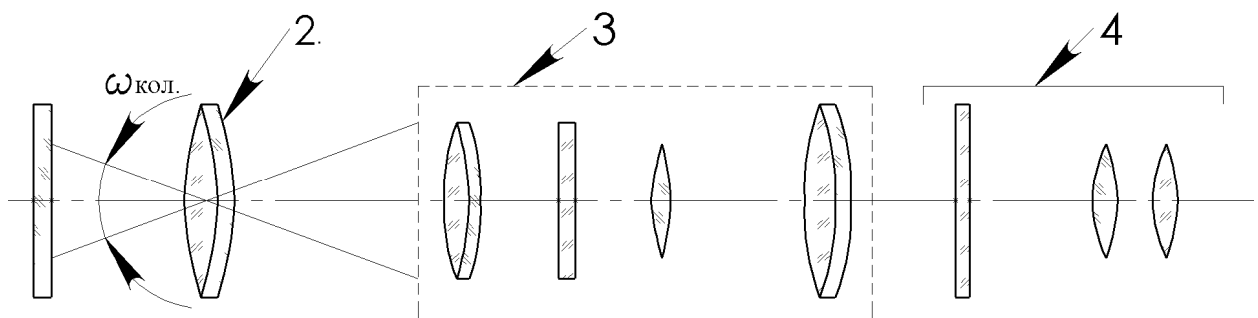


Рис.6.3. Схема контролю збільшення за допомогою зорової труби

Схема включає коліматор, що вміщує сітку 1, і об'єктив 2, випробувану телескопічну систему 3 і зорову трубу 4. Спочатку за відсутності системи 3, візують зорову трубу 4 на сітку коліматора і визначають скільки

поділок по сітці зорової труби міститься в зображенні визначеного інтервалу в сітці коліматора m_2 . Після цього встановлюють випробовувану телескопічну систему і знову визначають скільки поділок за шкалою зорової труби міститься в зображенні того ж інтервалу поділок сітки коліматора m_1 .

Видиме збільшення телескопічної системи визначають за формулою:

$$\Gamma = \frac{m_2}{m_1}.$$

Другий спосіб контролю видимого збільшення заснований на використанні мікроскопа – діаметра. Згідно способу на оправу об'єктива телескопічної системи надівають діафрагму визначеного діаметра D і за допомогою мікроскопа – діаметра визначають розмір її зображення d , а далі визначають збільшення за формулою(6.1). Схема контролю наведена на рис.6.4.

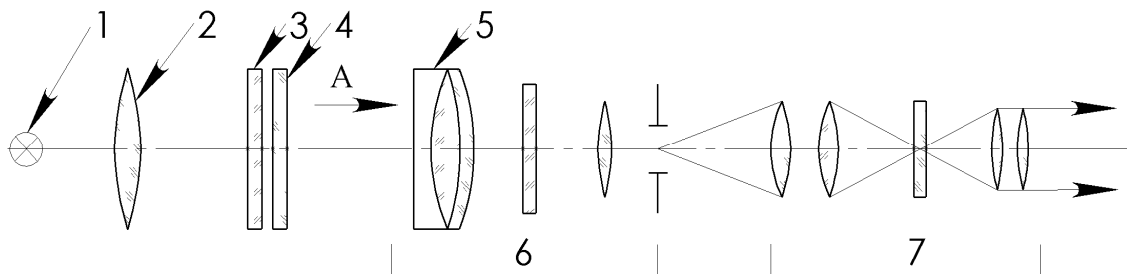


Рис.6.4. Схема контролю збільшення за допомогою мікроскопа-діаметра

Стенд містить джерело випромінювання 1, конденсор 2, світлофільтр 3, світлорозсіювач 4, діафрагму 5 розміром D . За випробовуваною системою 6, розташовується мікроскоп-діаметр 7, що складається із мікрооб'єктива, котрий має збільшення $b = -1$, і окуляра, що має видиме збільшення $\Gamma_{ок} = 12,5^*$. Достоїнством мікроскопа є велике лінійне поле зору 10 мм. Мікроскоп оснащений сіткою, що має 100 поділок з ціною поділки 0,1 мм. За допомогою мікроскопу визначають розмір d , а потім розраховують збільшення за формулою(6.1).

Для визначення кутового поля зору приладів на базі телескопічної системи використовують ширококутні коліматори на базі фотографічного об'єктива «Індустар-51». Схема стенда наведена на рис.6.5. Схема складається із вузла підсвітки 1, сітки коліматора 2, з ціною поділки $5''$, об'єктива «Індустар» 3, що має кут поля зору $2w = 25 \div 50^\circ$, випробовуваної телескопічної системи 4. Навпроти об'єктива ширококутного коліматора закріплюють випробовувану телескопічну систему так, щоб зображення шкали коліматора проходило через центр сітки випробовуваного приладу. Ця сітка одночасно є польовою діафрагмою.

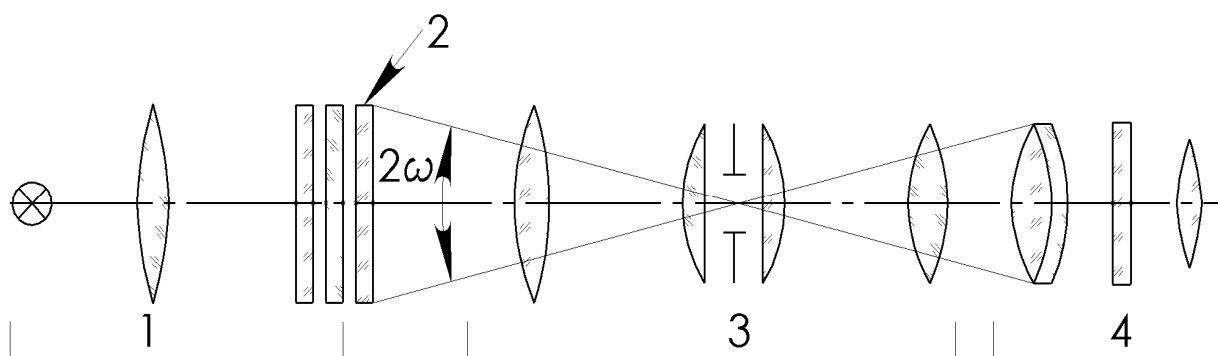
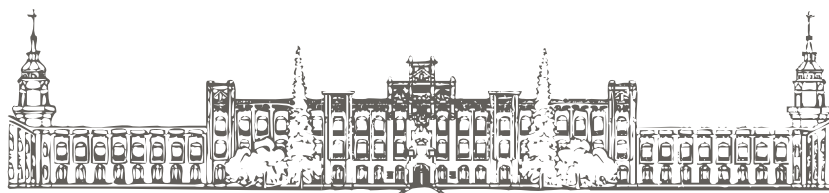


Рис.6.5. Схема контролю кута поля зору

Центр сітки необхідно сумістити з нульовим штрихом шкали коліматора. Визначають крайні поділки шкали коліматора, котрі видні в полі зору телескопічної системи і роблять два відліки від нульового штриха коліматора, обмежені справа і зліва польовою діафрагмою телескопічної системи. Сума відліків дає кутове поле зору приладу, що випробується.

Література:

1. Ключникова М.Н., Ключников К.П.. Проектирование оптико-механических приборов.-М.: Машиностроение, 1997.-215с.
2. Справочник конструктора оптико-механических приборов./Под. ред. В.А.Панова-Л.: Машиностроение, 1980.-742с.
3. Краузе В. Конструирование приборов.-В2-х ч.-М.: Машиностроение, 1987.-Ч.1.-384с.; Ч.2.- 376с.
4. Дитрих Я. Проектирование и конструирование. Системный подход.-М.: Мир, 1981.- 454с.
5. В.С. Плотников В.С., Варфоломеев Д.И, Пустовалов В.Е. Расчет и конструирование оптико-механических приборов.-М.: Машиностроение, 1983.-256с.
6. Кулагин В.В. Основы конструирования оптических приборов.-Л.: Машиностроение, 1980.- 312с.
7. Справочник конструктора точного приборостроения/ Под ред. К.Н. Явлинского. - Л.: Машиностроение, 1989.- 792с.
8. Латыев С.М. Компенсация погрешностей в оптических приборах. -Л.: Машиностроение, 1985.- 248с.
9. Погарев Г.В. Юстировка оптических приборов. -Л.: Машиностроение. 1982.- 238с
10. Справочник технолога –оптика./ Под ред. М.А.Окатова.-СПб, Политехника, 2004. -679с.
- 11 Турыгин И.А. Прикладная оптика.-М.: Машиностроение,1966.-431с.



Додаток
1

**Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»
Кафедра оптичних та оптико – електронних
приладів**

КУРСОВИЙ ПРОЕКТ

**з дисципліни:
«Розрахунок і конструювання оптичних
приладів»**

тема: «Монокуляр призменний»

**Керівник:
Доц. Кучеренко О. К.
Допущено до захисту
«___» _____ 2010р.
Захищено з оцінкою
_____**

**Виконав
Свєшніков В.С.
студент IV курсу
групи ПО-61
Залікова №
книжка
№ ПО-6118**

КИЇВ 2010

Національний технічний університет України "КПІ"

Кафедра оптичних та оптико-електронних приладівДисципліна розрахунок та конструювання оптичних приладівСпеціальність лазерна та оптико-електронна технікаКурс IV Група ПО – 61 Семестр VI**ЗАВДАННЯ**
на курсовий проект студентаСвєшнікова Віктора Сергійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи)

Монокуляр призмений

2. Строк здачі студентом закінченого проекту (роботи) 15.12.2010

3. Вихідні дані до проекту (роботи):

збільшення-12*; кут поля зору- 4^0 ; діаметр вхідної зіниці-35мм.; віддалення вихідної зіниці-18мм.; тип обертаючої призми-призма АкР-60 0 ; тип окуляра-симетричний; діапазон діоптрійного наведення- ± 5 дптр.; припустимий кутовий паралакс-1кут.хв.; діапазон коливання температур- 50 0 .; світка вимірювальна середньої точності; категорія скла для оптичних деталей-4; відхилення радіусів оптичних поверхонь від номіналу складає $\frac{\Delta r}{r} = \pm 0,002$.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які підлягають розробці): Вступ. 1.Огляд схем та опис вибраної схеми. 2. Габаритни розрахунок. 3. Точносні розрахунки. 4. Опис конструкції приладу. 5. Рекомендації щодо юстування та методики контролю параметрів приладу. 6. Висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Оптична схема2. Загальний вид приладу3. Вузлові креслення та деталювання6. Дата видачі завдання 09 вересня 2010 р.

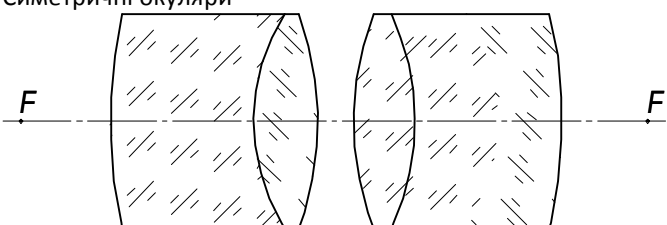
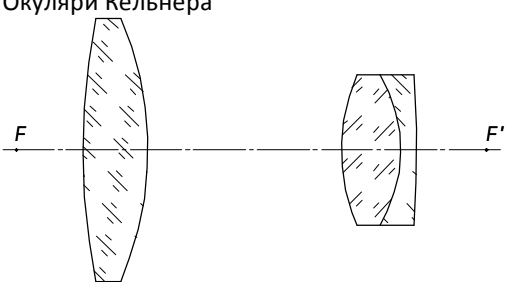
Допуски на нормовані елементи лінз.

Параметр	Мікро- об'єктиви до 40 ^x	Об'єктиви коліматорів	Об'єктиви фотографічні і проєкційні	Об'єктиви телескопічних систем			Обертальні системи	Колективи	Окуляри (лінзи, лупи)	Лінзи конденсо- рів
				великого збільшення (дальноміри, нівеліри)		малого зби- льшення (біноклі, зорові труби)				
				1-ий компо- нент	фокусуючи лінза					
Δn_e	1А	(1 - 2)А, Б	2Б	(1 - 2)А, Б	2В	2В	2Б	3Б	3В	4Г
$\Delta(n_{F'} - n_e)$	1А	(1 - 2)А, Б	2Б	(1 - 2)А, Б	2В	2В	2Б	3Б	3В	4Г
Іднорідність	1	1	2	2	2	3	2	3	3	4
Впромене- ал	1	2	2	2	2	3	2	3	3	3 – 5
n_A	1 - 2	2 - 4	2	2 - 4	2 - 4	4	1 - 3	3	3 - 5	4 – 5
Езсвільність	1Б	1Б	1Б	1Б	1Б	1Б	1Б	1Б	1Б	2Б
Ізирність	3В	4В	3В	4В	4В	4В	4В	2А	3В, Г	5Г, Д
N (в кіль- ях)	1 - 2	1 - 2	1 – 3	1 - 3	3 - 5	3 - 5	2 - 3	5	3 - 5	5 – 10
ΔN (в мугах)	0,1 – 0,2	0,1 – 0,2	0,1 – 0,3	0,1 – 0,3	0,3 – 0,5	0,3 – 0,5	0,2 – 0,3	0,5	0,3 – 0,5	0,5 – 1,0
β	I - II	V - VI	IV – V	V – VI	IV	V – VI	III – IV	I – II	III – IV	IV – VI
ΔR , %	0,1 – 0,2	1	1 – 2	2	3	2 – 3	0,5	1	0,5	1
ζ , мм	0,005 – 0,01	0,01 – 0,02	0,01 – 0,03	0,03	0,02	0,03 – 0,05	0,02	0,1 – 0,2	0,03 – 0,05	0,05 – 0,1
Δd , мм	0,05	0,5	0,1	0,2	0,2	0,2	0,05 – 0,1	0,1	0,1	0,2 – 0,5
D - для ід'ємних	h8	h8; f9	h8; f9	h8; f9	f9; f11	h9; f11	h8; f9	-	f9	-
D - для одатних інз	C11	C11	C11	C11	-	C11	C11	f11; C11	f11	C11; f11

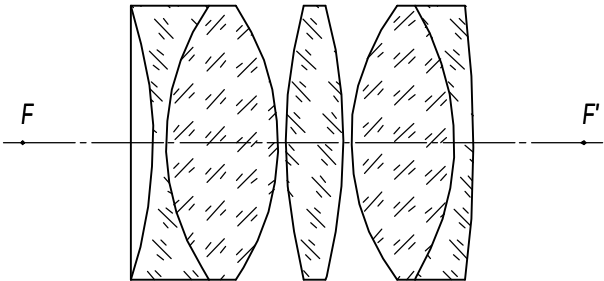
Додаток 4

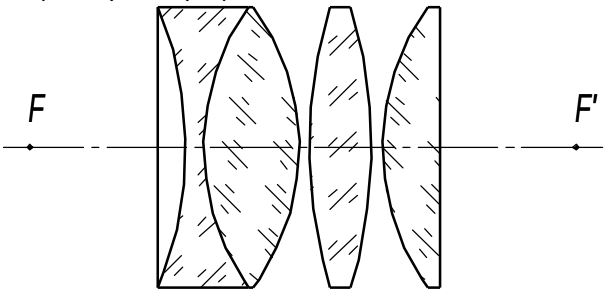
Допуски на нормовані елементи плоских оптичних деталей

Параметр	Призми					Клини			Пластини					Дзеркала		
	Пента-призми (перед телескопічною системою)	Розділові (світлоділні призми)	Відбивні	Обертальні (призми бінокля, призми Дове)	Біпризми (фотометричні прилади)	Ахроматизовані (склеєні кроуфлінти)	Компенсаційні (вимірвальних приладів)	Прості (одинарні для поєднання зображення)	Інтерференційні	Компенсатори зсуву зображення (вимірвальні геодезичні прилади)	Захисні скла перед зоровою трубою	Сітчасті шкали	Світлофільтри за окуляром	З зовнішнім покриттям		З внутрішнім покриттям
														Перед зоровою трубою	Всередині приладів	
Δn_e	3В	2А	2В	3В	4В	2В	2В	3В	1А	2В	4В	4В	Спектр. хар. 2к	---	---	2В
$\Delta(n_F' - n_F)$	3В	2А	2В	3В	4В	2В	2В	3В	1А	2В	4В	4В	Спектр. хар. 2к	---	---	2В
Однорідність	2	2	2	2	3	1—2	2	3	1—2	2	2—3	3	4	2	2	2
Двопроменезаломлення	2	2	2	2	3	1—2	2	3	1—2	2	3	3	4	2	2	2
m_A	2	2	2	2	3	3	3	3	2—3	4	2—5	3—5	К00,005	---	----	2—4
Безсвітність	1А	1А	1А	1А	1А	1Б	1Б	1Б	1Б	1Б	1Б	1Б	1Б	---	---	1Б
Пузирність	4Г	3А	3А	3В	2Б	3В	(2 ÷ 3)В	3Г	2Б	3Г	3Г	1А	3Г	(3 ÷ 4)В	(2 ÷ 3)В	2В
N (в кільцях)	3—5	2—3	2—3	3—5	5—10	0,5—3	0,5—3	3—10	0,5—3	1—2	3—5	До 10	До 10	0,3—0,5	1—5	3—5
ΔN (в смугах)	0,3—0,5	0,2—0,3	0,2—0,3	0,3—0,5	0,5—1	0,05—0,3	0,05—0,3	0,3—1	0,05—0,2	0,1—0,2	0,3—0,5	2	2	0,1—0,3	0,1—0,3	0,3—0,5
P	VI—VII	III—IV	IV—V	IV—V	II—III	V	VI—VII	V—VI	II	V—VI	V—VII	0—20	IV—V	V—VII	V	IV—V
q	3'	3—5'	3—5'	5'	5—10'	---	---	---	30"—1'	20"—5'	1—15'	5—10'	5—10'	---	---	5—10'
d	1—5'	1—5'	1—5'	5'	1—5'	5"—3'	5"—3'	3—30'	---	---	---	---	---	---	---	---
p (пірамідальність)	2—3'	1—5'	1—5'	5'	5'	5"—3'	5"—3'	3—30'	---	---	---	---	---	---	---	---
e (розподільна здатність)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	2"	1—2"	3"	1—2"	1—2"	2"
Δd ($\pm m$)	0,5—1	0,2—0,5	0,2—0,5	0,5	0,5—1	0,1—0,2	0,1	0,2—0,5	0,2	0,1	0,5	0,2	0,5	0,5—1	0,5—1	0,2—0,5

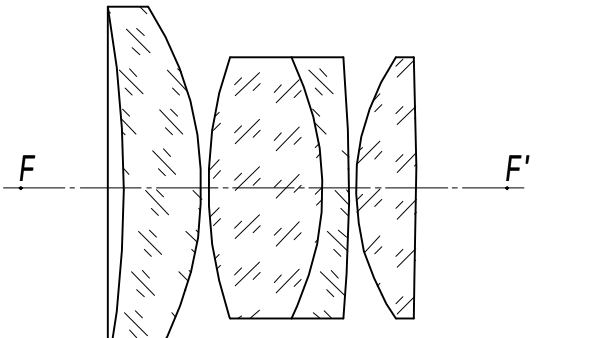
Тип окулярів. Оптичні характеристики	Конструктивні параметри окулярів				
	Номер поверхні	r	d	n_D	D
Симетричні окуляри  $f' = 15; 2w = 52^\circ;$ $S_F = -11,2; S'_{F'} = 11,2$	1	33,11			
	2	13,93	10	1,6475	1,5
	3	-20,14	4,5	1,5163	1,5
	4	20,14	0,07	1	
	5	-13,93	4,5	1,5163	1,5
	6	-33,11	10,0	1,6475	1,5
$f' = 25; 2w = 40^\circ;$ $S_F = -18,9; S'_{F'} = 18,9$	1	68,66			
	2	21,01	1,5	1,6164	1,5
	3	-30,85	7,5	1,5163	1,5
	4	30,85	0,1	1	
	5	-21,01	7,5	1,5163	1,5
	6	-68,66	1,5	1,6164	1,5
$f' = 40; 2w = 40^\circ;$ $S_F = -30,2; S'_{F'} = 30,2$	1	109,65			
	2	33,73	2,5	1,6164	3,0
	3	-49,20	12,0	1,5163	3,0
	4	49,20	0,2	1	
	5	-33,73	12,0	1,5163	3,0
	6	-109,65	2,5	1,6164	3,0
Окуляри Кельнера  $f' = 25; 2w = 50^\circ;$ $S_F = -7,4; S'_{F'} = 9,0$	1	66,18			
	2	-31,09	6,0	1,5163	24,5
	3	18,05	18,0	1	
	4	-13,54	5,5	1,5399	1,5
	5	-95,53	1,5	1,6199	1,5

Продовження дод.5

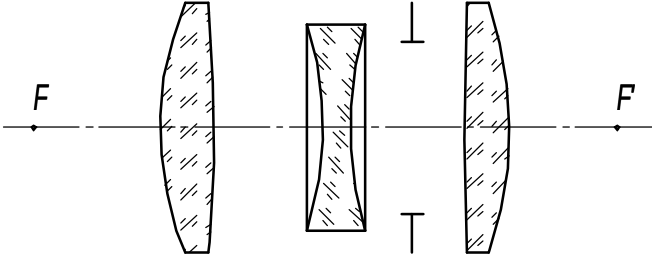
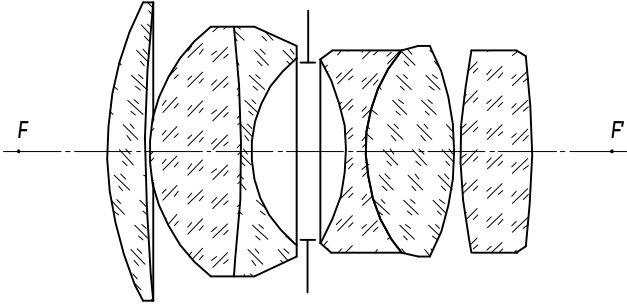
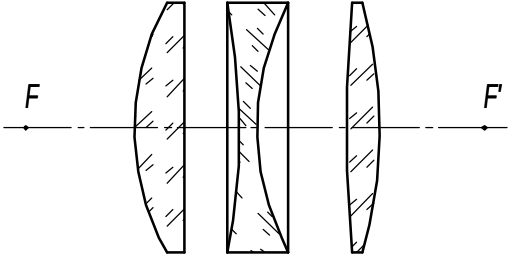
Тип окулярів. Оптичні характеристики	Конструктивні параметри окулярів				
	Номер поверхні	r	d	n_D	D
$f' = 39$; $2w = 45^\circ$; $S_F = -11,09$; $S'_{F'} = 11,42$	1	156,89			
	2	-38,15	13,0	1,5163	36
	3	29,41	27,2	1	
	4	-19,63	12,0	1,5163	29
	5	-88,58	2,0	1,6475	29
$f' = 50$; $2w = 45^\circ$; $S_F = -17,33$; $S'_{F'} = 19,24$	1	69,94			
	2	-133,05	12,0	1,5163	44
	3	36,31	33,3	1	
	4	-27,04	9,5	1,5399	28
	5	-144,54	2,5	1,6475	28
Окуляр Ерфле  $f' = 25$; $2w = 70^\circ$; $S_F = -8,9$; $S'_{F'} = 17,0$	1	-56,01			
	2	31,89	1,7	1,6199	36,5
	3	-33,89	15,0	1,5163	36,5
	4	70,78	0,25	1	
	5	-70,78	7,6	1,5163	36,5
	6	29,41	0,25	1	
	7	-34,42	13,8	1,5163	36,5
	8	-170,23	1,8	1,6199	36,5

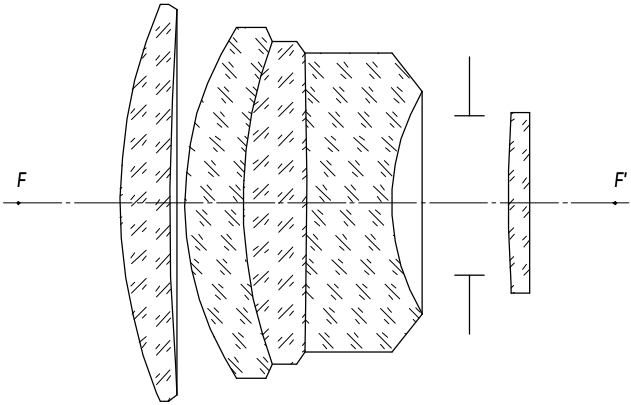
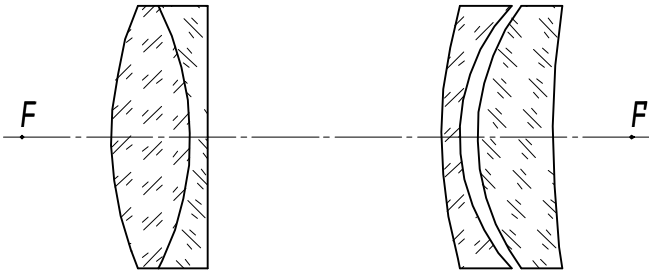
Ширококутні окуляри  $f' = 18,6$; $2w = 65^\circ$; $S_F = -7,4$; $S_{F'} = 17,5$	1	-36,31			
	2	23,12	1,7	1,7398	27
	3	-23,12	9,2	1,5467	27
	4	46,13	0,2	1	
	5	-46,13	6,0	1,5467	27
	6	23,12	0,2	1	
	7	∞	5,5	1,5467	27

Продовження дод.5

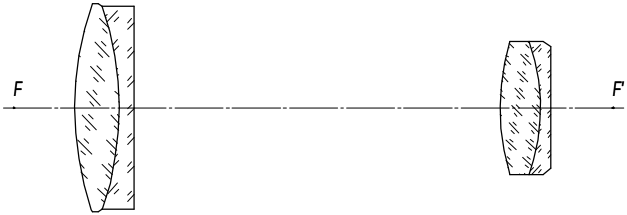
Тип окулярів. Оптичні характеристики	Конструктивні параметри окулярів				
	Номер поверхні	r	d	n_D	D
 $f' = 39$; $2w = 45^\circ$; $S_F = -11,09$; $S_{F'} = 11,42$	1	-157,04			
	2	-49,20	12,0	1,5163	54
	3	59,16	0,5	1	39
	4	-43,65	17,0	1,5163	
	5	-218,80	4,0	1,7398	39
	6	35,32	0,5	1	
	7	539,50	9,0	1,5163	39

Оптичні характеристики						Конструктивні параметри							
f'	D/f'	$2w, ^\circ$	S_p	S_F	$S'_{F'}$	r_1	r_2	r_3	d_1	d_2	Марка скла		D
											1-а лінза	2-а лінза	
22,5	1:4	10	---	-21,8	21,2	19,1	-7,5	-18,0	3,0	2,0	К8	ТФ1	5,6
60	1:3,8	8	-36	-58,4	57,3	36,3	-24,2	-80,5	4,0	1,5	К8	ТФ1	15,5
80	1:4	12	-41:4	-79,4	76,2	44,6	-33,3	-152,7	4,5	2,0	К8	Ф2	20,0
80	1:4	12	---	-78,4	76,6	53,2	-32,1	-91,8	5,5	2,8	К8	ТФ1	20,0
100	1:2,5	2,5	---	-98,2	93,3	60,4	-44,8	-143,4	10,1	2,5	К8	ТФ1	40,0
100	1:3,3	5	---	-97,4	97,2	86,6	-32,5	-85,1	6,1	2,1	К8	Ф2	30,0
100	1:4	11	---	-99,0	96,0	59,0	-42,3	-146,3	5,7	1,9	К8	ТФ2	26,3
140	1:4,4	14	---	-134,9	136,3	172,1	-546,1	-138,2	8,0	3,0	К8	Ф2	31,5
150	1:4,2	7,5	-155	-149,0	142,5	80,7	-111,9	-490,6	9,0	3,0	К8	Ф4	36,0
190	1:5,9	8	-190	-190,1	181,7	92,9	39,3	-564,9	4,4	8,7	ТФ3	БФ7	32,0
200	1:4	12	-100	-194,4	197,0	131,1	55,0	-211,9	2,0	8,0	ТФ1	К8	50,0
220	1:6,2	12	---	-216,2	217,4	224,9	-64,7	-158,2	7,0	2,8	К8	Ф4	35,4
250	1:12	6	---	-247,6	249,8	319,9	-66,2	-159,2	4,4	2,7	К8	Ф1	21,0
300	1:8	5	---	-299,6	296,9	157,2	-136,4	-639,4	3,5	2,0	К8	ТФ1	34,0
560	1:7	6	---	-602,4	583,4	247,2	146,6	∞	9,0	11,0	ТФ1	К3	80,0
1000	1:10	3	---	-1002	982,1	402,8	-446,7	∞	14,0	10,0	ТФ4	ТФ1	100,0
2000	1:8	1	---	-1998	1982	1219	-816,6	2780	30,0	20,0	К8	ТФ1	250,0

Тип об'єктивів. Оптичні характеристики	Конструктивні параметри об'єктивів				
	Номер поверхні	r	d	n_D	D
Симетричні окуляри  $f' = 52$; $1:3,5$; $2w = 42^\circ$; $S_F = -44,66$; $S_{F'}' = 35,59$	1	19,11			
	2	-81,93	3,1	1,6130	15
	3	-19,54	6,3	1	15
	4	22,35	1,6	1,6164	
	5	237,70	6,6	1	15
	6	-22,35	2,6	1,6130	15
 $f' = 75$; $1:1,5$; $2w = 18^\circ$; $S_F = -23,96$; $S_{F'}' = 44,10$	1	56,43			50,3
	2	429,50	6,9	1,6126	49,7
	3	-180,37	0,1	1	42,2
	4	20,10	1,7	1,6475	31,5
	5	-29,78	16,0	1	31,0
	6	27,0	3,3	1,6475	34,2
	7	-39,63	15,0	1,6577	
	8	76,91	0,2	1	35,5
	9	-129,70	12,0	1,6577	34,2
 $f' = 100$; $1:3,5$; $2w = 60^\circ$; $S_F = 87,39$; $S_{F'}' = 82,1$	1	30,0			
	2	1100	5,7	1,6126	28,6
	3	-74,0	6,2	1	
	4	30,0	1,9	1,6259	28,6
	5	175,0	10,3	1	
	6	-48,0	3,5	1,6126	28,6

Тип об'єктів. Оптичні характеристики	Конструктивні параметри об'єктів				
	Номер поверхні	r	d	n_D	D
 $f' = 180$; $1:2,8$; $2w = 14^\circ$; $S_F = -197,7$; $S_{F'} = 83,1$	1	88,81			68,0
	2	441,86	8,9	1,6227	66,8
	3	55,91	2,3	1	60,6
	4	77,66	10,0	1,6227	55,4
	5	-959,70	10,8	1,4982	51,2
	6	37,02	14,5	1,6725	38,8
	7	186,02	39,8	1	30,8
	8	-2367,8	3,8	1,7280	31,0
 $f' = 75$; $1:2,1$; $2w = 23^\circ$; $S_F = 37,39$; $S_{F'} = -45,5$	1	46,8	11,0	1,510	36,5
	2	-39,9	2,5	1,578	36,5
	3	∞	32,5	1	
	4	66,5	2,5	1,578	39,5
	5	26,5	2,5	1	
	6	30,4	10,5	1,510	39,5
	7	-134,8			
$f' = 100$; $1:2,1$; $2w = 23^\circ$; $S_F = 37,39$; $S_{F'} = -45,5$	1	52,4	14,0	1,510	48,6
	2	-47,9	2,4	1,578	45,2
	3	∞	2,4	1	
	4	88,5	2,9	1,578	41,7
	5	35,3	3,3	1	
	6	40,4	14,2	1,510	68,4
	7	-181,3			

Продовження дод.7

Тип об'єктів. Оптичні характеристики	Конструктивні параметри об'єктів				
	Номер поверхні	r	d	n_D	D
 $f' = 100$; $1:2$; $2w = 5^\circ$; $S_F = 38,9$; $S_{F'} = -29,6$	1	79,4			
	2	-76,4	11,0	1,5163	51,3
	3	∞	3,7	1,6199	50
	4	56,6	90,2	1	
	5	-46,6	9,8	1,5163	32,8
	6	-492,2	2,0	1,6199	30

Об'єктиви мікроскопів

Тип мікрооб'єктівів Оптичні характеристики	Конструктивні параметри об'єктивів				
	Номер поверхні	r	d	Марка скла n_D	$D_{св}$
Двохлінзові об'єктиви малого збільшення					
$f' = 10,44$; $A = 0,25$; $S_F = -7,72$; $S'_{F'} = 11,36$; $b \leq 10$	1	3,32			
	2	-6,03	2,5	1,4338	5,0
	3	23,99	0,45	1,5696	8,4
$f' = 16,42$; $A = 0,2$; $S_F = -14,14$; $S'_{F'} = 15,65$; $b \leq 10$	1	21,0			
	2	-6,9	1,0	1,6475	4,8
	3	-10,0	3,5	1,5163	4,8
$f' = 35,89$; $A = 0,1$; $S_F = -34,69$; $S'_{F'} = 35,36$; $b = 3$	1	42,9			
	2	-14,29	0,92	1,6488	7,6
	3	-22,46	1,73	1,5100	7,8
$f' = 24,18$; $A = 0,2$; $S_F = -21,01$; $S'_{F'} = 28,65$; $b \leq 10$	1	13,09			
	2	-8,59	2,86	1,5163	9,0
	3	-39,99	1,51	1,6138	10,6
$f' = 29,48$; $A = 0,1$; $S_F = -28,01$; $S'_{F'} = 28,65$; $b = 3$	1	16,75			
	2	-6,49	2,5	1,5163	6,4
	3	-19,63	1,0	1,7398	7,2
Об'єктиви ахромати					
М-42 (8×0,20); $f' = 18,4$; $S = 8,57$; система суха	1	∞			5,8
	2	8,9	1,0	ТФ1	6,3
	3	-8,9	2,0	КФ4	6,3
	4	144,4	13,7	-	7,5
	5	13,67	1,0	ТФ1	7,6
	6	-13,8	2,0	КФ4	7,6
ОМ-41 (90×1,25); $f' = 1,96$; $S = 0,1$; масляної імерсії	1	∞			1,0
	2	-0,78	0,92	К2	
	3	-7,88	0,05	-	1,55
	4	-2,01	1,00	К5	2,5
	5	-34,01	0,2	ТФ1	3,0
	6	5,32	1,0	К2	3,4
	7	-4,02	1,82	-	
	8	101,80	1,51	ТФ4	4,4

ОМ-41 (90×1,25); $f' = 1,96$; $S = 0,1$; масляної імерсії	1	∞			1,0
	2	-0,78	0,92	К2	
	3	-7,88	0,05	-	1,55
	4	-2,01	1,00	К5	2,5
	5	-34,01	0,2	ТФ1	3,0
	6	5,32	1,0	К2	3,4
	7	-4,02	1,82	-	
	8	101,80	1,51	ТФ4	4,4
	9	5,66	1,0	К5	4,6
	10	-7,44	1,51		4,8
Об'єктиви апохромати					
ОМ-15 (60×0,1); $f' = 3,1$; $S = 0,22$; масляної імерсії, з ірисовою діафрагмою	1	∞		Кедрова олія	1,4
	2	-1,08	1,30	К2	2,2
	3	-11,08	0,04	-	3,1
	4	-2,8	1,40	К3	3,4
	5	∞	0,25	-	4,5
	6	6,8	0,9	-	4,7
	7	-4,8	2,60	БФ27	5,0
	8	∞	1,1	Флюорит	5,0
	9	-5,01	2,35	-	5,2
	10	5,7	1,1	Флюорит	5,5
	11	-12,8	2,6	ЛФ1	5,7
	12	∞	0,02	Флюорит	5,7
	13	-7,03	2,03	К15	5,7
	14	7,03	1,2	Галуни (рус. квасцы)	6,2
	15	-112,9	2,4	КФ4	6,2
ОМ-18 (10×0,3); $f' = 15,1$; $S = 4,8$; система суха	1	∞	2,0	ЛФ1	6,8
	2	-8,0	7,5	-	7,2

	3	∞	1,5	К8	7,8
	4	13,57	1,5	Флюорит	8,2
	5	-13,57	10,4	-	8,4
	6	31,00	1,5	ЛФ11	8,8
	7	12,40	2,0	Флюорит	9,0
	8	-12,40	1,5	-	9,4
	9	-21,38			9,4
ОМ-21 (20×0,65); $f' = 8,43$; $S = 0,67$; система суха	1	∞			3,0
	2	-3,8	4,0	ТК1	5,0
	3	-32,0	0,6	-	7,0
	4	8,5	2,5	БК9	7,7
	5	-7,3	2,4	Флюорит	7,7
	6	70,0	7,5	-	11,0
	7	-13,2	2,0	К8	11,0
	8	76,3	0,5	-	11,0
	9	9,2	1,0	КФ2	10,3
	10	-9,2	3,6	Флюорит	10,3
	11	-64,1	1,0	КФ1	10,3
Епіоб'єктив					
ЕО-1 (40×0,65); $f' = 6,3$; $S = 0,7$; система суха	1	∞			1,6
	2	-1,8	1,7	К3	3,0
	3	∞	0,2	-	3,4
	4	4,2	1,3	ТФ2	3,8
	5	-4,6	1,5	К3	3,8
	6	26,5	3,4	-	5,3
	7	5,6	1,0	Ф2	5,8
	8	-7,9	1,8	К3	5,8

Окуляри мікроскопів

Окуляри Гюйгенса. Оптичні характеристики.

Шифр	$\Gamma^{\times}$	$2l'$	f'	Примітка
АМ – 4	4	24	62	Прилад зі шкалою
М – 7	7	18	36	- // - зі шкалою та сіткою
АМ – 8	8	21	31,4	- // - з перехрестям
АМ – 10	10	14	25	- // - з підвищеним центруванням
М - 11	15	8	17	- // - з перехрестям

Окуляри Гюйгенса. Конструктивні параметри

Шифр	r_1	$r_2 = r_4$	r_3	d_1	d_2	d_3	Марки стекла		D	
							1-а лінза	2-а лінза	1-а лінза	2-а лінза
АМ – 4	25,4	∞	17,8	4	53,6	2,5	К14	К14	20	8
М – 7	22,8	∞	11,5	3	37,4	2,5	К8	К8	16,5	7
АМ – 8	23,0	∞	11,9	5	31,6	2,0	К8	К8	20	10
АМ – 10	24,1	∞	10,2	3	25,9	2,5	Ф1	К14	15	8
М - 11	18,7	∞	7,5	3	16,8	1,5	ТФ1	К14	9	5

Оптичні характеристики та конструктивні параметри окулярів

Тип окуляра Оптичні характеристики	Конструктивні параметри окулярів				
	Номер поверхні	r	d	Марка скла	D
Окуляр компенсаційний АМ – 13; $\Gamma = 7^{\times}$; $f' = 35,8$; $2l' = 18$; $D_d = 12,8$; $2w' = 28^{\circ}$; $S_F = 29,7$; $S'_{F'} = 1,3$	1	28,5			21,8
	2	∞	4,0	Ф13	21,3
	3	11,1	37,7	-	8,7
	4	-7,1	4,0	ТК2	7,9
	5	∞	1,0	Ф13	7,1
Окуляр Кельнера АМ – 18; $\Gamma = 7^{\times}$; $f' = 36,0$;	1	64,7	7,2	К8	20,4

$2l' = 18; D_{\text{д}} = 9,0; 2w' = 29^{\circ};$ $S_{\text{F}} = -11,64; S'_{\text{F}'} = 12,53$	2	-57,9	27,0	-	20,4
	3	23,0			15,6
	4	-14,5	7,2	ТК2	14,2
	5	483,0	1,8	Ф1	13,0
Окуляр симетричний $\text{АТ} - 36; \Gamma = 15^{\times}; f' = 17,0;$ $2l' = 12; D_{\text{д}} = 12,5; 2w' = 41^{\circ};$ $S_{\text{F}} = -11,6; S'_{\text{F}'} = 11,6$	1	103,7			14,0
	2	16,2	1,8	ТФ1	14,5
	3	-16,2	5,4	К8	14,5
	4	16,2	1,3	-	14,5
	5	-16,2	5,4	К8	14,5
	6	-103,7	1,8	ТФ1	14,0

Продовження дод. 9

Тип окуляра Оптичні характеристики	Конструктивні параметри окулярів				
	Номер поверхні	r	d	Марка скла	D
Окуляр ортоскопічний $\text{АМ} - 18; \Gamma = 12,5^{\times}; f' = 20,1;$ $2l' = 16; 2w' = 45^{\circ};$ $S_{\text{F}} = -5,3; S'_{\text{F}'} = 7,2$	1	∞			18,0
	2	-17,5	4,5	К8	18,0
	3	14,9	15,8	-	10,0
			4,5	ТК3	10,0
	4	-11,1	1,0	Ф1	10,0
	5	∞			10,0

Конденсори освітлювачів

Оптичні характеристики							Конструктивні параметри				
$-b$	A	f'	S_F	S'_F	S	S'	Номер по- верхні	r	d	Марка скла	D
Однолінзові конденсори											
2	0,27	45,15	-43,8	35,2	-58	133,5	1	22,9*	1	КВ	40
							2	-167,5	15		
$* y^2 = 45,8X$											
4,5	0,33	65,36	-56,6	63,7	-71	360,0	1	236	16	ТК2	50
							2	-43,4*			
$* y^2 = 86,7X$											
7,7	0,50	40,5	-29,3	37,8	-34,6	350,0	1	101,4	20	К8	45
							2	-24,6*			
$* y^2 = 49,2X$											
9,2	0,52	48,3	-45,7	35,3	-46,2	487,3	1	112,7	23	КВ	56
							2	-26,2*			
$* y^2 = 52,3X$											
Двохлінзові конденсори											
2,5	0,61	38,5	-24,7	24,6	-40,0	121,0	1	∞	9,5	ЛК2	60
							2	-30,5*		-	
							3	49,5		-	
							4	∞		К8	
$* y^2 = 60,9X$											
6,5	0,67	28,3	-15,3	25,9	-20,0	210,0	1	-43,6	10	ТК2	32
							2	-20,4		-	
							3	∞		-	
							4	-29,0*		ТК2	
$* y^2 = 58,0X$											
12,5	0,76	26,3	-11,2	23,2	-13,2	329	1	-76,2	14	ЛК5	46
							2	-19,6		-	
							3	∞		-	
							4	-24,8*		К8	
$* y^2 = 49,8X$											
38,5	0,64	37,7	-21,5	32,1	-	395	1	-63,4	13	ТК2	44

					25,5		2	-27,3	2	-	
							3	∞	15,5	ТК2	54
							4	-40,3*			
* $y^2 = 56,4X$											

Продовження дод. 10

Оптичні характеристики							Конструктивні параметри				
$-b$	A	f'	S_F	$S'_{F'}$	S	S'	Номер поверхні	r	d	Марка скла	D
Трьохлінзові конденсори											
5	0,52	33,6	-24,7	32,1	-31,4	200	1	-32,4	5	ТК2	30,6
							2	-22,3	0,1	-	32,7
							3	-57,3	4	ТК2	35,9
							4	-37,5	0,1	-	37,2
							5	102,5	18	ТК2	40,6
							6	-59,2			41,0
8	0,5	56,9	-24,3	24,5	-31,4	480	1	135,5	15	ЛК5	46
							2	-28,1	1	-	
							3	-27,4	7	ТФ5	48
							4	-	0,5	-	
							6	203,7	23	ЛК5	60
							6	112,7			
							-				
* $y^2 = 44,9X$											

Окулярна трубка

Світодільний кубик: $r : t = 1 : 10$; розмір $30 \times 30 \times 30$ мм.

Ахроматична лінза: $f' = 167,9$; $S_F = -171,2$; $S'_{F'} = 156,6$; збільшення $0,41^\times$; числова апертура $0,04$.

Окуляр: $f' = 16,7$; $S'_{F'} = 7,4$; збільшення $15^\times$.

Конструктивні параметри

Номер поверхні	r	d	D
Ахроматична лінза			
1	61,5	7,7	24
2	-208,0		24
3	406,4	5,4	24
Окуляр			
1	-17,0	2,0	20
2	32,0		23
3	-26,5	9,5	23
4	∞	0,5	30
5	-45,2	5,5	30
6	45,2	0,5	30
7	∞	5,5	30
8	26,1	0,8	24
9	18,3	11,2	19

Освітлювач з двохлінзовим конденсором

Конденсор: $f' = 40,9$; $S_F = -39,1$; $S'_{F'} = 25,2$; збільшення $7,8^\times$; числова апертура 0,05.

Лампа тип КМГ9 = 70 з тілом розжарення $2,6 \times 2,6$ мм, використовується два світлофільтри з НС = 3 товщиною 2 мм.

Номер поверхні	r	d	Марка скла	D
1	-45,4	10,0	КУ1	36
2	-29,7			42
3	132,7	0,5	КУ1	51
4	-30,6*	16,0		51
* $y^2 = 61X$				

Телеоб'єктиви

Оптичні характеристики	Конструктивні параметри				
	Номер поверхні	r	d	Марка скла	$D_{св}$
Телеоб'єктив $f' = 219,63$; $S_F = -705,38$; $S'_{F'} = 40,17$; $S_H = -485,75$; $S'_{H'} = 179,46$ Об'єктив $f' = 110,79$; $S_F = -115,69$; $S'_{F'} = 76,98$; $S_H = -4,90$; $S'_{H'} = -33,81$ Фокусуюча лінза $f' = -41,26$; $S_F = 42,72$; $S'_{F'} = 41,63$; $S_H = -4,90$; $S'_{H'} = -33,81$	1	60	7,5	К8	38,0
	2	-107,9			38,0
	3	-65,6	13,4	-	31,5
	4	645	4,5	ТФ3	31,5
	5	95	3,6	-	30,0
	6	-205	5,0	ТК16	30,0
	7	329	3,5	Ф1	27,5
	8	-87	55-67,7	-	8,5
	9	-17,8		ТФ2	8,5
	10	22,7	2,1	ЛФ12	8,5
Телеоб'єктив $f' = 398,6$ Об'єктив $f' = 176,37$ Фокусуюча лінза $f' = -125,15$	1	231,7	7	ТФ3	50,2
	2	186,2	10	К8	49,6
	3	-258,2	7,8	-	49,4
	4	100,9	7	ТФ3	48,8
	5	61,9	10	К8	46,8

	6	-218,8	3-10	-	45,6
	7	-119,7	3,5	ТК14	27,8
	8	38,64	4	ТФ3	26,6
	9	54,45			25,8

Додаток 14

Система Галілея

Оптичні характеристики	Конструктивні параметри				
	Номер поверхні	r	d	Марка скла	$D_{св}$
$\Gamma = 2^\times$; $2w = 7^\circ$; $f'_{об} = 64,86$; $f'_{ок} = -32,57$	1	41,78			16
	2	-31,05	4	БФ7	16
	3	-112,72	2	ТФ7	16
	4	-63,39	28	-	9
	5	-16,60	2,2	ТФ7	9
	6	20,8	1,5	БФ7	9
$\Gamma = 3^\times$; $2w = 3^\circ$; $f'_{об} = 60$; $f'_{ок} = -20$	1	54,95			16
	2	-68,71	2,7	ТК16	16
	3	206,1	1,5	ТФ4	16
	4	52,36	0,5	-	15,5
	5	1100	2,1	ТК16	15,4
	6	78,89	36	-	10
	7	16,67	1,5	ТК16	8,5
	8	-12,73	2,5	-	9,0
	9	-8,63	2,5	ТФ4	8,5
	10	-33,73	1,5	ТК16	8,2

Окуляри від'ємні систем Галілея

Оптичні характеристики	Конструктивні параметри				
	Номер поверхні	r	d	Марка скла	D_{cv}
$f' = -26,23$; $S_F = 27,62$; $S_{F'} = -27,44$;	1	33,27	3 15	ТФ4 ТК2	8
	2	-12,24			8
	3	19,91			8
$f' = -29,85$; $S_F = 31,01$; $S_{F'} = -30,52$;	1	-50,7	1,8 1,2	Ф1 ТК16	12
	2	-27,54			12
	3	29,24			12
$f' = -95,8$; $S_F = 99,88$; $S_{F'} = -94,59$;	1	153,46	3 1,5	Ф1 БК8	12
	2	-48,53			12
	3	34,20			12

Залежність діаметра лінзи від її світлового діаметра.

Найменший діаметр лінзи $D_{\min} = D_{cv} + h$

D_{cv} , мм	h	
	Кріплення завальцовкою	Кріплення кільцем
До 6	0,6	-
6 – 10	0,8	1,0
10 – 18	1,0	1,5
18 – 30	1,2	1,8
30 – 50	1,5	2,0
50 – 80	2,0	2,5
80 – 120	-	3,0
120 – 180	-	4,0
180 – 260	-	5,0
260 – 360	-	6,0
360 – 500	-	8,0

Допуски на з'єднання круглих оптичних деталей з оправами

Точність центрування		Допуск			Приклади застосування
Характеристика	Допуск на центрування	на діаметри оптичних деталей		на внутрішній діаметр оправы	
		центруючих	нецентруючих		
Підвищення	До 0,02	h8	d9	H9	Лінзи мікрооб'єктивів
	<<0,02	g6	d11	H7	Лінзи світлосильних фотооб'єктивів
	<<0,02	F7	d11	H7	Точні деталі: лінзи, шкали, сітки

Середня	0,02 – 0,05	h8	9	H9	Лінзи окулярів
		e9; f9; e8	c11	H8; H9	Деталі телескопічних приладів, шкали, сітки
Знижена	Понад 0,05	d11	-	H11	Конденсори, світлофільтри, плоскі дзеркала, захисні скельця

Додаток 18

Допуски на товщину лінз в залежності від їхнього діаметру

Тип лінз	Діаметр лінз, мм	Допуск
Лінзи об'єктів і обертаючих систем	До 50	$\pm(0,05 - 1,0)$
	50 – 100	$\pm(0,1 - 0,2)$
	Понад 100	$\pm(0,2 - 0,5)$
Колективи в фокальній площині, колективи окулярів Кельнера	До 20	$\pm(0,1 - 0,2)$
	20 – 50	$\pm(0,2 - 0,3)$
	Понад 50	$\pm(0,3 - 0,5)$
Інші лінзи, лінзи окулярів, лупи	До 10	$\pm 0,1$
	10 – 20	$\pm 0,2$
	Понад 20	$\pm(0,3 - 0,5)$

Примітка. Для оптичних систем підвищеної точності допуски встановлюються розрахунком.

Зміст

Вступ _____	3
1.Основні вимоги до змісту курсового проекту _____	4
2.Перелік тем,технічне завдання на проект та графік виконання _____	5
3.Вказівки до габаритного розрахунку в курсовому проекті _____	6
3.1Габаритний розрахунок приладу на основі телескопічної системи _____	7
3.2Габаритний розрахунок приладу на основі оптичної схеми мікроскопу _____	13
3.3Габаритний розрахунок приладу на основі проекційної оптичної системи _____	18
4.Вказівки до виконання конструкторських розрахунків в курсовому проекті _____	22
4.1Визначення коефіцієнта пропускання оптичної системи монокуляра _____	22
4.2Розрахунки окулярної різьби та діоптрійної шкали для механізму діоптрійної наводки _____	23
4.3Конструювання сіток _____	24
4.4Розрахунки оптичних мікрометрів _____	24
5.Вказівки до виконання точностних розрахунків в курсовому проекті _____	25
5.1Визначення вимог до точності установки сіток та шкал в оптичних приладах _____	26
5.2Визначення впливу коливань температури на основні характеристики фокусуючих вузлів _____	28
5.3Аналіз впливу похибок конструктивних параметрів фокусуючих вузлів _____	31
5.4Оцінка похибки одного з параметрів приладу _____	33
6.Опис конструкції, методи юстування та контролю вихідних характеристик приладу _____	33
6.1Опис конструкції монокуляра _____	33
6.2Методика юстування сітки _____	36
6.3Методика контролю вихідних характеристик приладу на базі телескопічної системи _____	37
Література _____	40

Додатки _____	41
Додаток1.Приклад титульної сторінки до курсового проекту _____	41
Додаток 2.Приклад завдання на курсовий проект _____	42
Додаток3.Допуски на нормовані елементи лінз _____	43
Додаток4.Допуски на нормовані елементи плоских оптичних деталей _____	44
Додаток5.Окуляри телескопічних систем _____	45
Додаток6 .Об'єктиви телескопічних систем _____	48
Додаток7. Фотографічні та проєкційні об'єктиви _____	49
Додаток8. Об'єктиви мікроскопів _____	52
Додаток9.Окуляри мікроскопів _____	55
Додаток10.Конденсори освітлювачів _____	57
Додаток11.Окулярна трубка _____	59
Додаток12.Освітлювач з двох лінзовим конденсором _____	60
Додаток13.Телеоб'єктиви _____	60
Додаток14.Система Галілея _____	61
Додаток15.Окуляри від'ємні системи Галілея _____	62
Додаток16.Залежність діаметра лінзи від її світлового діаметра _____	62
Додаток17.Допуски на з'єднання круглих оптичних деталей з оправами _____	62
Додаток18.Допуски на товщину лінз в залежності від їхнього діаметру _____	63
Зміст _____	64