

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

О. К. Кучеренко

РОЗРАХУНОК І КОНСТРУЮВАННЯ ОПТИЧНИХ ПРИЛАДІВ

Частина 2. «Габаритні розрахунки і конструювання оптичних вузлів і приладів»

*Затверджено Вченою радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як підручник для студентів, які навчаються за спеціальністю 151
«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані системи та технології»
спеціалізації «Комп'ютерно-інтегровані оптико-електронні системи і
технології»*

Київ

КПІ ім. Ігоря Сікорського

2021

Рецензенти:

Поздняков Д. В., канд. техн. наук, нач. відділу КП СПБ «Арсенал».

Сенаторов В. М., канд. техн. наук, ст. наук. співробітник Центрального НДІ озброєння та військової техніки Збройних сил України.

Відповідальний редактор:

Колобродов В. Г., професор, доктор техн. наук, зав кафедрою ООЕП.

*Гриф надано Вченою радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № ...
від..... р.)*

Електронне мережне навчальне видання

Кучеренко Олег Костянтинович, канд. техн. наук, доцент.

РОЗРАХУНОК І КОНСТРУЮВАННЯ ОПТИЧНИХ ПРИЛАДІВ

Частина 2. «Габаритні розрахунки і конструювання оптичних вузлів і приладів»

Розрахунок і конструювання оптичних приладів. Частина 2. «Габаритні розрахунки і конструювання оптичних вузлів і приладів»[Електронний ресурс] : підручник для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані системи та технології» спеціалізації «Комп'ютерно-інтегровані оптико-електронні системи і технології»/ О. К. Кучеренко КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 23,7 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 194 с.

Розглянуто габаритні розрахунки оптичних схем приладів, побудованих на використанні телескопічної системи, а також систем мікроскопа та проекційної. Наведені приклади розрахунків. Розглянуті конструкції функціональних вузлів оптичних приладів. Надані рекомендації відносно переваг і недоліків різних варіантів конструкцій. Увага приділена методум компонування приладів, побудованих на типових оптичних схемах. Запропоновані методи захисту оптичних приладів від зовнішніх дій. Розглянуті правила оформлення креслень оптичних схем і елементів відповідно до вимог міжнародної системи стандартизації ISO.

© О. К. Кучеренко, 2021

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021

Зміст

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	5
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1	8
ГАБАРИТНІ РОЗРАХУНКИ ОПТИЧНИХ СХЕМ ПРИЛАДІВ, ПОБУДОВАНИХ НА ВИКОРИСТАННІ ТИПОВИХ СИСТЕМ.....	8
1.1. Габаритний розрахунок оптичної системи приладів, побудованих на використанні телескопічної оптичної системи.....	8
1.2. Габаритний розрахунок оптичної системи приладів, побудованих на використанні оптичної системи мікроскопа	22
1.3. Габаритний розрахунок оптичної системи приладів, побудованих на використанні проекційної оптичної системи.....	37
Контрольні запитання.....	50
РОЗДІЛ 2	51
КОНСТРУКЦІЇ ТИПОВИХ ВУЗЛІВ ОПТИЧНИХ ПРИЛАДІВ	52
2.1. Конструювання вузлів кріплення круглих оптичних деталей	52
2.2. Конструювання вузлів кріплення лінзових систем	60
2.3. Конструювання вузлів з призмами і дзеркалами.....	68
2.4. Вузли кріплення і юстування сіток, шкал, растрів.....	81
2.5. Конструювання вузлів освітлювачів і фотоприймачів	83
Контрольні запитання.....	94
РОЗДІЛ 3	96
ПРИНЦИПИ КОМПОНУВАННЯ ТА ЗАХИСТ ОПТИЧНИХ ПРИЛАДІВ ВІД ДІЇ ЗОВНІШНІХ ФАКТОРІВ.....	96
3.1. Загальні принципи компоновання оптичних приладів.....	96
3.2. Приклади конструкцій приладів, побудованих на типових оптичних схемах	102
3.3. Захист оптичних приладів від теплової дії	110
3.4. Герметизація та екранування оптичних приладів	116
3.5. Захист оптичних приладів від вібрацій	122
Контрольні запитання.....	125
РОЗДІЛ 4	127
КРЕСЛЕННЯ ОПТИЧНИХ СХЕМ І ДЕТАЛЕЙ.....	127
4.1. Правила позначення оптичних елементів і осей	127

4.2. Розміри оптичних елементів та характеристики матеріалу	133
4.3. Оптичні складальні вузли і оптичні схеми	139
4.4. Дефекти матеріалу.....	144
4.5. Допуски на форму поверхні	155
4.6. Допуски на центрування.....	158
4.7. Допуски на дефекти поверхні	167
4.8. Текстура поверхні	174
4.9. Поверхнева обробка й покриття	178
4.10. Асферичні поверхні.....	186
Контрольні запитання.....	191
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	193

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АП	– асферична поверхня
БВ	– базова вісь
БЕ	– базовий елемент
ГСТ	– Галузевий стандарт
ДМ	– дефект матеріалу
ДП	– дефект поверхні
ДПС	– дзеркально-призмена система
ДСТУ	– Державний стандарт України
КД	– кутове дзеркало
МС	– міжнародний стандарт
ОВ	– оптична вісь
ОП	– оптичний прилад
ОЕП	– оптико-електронний прилад
ПВВ	– повне внутрішнє відбиття
ППП	– плоскопаралельна пластинка
ПС	– проекційна система
СМ	– система мікроскопа
ТП	– текстура поверхні
ТС	– телескопічна система

ВСТУП

Конструювання — процес створення конструктором проекту певного об'єкта техніки, що полягає у визначенні форми, розмірів, взаємного розташування й параметрів частин й елементів конструкції об'єкта, його складових, способу їхнього з'єднання, вибору матеріалів окремих елементів та розробки конструкторської документації.

Друга частина підручника «Розрахунок і конструювання оптичних приладів» охоплює певний перелік питань, пов'язаних з процесом конструювання. В першу чергу це габаритний розрахунок оптичних схем приладів, побудованих на типових схемах: телескопічній, мікроскопа та проекційній. В багатьох випадках ці прилади використовують як первинні датчики для автоматизованих систем спостереження, вимірювання, військової техніки, керування технологічними процесами і т. ін.

При конструюванні треба враховувати принцип конструктивного наступництва – тобто використання при проектуванні попереднього досвіду приладобудування оптичного профілю, шляхом введення в прилад, що проектується, всього корисного, що є в існуючих конструкціях. Кожний сучасний оптичний або оптико-електронний прилад – це результат роботи конструкторів декількох поколінь. Початкову модель приладу поступово вдосконалюють, доповнюють новими вузлами, збагачують новими технічними рішеннями, що є наслідком творчих зусиль і винахідництва попередніх поколінь конструкторів. Деякі конструктивні рішення відмирають, деякі залишаються і зберігаються довгий час в тому чи іншому вигляді, який їм дали конструктори.. В зв'язку з цим в підручнику наведено багато прикладів конструкцій типових функціональних вузлів оптичних приладів, якими може скористатись конструктор при розробці нових конструкторських завдань.

Найбільш неформалізованою частиною конструювання є компоновання, яке звичайно відбувається у два етапи: ескізного й робочого. В ескізній

компоновці розробляють основну схему й загальну конструкцію приладу (інколи декілька варіантів). На основі аналізу ескізної компоновки складають робочу компоновку, що уточнює конструкцію приладу й слугує вихідним матеріалом для подальшого проектування. Компонування необхідно починати з вирішення таких головних питань:

- а) розробці раціональної оптичної схеми;
- б) визначення правильного розміру і форми деталей;
- в) визначення найбільш вигідного взаємного розташування деталей і вузлів.

В цьому розділі підручника розглядаються питання конструювання оптичних приладів з урахуванням їх захисту від дії зовнішніх факторів.

В зв'язку з приєднанням України до міжнародної системи стандартизації у підручнику розглянуті вимоги до оформлення креслень оптичних схем і оптичних деталей на основі міжнародного стандарту ISO 10110, що був розроблений Технічним Комітетом ISO/TC172, Optics and optical instruments «Оптика й оптичні прилади», Підкомітетом SC1, Fundamental standards «Основні стандарти». Метою цього стандарту є створення універсальних креслень, що є зрозумілими для усіх користувачів, і вимог, як основи для міжнародного виробництва й контролю оптичної продукції виробленої в усьому світі.

Нині бракує літератури з прикладного конструювання оптичних приладів. Найбільше відомі: «Довідник конструктора оптико-механічних приладів» [1], «Довідник оптика-технолога» [2], підручники і навчальні посібники з конструювання оптичних приладів [3 – 9]. Вказані видання носять рецептурний характер і не є узагальнюючими, не завжди в повному обсязі містять питання пов'язані з конструюванням точних оптичних приладів.

Перша і друга частини підручника «Розрахунок і конструювання оптичних приладів» доповнюють існуючі видання і будуть корисними для студентів оптичної спеціалізації.

РОЗДІЛ 1

ГАБАРИТНІ РОЗРАХУНКИ ОПТИЧНИХ СХЕМ ПРИЛАДІВ, ПОБУДОВАНИХ НА ВИКОРИСТАННІ ТИПОВИХ СИСТЕМ

1.1. Габаритний розрахунок оптичної системи приладів, побудованих на використанні телескопічної оптичної системи

Зорові труби Кеплера і Галілея є класичними представниками телескопічних систем (ТС) оптичних приладів. Основна властивість ТС полягає в тому, що пучок паралельних променів, що потрапляють у вхідну зіницю системи, виходить через вихідну зіницю також пучком паралельних променів. Її називають афокальною, оскільки фокусна відстань $f'_{екв}$ ТС дорівнює нескінченності:

$$f'_{екв} = -\frac{f'_1 \cdot f'_2}{\Delta},$$

де f'_1 і f'_2 – фокусні відстані першого і другого компонентів; Δ – оптичний інтервал.

При $\Delta = 0$ отримаємо $f'_{екв} = \infty$.

Для такої системи збільшення (видиме, кутове і лінійне в зіницях) є постійними. Збільшення зв'язані один з одним залежністю:

$$\Gamma_T = \gamma = \frac{1}{\beta} = \frac{D}{D'} = \frac{tg\omega'}{tg\omega} = \frac{f'_{об}}{f'_{ок}},$$

де Γ_T – видиме збільшення телескопічної системи; γ – кутове збільшення; β – лінійне збільшення в зіницях; D – діаметр вхідної зіниці; D' – діаметр вихідної зіниці; ω – кутове поле в просторі предметів; ω' – кутове поле в просторі зображення; $f'_{об}$ – фокусна відстань об'єктива; $f'_{ок}$ – фокусна відстань окуляра.

Кутове поле зору телескопічної системи залежить від конструкції об'єктива і окуляра. При цьому найбільше кутове поле зору в просторі предметів ω визначається максимально можливим кутовим полем зору окуляра ω' , що є більш складним елементом системи.

При виборі окуляра слід керуватися вимогами, що пред'являються до приладу. Найбільш часто окуляри мають поле зору $30 - 70^\circ$, в межах якого окуляри дають добру якість зображення. Для фокусних відстаней окулярів встановлений нормальний ряд: 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50 мм.

Сітка має знаходитися в передній фокальній площині окуляра і бути оберненою штрихами до окуляра для виключення паралакса.

Об'єктив вибирають залежно від збільшення системи, поля зору, світлосили і розмірів приладу.

Розрахунок рекомендується виконувати разом з графічною побудовою ходу променів (рис. 1.1) в такій послідовності [4]:

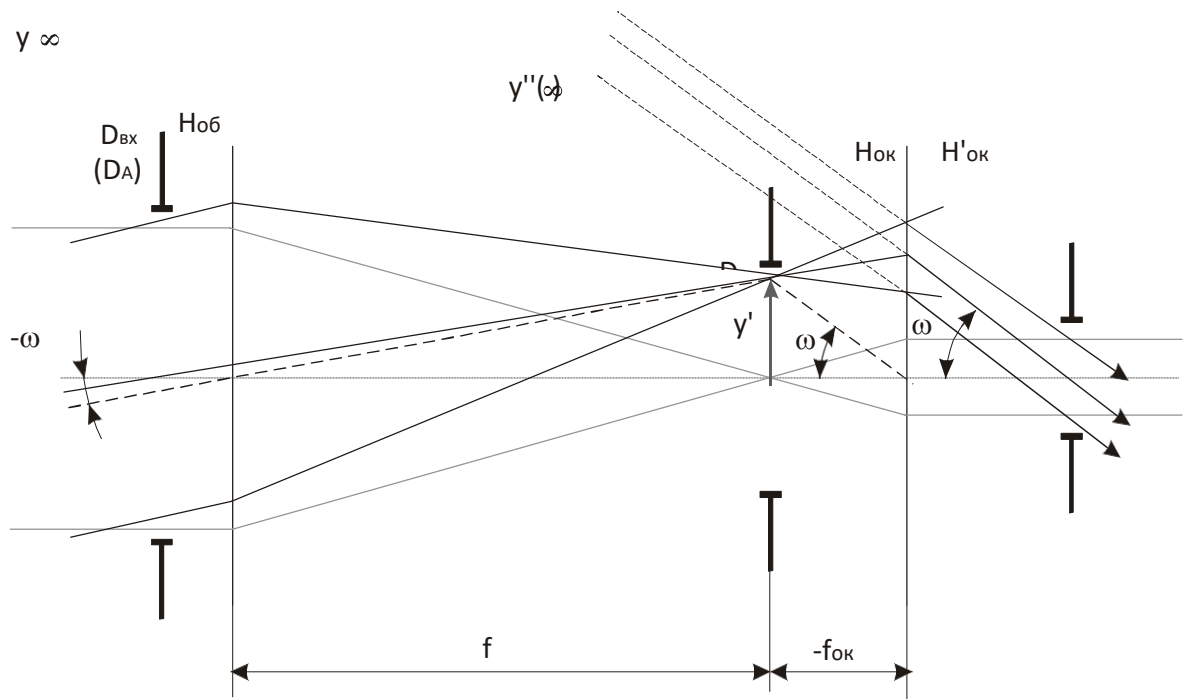
- а) розрахувати і вибрати окуляр;
- б) розрахувати і вибрати об'єктив;
- в) визначити світлові діаметри об'єктива і окуляра;
- г) побудувати хід головних променів;
- д) розрахувати сітку;
- е) розрахувати призму або систему призм, дзеркала і інші плоскі деталі;
- ж) накреслити принципову оптичну схему.

При вказаних вихідних даних розрахунок слід вести з боку окуляра, тобто визначити його кутове поле ω' і фокусну відстань $f'_{ок}$:

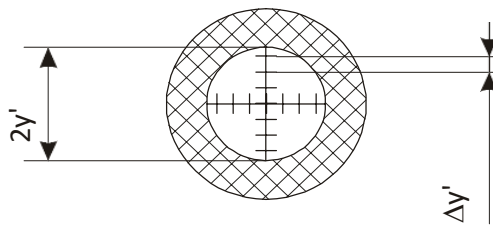
$$tg\omega' = \Gamma_T \cdot tg\omega. \quad (1.1)$$

Фокусну відстань окуляра визначають з умови достатнього видалення вихідної зіниці S'_p . При цьому потрібно мати на увазі, що в телескопічних системах $S'_p \approx S'_F$. Відомо, що для окуляра Кельнера існують залежності:

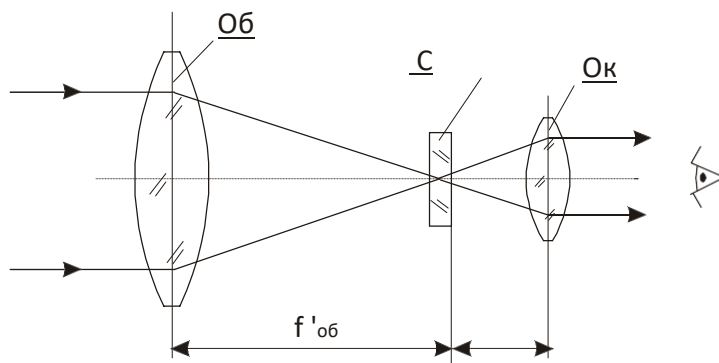
$$S'_{F'} = 0.4 \cdot f'_{ок}; \quad S'_{p'} = S'_{F'} + Z'_{p'}.$$



а)



б)



в)

Рис. 1.1. Зорова труба Кеплера:

а – хід променів; б – вид на сітку; в – оптична схема

Для симетричного окуляра залежності такі:

$$S'_{F'} \approx S'_{P'} \approx 0.75 \cdot f'_{ок}. \quad (1.2)$$

З цих співвідношень визначають $f'_{ок}$ в першому наближенні і округлюють його значення до найближчого стандартного з нормального ряду. За отриманими даними вибирають окуляр.

Характеристики об'єктива визначають за формулами:

$$f'_{об} = -\Gamma_T \cdot f'_{ок}; \quad D = -\Gamma_T \cdot D'; \quad D/f'_{об} = D'/f'_{ок}. \quad (1.3)$$

Істотне значення має положення вхідної зіниці відносно об'єктива. Якщо вхідна зіниця збігається з оправою об'єктива, то $S_p = f'_{об}$. Якщо вхідна зіниця не збігається з оправою об'єктива, то слід вибрати об'єктив з винесеною вхідною зіницею. В цьому випадку S_p заздалегідь потрібно розрахувати. Після цього за отриманими даними вибирають об'єктив. Якщо вибраний об'єктив відрізняється своїми параметрами від розрахункового, то його конструктивні параметри необхідно перерахувати через коефіцієнт перерахунку $K_{пер}$.

Для визначення світлових діаметрів системи з двох компонентів, розташованих на відстані d , необхідно знати положення їх головних фокусів і головних площин. Якщо вхідна зіниця співпадає з оправою об'єктива, то його світловий діаметр D_{ex} дорівнює $D_{об}$. Для визначення світлового діаметра окуляра потрібно розрахувати хід апертурного променя, падаючого на край вхідної зіниці, коли $h_1 = -D/2$, і двох польових променів, що проходять через верхній і нижній краї вхідної зіниці, тобто $m = \pm D/2$.

Розрахунок висот h_{i+1} і кутів α_{i+1} у системі проводять за допомогою формул довільного променя:

$$h_{i+1} = h_i - d_i \cdot \operatorname{tg} \alpha_{i+1}; \quad (1.4)$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{i+1} = \operatorname{tg} \alpha_i + h_i / f'_i,$$

де i – порядковий номер величини.

Якщо задано віньєтування, то світлові діаметри перераховують з врахуванням коефіцієнта віньєтування. При незаданому віньєтуванні його

значення визначається розрахунком. Для цього уточнюють видалення вихідної зіниці і розраховують висоту h_2 в зворотньому ході променів. Положення вихідної зіниці відносно заднього фокусу окуляра дорівнює:

$$Z'_{p'} = Z_p / \Gamma_T^2. \quad (1.5)$$

Тоді віддалення вихідної зіниці $S'_{p'}$ і відстань від задньої головної площини окуляра до вихідної зіниці $a'_{p'}$ дорівнюють:

$$S'_{p'} = S'_{F'} + Z'_{p'}; \quad a'_{p'} = S'_{p'} + S'_{H'}. \quad (1.6)$$

Звідси висота $h_2 = a'_{p'} \cdot \operatorname{tg} \omega'$ і світловий діаметр окуляра $D_{CB,OK} = 2h_2$. Вільєтування B визначається як різниця між розрахунковим і таким, що діє, світловими діаметрами окуляра. Як правило, воно визначається у відсотках:

$$B = \frac{D_{CB,OK} - D_{CB,OK,Д}}{D_{CB,OK}} 100 \%. \quad (1.7)$$

У зорових трубах можливе вільєтування до 60 – 70 %. В цьому випадку світловий діаметр окуляра необхідно перерахувати, помноживши його на коефіцієнт вільєтування.

За розрахованими даними виконують побудову ходу променів в оптичній схемі (рис. 1.1, а).

Розрахунок сітки виконують, виходячи з тієї умови, що її діаметр D_{C1} дорівнює діаметру польової діафрагми $D_{ПД}$:

$$D_{C1} = D_{ПД} = 2 \cdot f'_{оо} \cdot \operatorname{tg} \omega. \quad (1.8)$$

Цю величину необхідно перевірити через поле зору окуляра:

$$D_{C2} = 2 \cdot f'_{ок} \cdot \operatorname{tg} \omega'. \quad (1.9)$$

Причому діаметр D_{C2} має бути більше або дорівнювати D_{C1} , інакше станеться те, що поле зору буде зрізане окуляром, як це показано на рис. 1.3, а. Товщину сітки вибирають із довідника конструктора [1]. Подовження, що вноситься сіткою Δd_c , дорівнює:

$$\Delta d_c = \frac{n-1}{n} \cdot d_c. \quad (1.10)$$

Якщо задана кутова ціна ділення сітки ω_N то ціну ділення в лінійній мірі y_N розраховують по формулі:

$$y_N = f'_{об} \operatorname{tg} \omega_N.$$

Для зручності відліку за шкалою або барабаном гвинтового механізму величину y_N округлюють до цілого значення. Наприклад, якщо $y_N = 0,01$ мм, $f'_{об} = 500$ мм, то в кутовій мірі $\omega_N = 4''$. Товщину штриха t сітки визначають через збільшення окуляра $f'_{ок}/250$ і роздільну здатність ока в лінійній мірі:

$$t = \frac{0.1 \cdot f'_{ок}}{250} = 4 \cdot 10^{-4} \cdot f'_{ок}.$$

З технологічних міркувань товщину штриха менше 0,01 мм брати не рекомендується. Для підвищення точності наведення на штрих або перехрестя часто використовують бисектор на сітці у вигляді двох паралельних штрихів з відстанню між ними, що дорівнює $(2 - 3) t$.

Якщо необхідно розрахувати призмену обертаючу систему, то розміри призми і її положення визначають графоаналітичним методом [4]. При цьому призма замінюється еквівалентною плоскопаралельною пластинкою, приведеною до повітря (редукваною призмою). Заломлення на редукованій призмі не враховується при визначенні габаритних розмірів і побудові ходу променів у системі. Після розрахунку будують оптичну схему (рис. 1.3, в).

Окрім цього часто потрібно розрахувати роздільну здатність системи (теоретичну і реальну), що дорівнюють:

$$\psi_{теор.} = 140''/D; \quad \psi_{реальн.} = 120''/D.$$

Розглянемо приклад габаритного розрахунку монокуляру, побудованого на використанні телескопічної системи. Для розрахунку приймемо такі вихідні дані:

- збільшення $\Gamma_m = 12^{\times}$;
- кутове поле зору $2\omega = 3^{\circ}$;

- діаметр вхідної зіниці $D = 48$ мм;
- віддалення вихідної зіниці $S'_{p'} \approx 18$ мм;
- діоптрійне пересування окуляра ± 5 дптр;
- оберտальна призма АкР-60°.

Монокуляр являє собою прилад для спостереження, в основу якого покладена зорова труба Кеплера. Вона включає об'єктив і додатній окуляр. Це значить, що збільшення монокуляра від'ємне, тобто $\Gamma_m < 0$. Призма, що введена в оптичну схему, має подвійне призначення. Вона використовується для зламів оптичної осі на 60° і є обертальною системою. Збільшення призменої обертальної системи від'ємне, тобто $\beta = -1^x$. Це означає, що для отримання повного обертання (по двом координатам) необхідно використовувати призму з непарним числом відбиваючих граней і з дахом. З цих міркувань вибираємо призму АкР-60°. Призма виготовляється із скла БК 10 і має параметри: $a = D$; $C = 2D$; $h = 1,094D$; $l = \kappa D = 2,646D$, де a – розмір вхідної 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 призменою обертальною системою є додатнім. Габаритний розрахунок монокуляра проводиться без урахування призми, тобто для збільшення $\Gamma_m = -12^x$.

Визначаємо оптичні характеристики окуляра і об'єктива і вибираємо їх з каталогу[4].

Вибір окуляра. Визначимо кутове поле зору окуляра за формулою (1.1):

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

Такий кут мають симетричний окуляр і окуляр Кельнера. Вибираємо симетричний окуляр, тому що у нього найбільший задній відрізок $S'_{f'}$. Його фокусну відстань визначаємо за формулою (1.2) $S'_{f'} \approx S'_{p'} \approx 0,75 f'_{ок}$. Звідси: $f'_{ок} = S'_{p'}/0,75 = 18/0,75 = 24$ мм. За отриманими даними вибираємо симетричний

окуляр з оптичними характеристиками: $f'_{ок} = 25 \text{ мм}$; $2\omega' = 40^\circ$; $S_f = -18,9 \text{ мм}$; $S'_{f'} = 18,9 \text{ мм}$. Його конструктивні параметри приведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Конструктивні параметри симетричного окуляра

Радіус поверхні r , мм	Відстань вздовж осі d , мм	Світловий діаметр $D_{св.}$, мм
68,6	1,5	22
21,0	7,5	22
-30,8	0,1	—
30,6	7,5	22
-21,0	1,5	22
-68,6		

Ескіз оптичної схеми окуляра показаний на рис. 1.2.

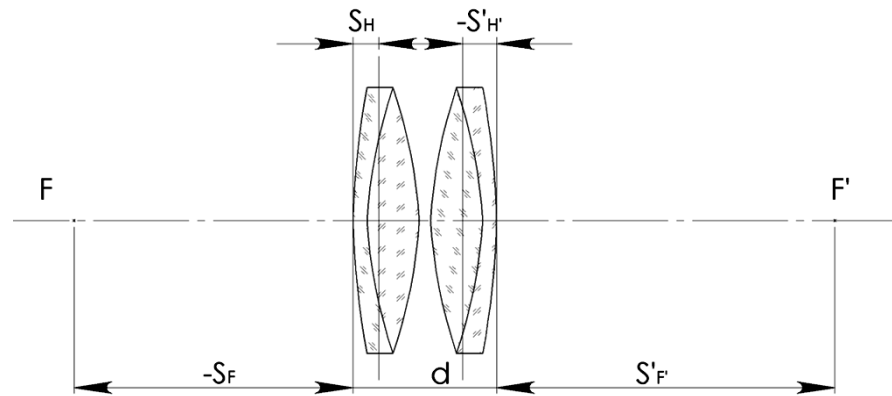


Рис. 1.2. Схема симетричного окуляра

Вершині відрізки окуляра дорівнюють:

$$S_H = S_f - f'_{ок} = -18,9 - (-25) = 6,1 \text{ мм};$$

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

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

Вибір об'єктива. Відомо, що: $\Gamma_m = -12^x$; $D = 48$ мм; $f'_{ok} = 25$ мм.

Визначимо фокусну відстань і відносний отвір об'єктива, скориставшись формулою (1.3):

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

$$D / f'_{об} = 48 / 300 = 1 / 6,25.$$

За отриманими даними вибираємо з каталогу об'єктив з фокусною відстанню $f'_{кат.} = 320$ мм [4]. Конструктивні параметри цього об'єктива приведені в табл. 1.2. Оптичні характеристики вибраного об'єктива відрізняються від визначених характеристик розрахованого об'єктива. Потрібне перерахування конструктивних параметрів через коефіцієнт перерахування за формулою $K_{пер.} = \frac{f'_{роз}}{f'_{кат}} = 300 / 320 = 0,937$.

Таблиця 1.2

Конструктивні параметри об'єктива з каталогу

Радіус поверхні r , мм	Відстань вздовж осі d , мм	Світловий діаметр $D_{св.}$, мм
110,4	9,8	54,0
– 120,6	3,2	54,0
– 859,0		

Після перерахування отримуємо об'єктив з такими характеристиками: $f'_{об} = 300$ мм; відносний отвір $1/6$; $S_F = -299,6$ мм; $S'_{F'} = 296,9$ мм. Його конструктивні параметри приведені в табл. 1.3.

Вершинні відрізки об'єктива дорівнюють:

$$S_H = S_F - f_{об} = -299,6 + 300 = 0,4 \text{ мм};$$

$$S'_{H'} = S'_{F'} - f'_{об} = 296,9 - 300 = -3,1 \text{ мм}.$$

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

Таблиця 1.3

Конструктивні параметри об'єктива після перерахунку

Радіус поверхні r , мм	Відстань вздовж осі d , мм	Світловий діаметр $D_{св.}$, мм
103,5	9,8	50,0
– 112,9	3,2	50,0
– 804,8		

Ескіз оптичної схеми об'єктива приведений на рис. 1.3.

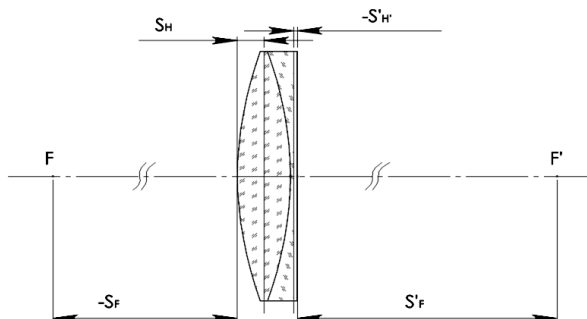


Рис. 1.3. Схема об'єктива

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

Для визначення світлового діаметра окуляра визначимо шлях апертурного променя, який проходить через край вхідної зіниці, коли $h_1 = -D/2 = -24$ мм і двох польових променів, що проходять через верхній та нижній край вхідної зіниці, тобто при $m = \pm 24$ мм. Розрахунок висоти h_{i+1} та кута α_{i+1} ведемо, скориставшись формулами довільного променя.

Для даних параметрів за формулою (1.4) маємо:

$$h_1 = -24 \text{ мм}; \quad \alpha_1 = -\omega;$$

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \operatorname{tg}(-1,5) = -0,02618;$$

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

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \operatorname{tg}(-\omega) + \frac{h_1}{f'_{об}} = -0,02618 + \frac{(-24)}{300} = -0,10618;$$

$$h_2 = h_1 - d \operatorname{tg} \alpha_2 = -24 - 325 (-0,10618) = 10,5 \text{ мм.}$$

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

Уточнимо віддалення вихідної зіниці. З формул (1.5) і (1.6) 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.

Визначимо параметри сітки, скориставшись формулою (1.8). Світловий діаметр сітки D_c дорівнює діаметру польової діафрагми $D_{пд} = D_c = 2 \cdot 300 \cdot 0,2618 = 15,7 \text{ мм.}$ Прийmemo $D_c = 16 \text{ мм.}$ Перевіримо отриманий результат через поле зору окуляра:

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

Це свідчить про те, що поле зору окуляра має деякий запас і не зрізає зображення сітки. Товщина сітки дорівнює $d_c = 1,5 \pm 0,2 \text{ мм.}$ В якості матеріала сітки беремо скло БК 10. Подовження, що вноситься сіткою Δd_c , розрахуємо підставивши в формулу (1.6) вихідні дані:

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

Щоб визначити, чи має місце віньєтування, і яка його величина, уточнимо висоту в зворотньому ході променів. Відомо, що $a'_{p'} = 27,08 \text{ мм.}$ Тоді $h_2 = a'_{p'} \operatorname{tg} \omega' = 27,08 \cdot 0,36397 = 9,8 \text{ мм.}$ Звідси діючий світловий діаметр окуляра $D_{св.ок.} = 2h_2 = 19,6 \text{ мм.}$ Це означає, що віньєтування існує і частина похилих пучків по краю поля зрізається. Віньєтування з урахуванням формули (1.7) складає:

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

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

Для визначення розмірів призми і її положення використовуємо графо-аналітичний метод (див. рис. 1.4).

При $D > D_{пд}$ половину кута конуса між ними σ знайдемо з формули:

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

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

$$l \geq 0,01 f'^2_{\text{ок}} \geq 0,01 \cdot 25^2 \geq 6,25 \text{ мм.}$$

Прийmemo $l = 10 \text{ мм.}$

Знайдемо світловий діаметр D_2 вихідної грані призми за формулою:

$$D_2 = D_{\text{ПД}} + 2 l \operatorname{tg} \sigma = 16 + 2 \cdot 10 \cdot 0,0533 = 17,0 \text{ мм.}$$

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

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{n}{2\kappa} = \frac{1,5713}{2 \cdot 2,64} = 0,279; \gamma = 16,8^\circ,$$

де n – показник заломлення матеріалу призми; κ – коефіцієнт призми.

Кут γ вводиться в побудову ходу променів таким чином. На відстані $l = 10 \text{ мм}$ від сітки проводять слід вихідної грані призми. З точки перетину її з оптичною віссю проводять пряму під кутом $\gamma = 16,8^\circ$. Знаходять точку перетину цієї прямої з верхньою похилою прямою. Через неї проводять слід вихідної грані призми.

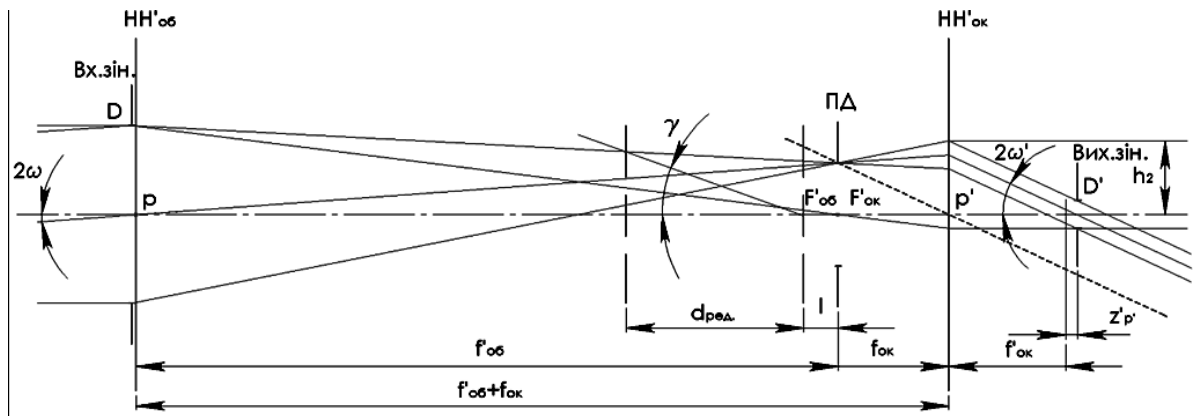


Рис. 1.4. Схема розташування елементів в монокулярі

Відстань від вхідної до вихідної граней призми вимірюється лінійкою і є редукованою товщиною розгортки призми. В даному випадку ця товщина дорівнює $d_{ред.} = 36$ мм. Звідси, довжина оптичної розгортки призми d_{np} дорівнює:

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

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

Подовження, що вноситься призмою, знайдемо за формулою (1.6):

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

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

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

Будуємо габаритну схему монокуляра, як це показано на рис. 1.5.

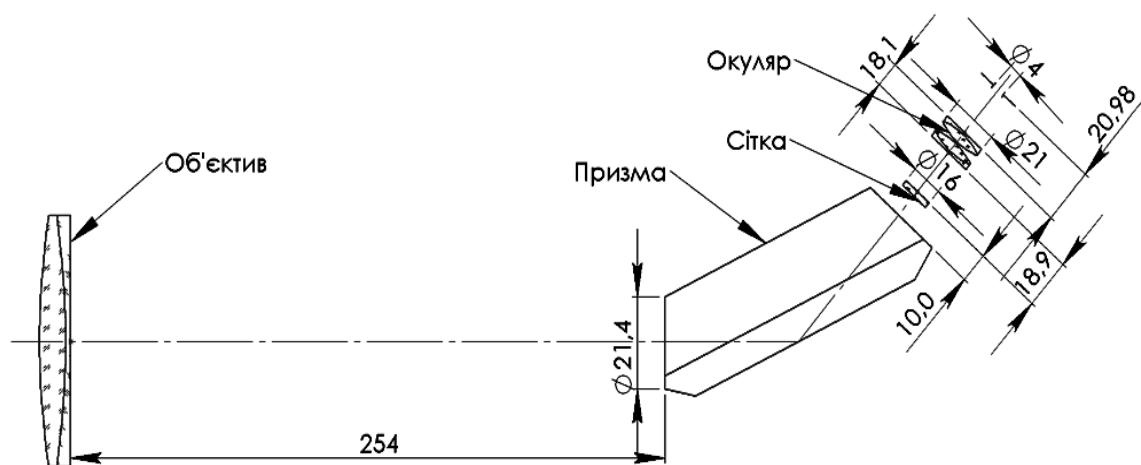


Рис. 1.5. Габаритна схема монокуляра

В телескопічних приладах використовують лінзові і призмені обертаючі системи. Призмена обертаюча система не тільки повертає на 180° зображення, але й виконує заломлення або паралельне зміщення оптичної осі. Злом осі на 45° і 90° необхідний для зручності спостереження предметів, які знаходяться в зеніті, або близько до зеніту. Таку характеристику мають призми АкР- 90° та Шмідта.

Паралельний зсув оптичної осі в призмах Лемана, Порро 1-го роду і 2-го роду використовується для розширення міжосьової відстані між об'єктивами, якщо два монокуляра об'єднують в один оптичний прилад. Призми Аббе або Пехана використовують, коли необхідно мати об'єктив і окуляр на одній осі.

Наведемо декілька прикладів. На рис. 1.6 показана схема монокуляра з обертаючою системою Порро 1-го роду в паралельному ході променів.



Рис. 1.6. Монокуляр з обертаючою системою Порро 1-го роду в паралельному ході променів:

1 – окуляр; 2 – сітка; 3 – об'єктив; 4 – призма обертаюча система

На рис. 1.7 показана схема монокуляра з призмою Пк-0°.

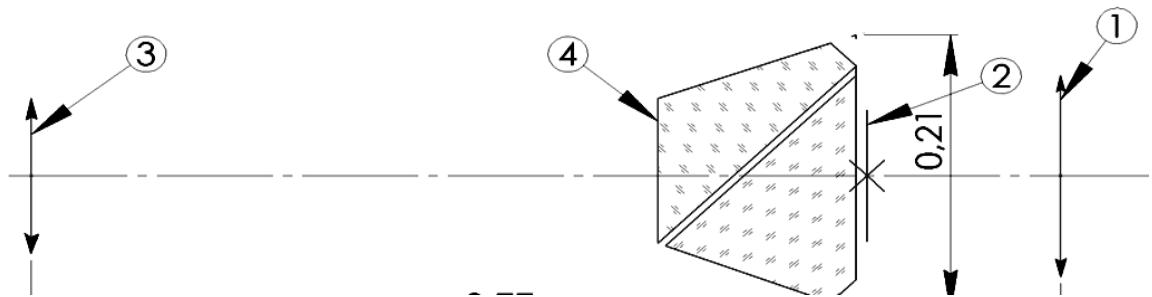


Рис. 1.7. Схема монокуляра з використанням призми Пк-0°:

1 – окуляр; 2 – сітка; 3 – об'єктив; 4 – призма Пк-0°

Обертаючі системи сприяють скороченню оптичної відстані в зорових трубах, за рахунок зломів.

Оптична схема монокуляра змінного збільшення $3 - 9^x$ з лінзовою обертаючою системою показана на рис. 1.8. На схемі позначені такі елементи: 1 – фокусуючий об'єктив, що складається з трьох лінз, дві з яких склеєні;

2 – звужуючий колектив; 3 – обертаюча система, що формує пряме зображення в передній фокальній площині окуляра 4.

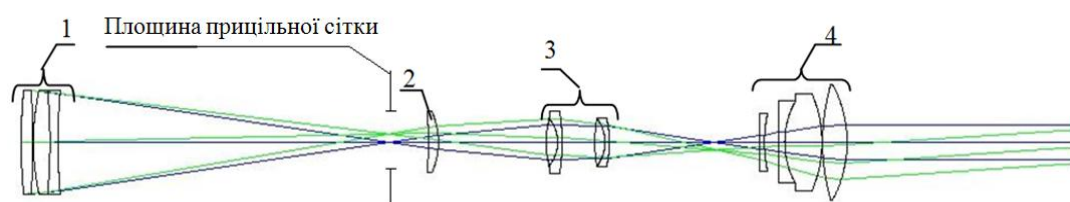


Рис. 1.8. Оптична схема монокуляра з лінзовою обертаючою системою

Основні характеристики цієї системи приведені в табл. 1.4.

Таблиця 1.4

Характеристики монокуляра з лінзовою обертаючою системою

Видиме збільшення, Γ	3,01 ^x	8,99 ^x
Поле зору, 2ω	7°30'	2°30'
Діаметр вхідної зіниці, мм	34,6	38
Діаметр вихідної зіниці, мм	11,6	4,2
Віддалення вихідної зіниці, мм	78	80

1.2. Габаритний розрахунок оптичної системи приладів, побудованих на використанні оптичної системи мікроскопа

Мікроскоп один з самих розповсюджених оптичних приладів, призначених для спостереження близько розташованих предметів з великим збільшенням і великою роздільною здатністю. Він складається з об'єктива і окуляра, які створюють оптичну схему з двома рівнями збільшення (рис. 1.9, а). Предмет u знаходиться перед об'єктивом на відстані, декілька більшому його фокусної відстані. Об'єктив створює дійсне збільшене перевернуте проміжне зображення u' в передній фокальній площині окуляра. Окуляр працює подібно до лупи, для якої зображення u' є предметом. В результаті окуляр дає збільшене зображення предмета в нескінченності. Якщо в передній фокальній площині

окуляра (у площині y') встановлена сітка з шкалою, то мікроскоп є відліковим або вимірювальним.

Проміжне зображення y' може знаходитися не у фокальній площині окуляра, а поруч з нею (за фокусом $f_{ок}$). Тоді окуляр будує зображення y' на кінцевій відстані, більшій, або такій, що дорівнює відстані найкращого бачення ($L_o = 250$ мм). Це відповідає оптичній схемі спостережувального мікроскопа.

Зупинимось детальніше на відліковому мікроскопі. Для відлікових мікроскопів малого збільшення ($10 - 50^x$) оптичний інтервал Δ не регламентується і, як правило, менше 160 мм. Як об'єктиви застосовують прості дволінзові об'єктиви із збільшенням менше 8^x . Як окуляр використовують окуляри Гюйгенса, Кельнера, Рамсдена і компенсаційний. Якщо використовується окуляр Гюйгенса, в якого точка переднього фокусу знаходиться між колективною і очною лінзами, то в розрахунках під збільшенням β слід розуміти величину $\beta = \beta_{об} \beta_{к}$, де $\beta_{к}$ – лінійне збільшення колективної лінзи.

Основними оптичними характеристиками мікроскопа є його видиме збільшення Γ_M , лінійне поле $2y$ і числова апертура A .

Видиме збільшення мікроскопа визначають за формулою:

$$\Gamma_M = \beta_{об} \Gamma_{ок} = -\Delta / f'_{об} 250 / f'_{ок}, \quad (1.9)$$

де $\beta_{об} = -\Delta / f'_{об}$ – лінійне збільшення об'єктива; $\Gamma_{ок} = 250 / f'_{ок}$ – видиме збільшення окуляра; Δ – оптичний інтервал мікроскопа.

Лінійне поле мікроскопа обмежується діаметром польової діафрагми D_n , розташованої в передній фокальній площині окуляра, де будується проміжне зображення предмета $2y'$:

$$y' = y \beta_{об}. \quad (1.10)$$

З боку окуляра діаметр D_n залежить від оптичних характеристик окуляра:

$$y' = f'_{ок} \operatorname{tg} \omega'. \quad (1.11)$$

Прирівнюючи вирази (1.10) і (1.11), отримаємо $y \beta_{об} = f'_{ок} \operatorname{tg} \omega'$, звідки:

$$y = f'_{ок} \operatorname{tg} \omega' / \beta_{об}. \quad (1.12)$$

З формули видимого збільшення мікроскопа (1.9) збільшення об'єктива дорівнює:

$$\beta_{об} = f'_{ок} \Gamma_M / 250. \quad (1.13)$$

Підставивши отриманий вираз у формулу (1.12), отримаємо лінійне поле зору мікроскопа:

$$2y = 500 \operatorname{tg} \omega / \Gamma_M. \quad (1.14)$$

Числова апертура A характеризує світлосилу і впливає на роздільну здатність мікроскопа:

$$A = n \sin \sigma_A, \quad (1.15)$$

де σ_A – апертурний кут; n – показник заломлення середовища, в якому знаходиться предмет.

Скористаємося формулою:

$$D'' = 2 f'_{ок} \sin \sigma_A'. \quad (1.16)$$

Знайдемо залежність між числовою апертурою A , діаметром вихідної зіниці D' і видимим збільшенням мікроскопа Γ_M . При $n = 1$ маємо:

$$D'' = 500 A / \Gamma_M.$$

Роздільна здатність мікроскопа δ залежить від способу освітлення, довжини хвилі і апертури об'єктива. Якщо апертура освітлювача дорівнює апертурі об'єктива, то роздільну здатність визначають за формулою:

$$\delta = \lambda / (2 A). \quad (1.17)$$

У просторі зображення отримаємо:

$$\delta' = \lambda \Gamma_M / (2 A).$$

Звідси визначають корисне збільшення мікроскопа, тобто таке збільшення, яке може бути повністю використане оком спостерігача. В цьому випадку отримаємо:

$$500 A \leq \Gamma_M \leq 1000 A. \quad (1.18)$$

Глибину різкості при спостереженні через мікроскоп Δz визначають за формулою:

$$\Delta z = 250 \varepsilon / A \Gamma_M,$$

де ε – межа розподілу ока ($\varepsilon = 2' - 4'$).

Розрахунок мікроскопа рекомендується виконувати в такій послідовності [4]: |

а) виходячи із загальних вимог і збільшення мікроскопа в цілому, слід вирішити питання про співвідношення збільшень об'єктива і окуляра, тобто розглянути можливі комбінації $\beta_{об}$ і $\Gamma_{ок}$, а потім вибрати оптимальний варіант;

б) визначити оптичні характеристики і вибрати об'єктив і окуляр з каталогу;

в) визначити оптичні параметри мікроскопа;

г) побудувати хід променів мікроскопа за розрахунковими даними;

д) накреслити габаритну оптичну схему мікроскопа;

е) на основі габаритного розрахунку розробити принципову оптичну схему, яка є частиною конструкторської документації мікроскопа.

Як наголошувалося вище, для відлікового мікроскопа при розгляді можливих комбінацій об'єктива і окуляра необхідно використовувати об'єктив із збільшенням, що не перевищує 8^x . Його апертуру можна визначити через діаметр вихідної зіниці, якщо він заданий за формулою:

$$A = \Gamma_M D'' / 500.$$

Можна скористатися умовою корисного збільшення:

$$A_{min} = \Gamma_M / 500; \quad A_{max} = \Gamma_M / 1000.$$

При збільшенні $\beta_{об}$ і апертурі A вибирають з каталога об'єктив, визначають оптичні характеристики і конструктивні параметри. При використанні стандартного об'єктива стає відомою його фокусна відстань. Тоді слід перевірити і, якщо потрібно, скорегувати розмір Δ . Корисно нагадати, що збільшення об'єктива $\beta_{об}$ – величина від'ємна, хоча в каталозі це не відмічено.

Характеристики окуляра розраховують за формулою:

$$f'_{ок} = 250 / \Gamma_{ок} = 250 \beta_{об} \cdot \Gamma_M^{-1}.$$

Знаючи граничний розмір предмета $2y$, визначають кутове поле зору окуляра:

$$\text{tg} \omega = 2y \Gamma_M / 500.$$

За розрахунковими даними вибирають з каталога окуляр, креслять його ескіз, визначають оптичні характеристики і конструктивні параметри. Послідовність вибору компонентів може бути іншою, тобто першим може бути розрахований і вибраний об'єктив, але сам розрахунок від цього не змінюється.

Оптичні параметри мікроскопа визначають, починаючи з його фокусної відстані. Положення предмета відносно переднього фокусу об'єктива розраховують по формулі Ньютона:

$$Z_{об} = -f_{об}^2 / \Delta. \quad (1.19)$$

Отримаємо відрізки:

$$-a_{об} = -f_{об} + (-z_{об}); \quad (1.20)$$

$$-S_{об} = -S_{F_{об}} + (-z_{об}).$$

Можна також скористатися формулою Гауса, звідки

$$a_{об} = \frac{(1 - \beta_{об}) f'_{об}}{\beta_{об}}. \quad (1.21)$$

Тоді маємо:

$$-S_{об} = -a_{об} - [-f_{об} - (-S_F)] = -a_{об} + f_{об} - S_F.$$

Світловий діаметр об'єктива дорівнює:

$$D_{об} = 2 |a| A. \quad (1.22)$$

Положення зображення, що створюється об'єктивом, визначається відрізками:

$$a'_{об} = f'_{об} + \Delta;$$

$$S'_{об} = a' - (f'_{об} - S'_{F'}) = a' - f'_{об} + S'_{F'}.$$

Точка зображення збігається з переднім фокусом окуляра $F_{ок}$. Лінійне поле зору мікроскопа визначають по формулі:

$$y = y' / \beta_{об},$$

де y' – лінійне поле зору окуляра.

Діаметр польової діафрагми дорівнює $D_n = 2y'$.

Якщо вхідна зіниця збігається з передньою головною площиною об'єктива, то її зображення, що створюється окуляром, буде вихідною зіницею мікроскопа. Визначаємо по формулі Ньютона відстань від заднього фокусу окуляра до вихідної зіниці z'_p :

$$z'_p = -f_{ок}^2 / z_p. \quad (1.23)$$

де z_p – відстань від переднього фокусу окуляра до вхідної зіниці.

Знаючи z'_p , можна визначити видалення вихідної зіниці S'_p :

$$S'_p = f_{ок} + z'_p.$$

Апертурний промінь йде з осьової точки предмета під апертурним кутом σ_A на край вхідної зіниці і далі в точку $F_{ок}$ до перетинання з головними площинами окуляра і за окуляром паралельно оптичній осі, визначаючи діаметр вихідної зіниці мікроскопа. У точці $F_{ок}$ апертурний промінь визначає площину зображення предмета $2y'$.

Головний промінь проводять через вершину предмета і центр вхідної зіниці і далі без заломлення до головних площин окуляра. За окуляром положення головного променя визначають методом допоміжного променя, заснованого на властивості фокальних площин. За допомогою головного променя визначається величина зображення $2y'$ і центр вихідної зіниці.

Похилі промені проводять через вершину предмета на край вхідної зіниці і далі через вершину зображення до перетинання з головними площинами окуляра. За окуляром похилі промені йдуть паралельно головному променю (рис. 1.9, в). Похилі промені визначають світлову зону мікроскопа.

В кінці габаритного розрахунку необхідно накреслити габаритну схему мікроскопа. Для цього використовують усі розрахункові дані, оптичні характеристики і конструктивні параметри вибраних компонентів. На оптичній осі послідовно розташовують об'єктив, сітку, окуляр і проставляють необхідні розміри.

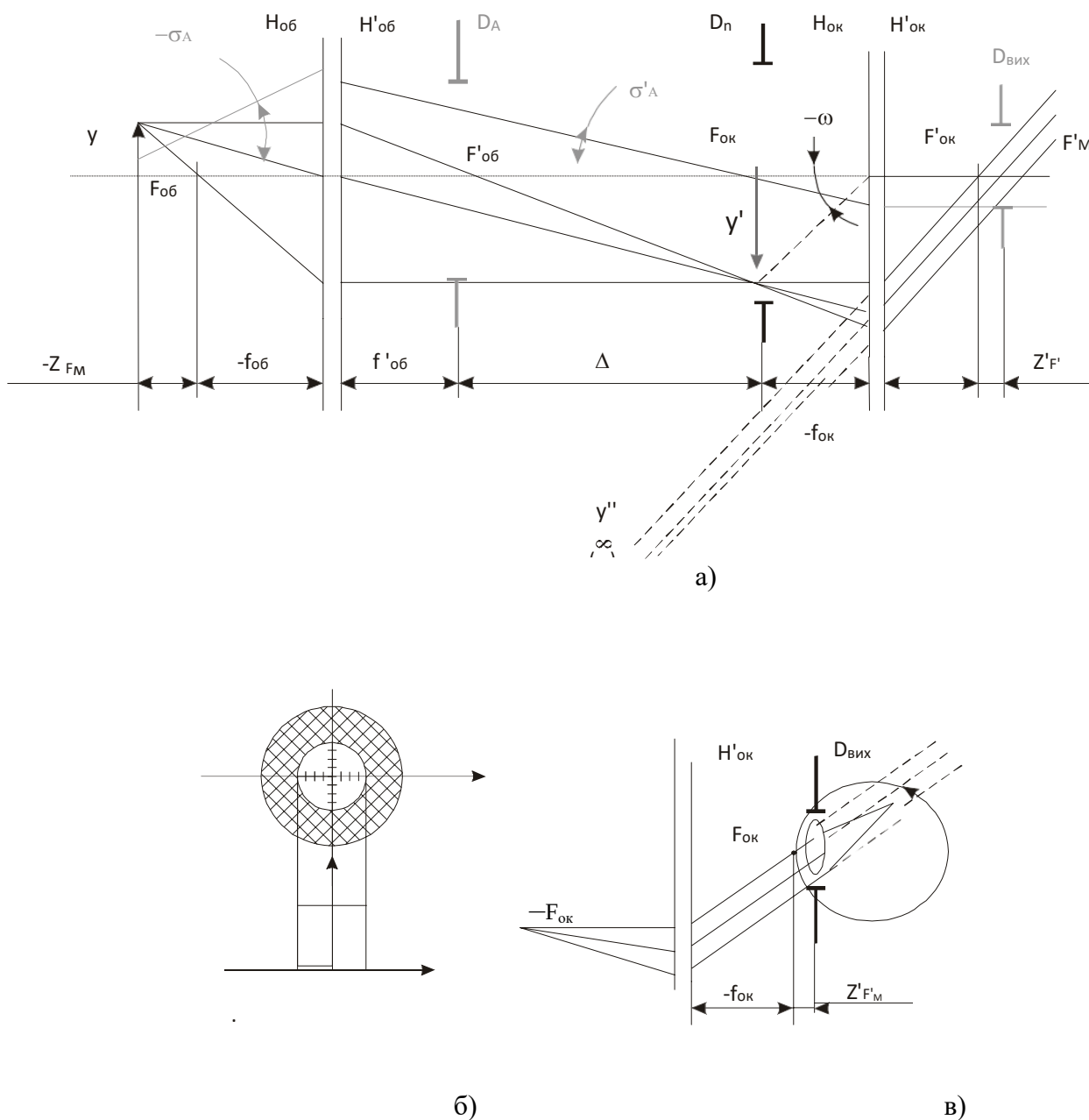


Рис. 1.9. Відліковий мікроскоп:

а – хід променів; б – вид на сітку; в – хід променів за окуляром

В якості мікрометрів у відлікових мікроскопах використовують механічні і оптичні пристрої. Оптичний мікрометр – це вимірювальний пристрій з оптичними елементами, зміна положення яких приводить до відповідної зміни положення зображення штрихів лімба (лінійної шкали) відносно нуль-punkту мікрометра. В якості елемента оптичного мікрометра застосовуються:

- а) плоскопаралельна пластинка (ППП), що обертається;
- б) клини, що обертаються;
- в) клини, що лінійно пересуваються;
- г) лінзи, що пересуються або нахиляються.

Принцип дії і розрахунок оптичних мікрометрів приведений в [3].

Розглянемо приклад габаритного розрахунку оптичної схеми відлікового мікроскопа. В якості мікрометра у схемі використовується ППП, що обертається. Розрахунок будемо проводити у вказаній вище послідовності.

Вихідні дані для розрахунку:

- збільшення мікроскопа $\Gamma_M = -70^x$;
- збільшення окуляра $\Gamma_{ок} = 10^x$;
- оптичний інтервал мікроскопа $\Delta \approx 140$ мм;
- діапазон діоптрійної наводки ± 5 дптр.

Розташування елементів оптичної схеми мікроскопа показано на рис. 1.10. Відповідно до рис. 1.10 основна шкала 1 проектується мікрооб'єктивом 2 в площину додаткової шкали 4. ППП мікрометра 5 зсуває зображення основної шкали відносно нуль-пункту додаткової шкали. В склад мікроскопа входять окуляр 3 та вихідна зіниця 6.

Вибір об'єктива. Визначимо збільшення об'єктива за формулою (1.13):

$$\beta_{об} = -\frac{70}{10} = -7^x.$$

Із співвідношення (1.18) вибираємо апертуру мікроскопа:

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

З урахуванням (1.15) отримаємо:

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

Фокусну відстань об'єктива попередньо визначимо за формулою (1. 9):

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

Відповідно до отриманих даних, вибираємо з каталогу мікрооб'єктив з оптичними характеристиками [4]: $f'_{об} = 24,18$ мм; $S_F = -21,77$ мм; $S'_{F'} = 23,68$ мм;

$A = 0,14$; $\beta \leq 10$. Його конструктивні параметри приведені в табл. 1.4.

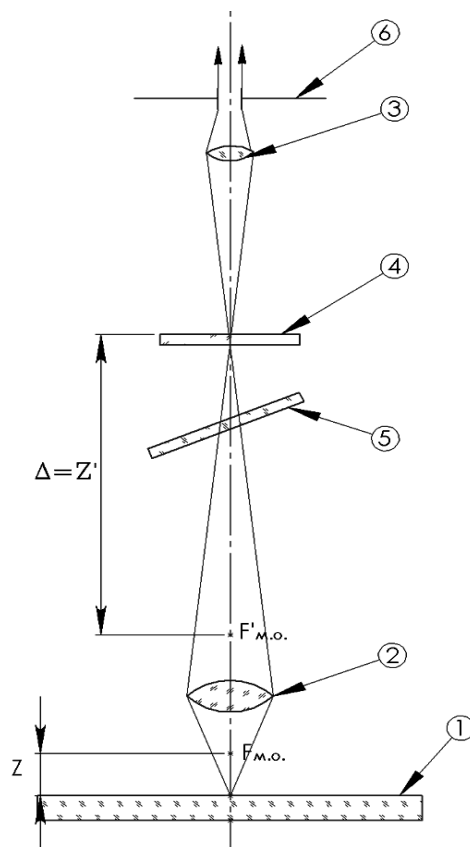


Рис. 1.10. Розташування елементів оптичної схеми відлікового мікроскопа

Вершинні відрізки об'єктива дорівнюють:

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

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

Уточнимо оптичний інтервал мікроскопа за формулою (1.9):

$$\Delta = 24,18 \cdot 7 = 168 \text{ мм}.$$

Таблиця 1.4

Конструктивні параметри мікрооб'єктива

Радіус поверхні r , мм	Відстань вздовж осі d , мм	Світловий діаметр $D_{св}$, мм
13,1	2,9	9,0
- 8,6	1,5	9,0
- 39,9		

Оптична схема мікрооб'єктива наведена на рис. 1.11.

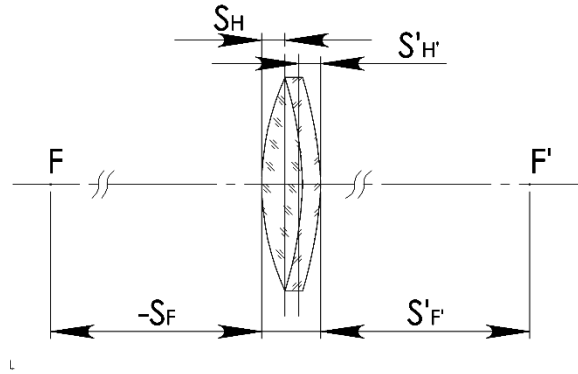


Рис. 1.11. Оптична схема мікрооб'єктива

Вибір окуляра. Визначимо фокусну відстань окуляра за формулою:

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

Із каталога вибираємо симетричний окуляр з такими характеристиками:

$$f'_{ок} = 25 \text{ мм; } 2\omega = 52^\circ; S_F = -11,2 \text{ мм; } S'_F = 11,2 \text{ мм.}$$

Його конструктивні параметри приведені в табл. 1.5.

Ескіз оптичної схеми окуляра показаний на рис. 1.12.

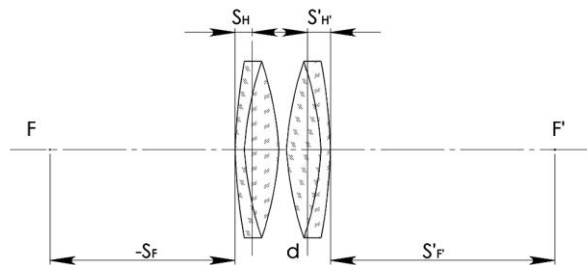


Рис. 1.12. Оптична схема окуляра

Вершинні відрізки окуляра дорівнюють:

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

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

Конструктивні параметри окуляра

Радіус поверхні r , мм	Відстань вздовж осі d , мм	Світловий діаметр $D_{св}$, мм
35,11	10,0	15
13,93	4,5	15
– 20,14	0,07	–
20,14	4,5	15
– 13,93	10,0	15
– 35,11		

Розрахуємо лінійне поле зору мікроскопа і окуляра.

Лінійне поле зору мікроскопа визначимо за формулою (1.12):

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

Лінійне поле зору окуляра знайдемо за формулою (1. 11):

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

Перевіримо його значення зі сторони окуляра:

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

Приймемо світловий діаметр сітки рівним діаметра польової діафрагми:

$$D_n = 2y' = 14,5 \text{ мм.}$$

Визначимо положення предмета відносно мікрооб'єктива, скориставшись формулою (1.19):

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

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, скориставшись формулою (1.22):

$$D_{o\delta} = 2 | a_{o\delta} | A = 2 \cdot 27,58 \cdot 0,14 = 7,7 \text{ мм.}$$

Діаметр вихідної зіниці визначимо за формулою (1. 16):

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

Віддалення вихідної зіниці визначимо за формулою (1. 23):

$$Z_p = a_{o\delta} = 24,18 + 168 = 192,18 \text{ мм.}$$

$$Z'_p = \frac{25^2}{192,18} = 3,26 \text{ мм.}$$

Знайдемо межу розділення мікроскопа за формулою (1. 17):

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

Для підвищення розділення рекомендується установити зелений або синій світлофільтр.

При установці в оптичну схему мікроскопа в якості мікрометра ППП слід зробити відповідні розрахунки і врахувати подовження оптичної системи, що вноситься ППП.

Розрахуємо основні параметри мікрометра з ППП, виходячі з таких вихідних даних:

– показник заломлення матеріалу пластинки $n = 1,5163$;

– розділення ока вдень $\rho = 10''$;

– допустима не лінійність мікрометра $\frac{\Delta x_{н/л}}{x_{лин}} = 10^{-3}$;

– зсув зображення мікрометром $x = 0,2 \text{ мм.}$

Визначимо допустимий кут повороту ППП за формулою [2]:

$$\beta_{\max} = 100 \cdot \sqrt{\frac{\Delta x}{x}}. \quad (1. 24)$$

Підставивши в (1. 24) вихідні дані, отримаємо:

$$\beta_{\max} = 100 \sqrt{10^{-3}} = 3,1^\circ.$$

Визначимо товщину ППП за формулою:

$$d = \frac{x \cdot n}{(n-1) \cdot \operatorname{tg} \beta_{\max}}. \quad (1. 25)$$

Для прийнятих вихідних даних, з (1. 25) отримаємо:

$$d = 15,5 \text{ мм.}$$

Визначимо подовження ходу променів ППП:

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

Оптичні системи мікроскопів розрізняються за їх призначенням:

- а) біологічні мікроскопи – мікроскопи, через які проходить світло, призначені для вивчення прозорих і напівпрозорих об'єктів;
- б) стереоскопічні мікроскопи – мікроскопи відбитого світла, з об'ємним зображенням, призначені для вивчення непрозорих об'єктів;
- в) металографічні мікроскопи – мікроскопи відбитого світла, освітлення походить від вбудованого освітлювача, призначені для вивчення непрозорих об'єктів;
- 4) люмінесцентні мікроскопи – основані на явищі люмінесценції об'єктів, призначені для вивчення непрозорих і напівпрозорих об'єктів з різним ступенем здатності відбиття світла.

На рис. 1.13 для прикладу наведено хід світлових променів в оптичній системі мікроскопу МІМ-7. При роботі мікроскопу в режимі світлого поля (рис. 1.13, а), світлові промені від освітлювача 1 проходять крізь колектив 2 та світловий фільтр 3, а потім відбиваються від дзеркала 4 та потрапляють на апертурну діафрагму 6 (для обмеження пучка світла та отримування високої якості зображення). Далі крізь фотозатвор 8 та польову діафрагму 9 (для обмеження освітлюваного поля зору на поверхні об'єкта) промені переломляються в пентапризмі 10 та проходять крізь лінзу світлого поля 11.

Після цього промені відбиваються від пластинки 14, проходять крізь об'єктив 13 та потрапляють на робочу поверхню зразка, що встановлений на предметному столику 12 мікроскопу. Відбившись від зразка, промені знову проходять крізь мікрооб'єктив 13 і, виходячи з нього паралельним пучком, потрапляють на відбиваючу пластинку 14, потім на ахроматичну лінзу 16. При візуальному спостереженні в хід променів вводиться дзеркало 17, яке відхиляє їх в бік окуляра 18. При фотографуванні дзеркало 17 вимикається та

промені направляються безпосередньо до фотоокуляру 19, а потім відбиваються від дзеркала 20 та потрапляють на фотопластинку 21. При спостереженні зображення на екрані, фотопластинка замінюється на матове скло, де й можна спостерігати зображення. Для спостереження в поляризованому світлі в систему включаються поляризатор 7 та аналізатор 15.

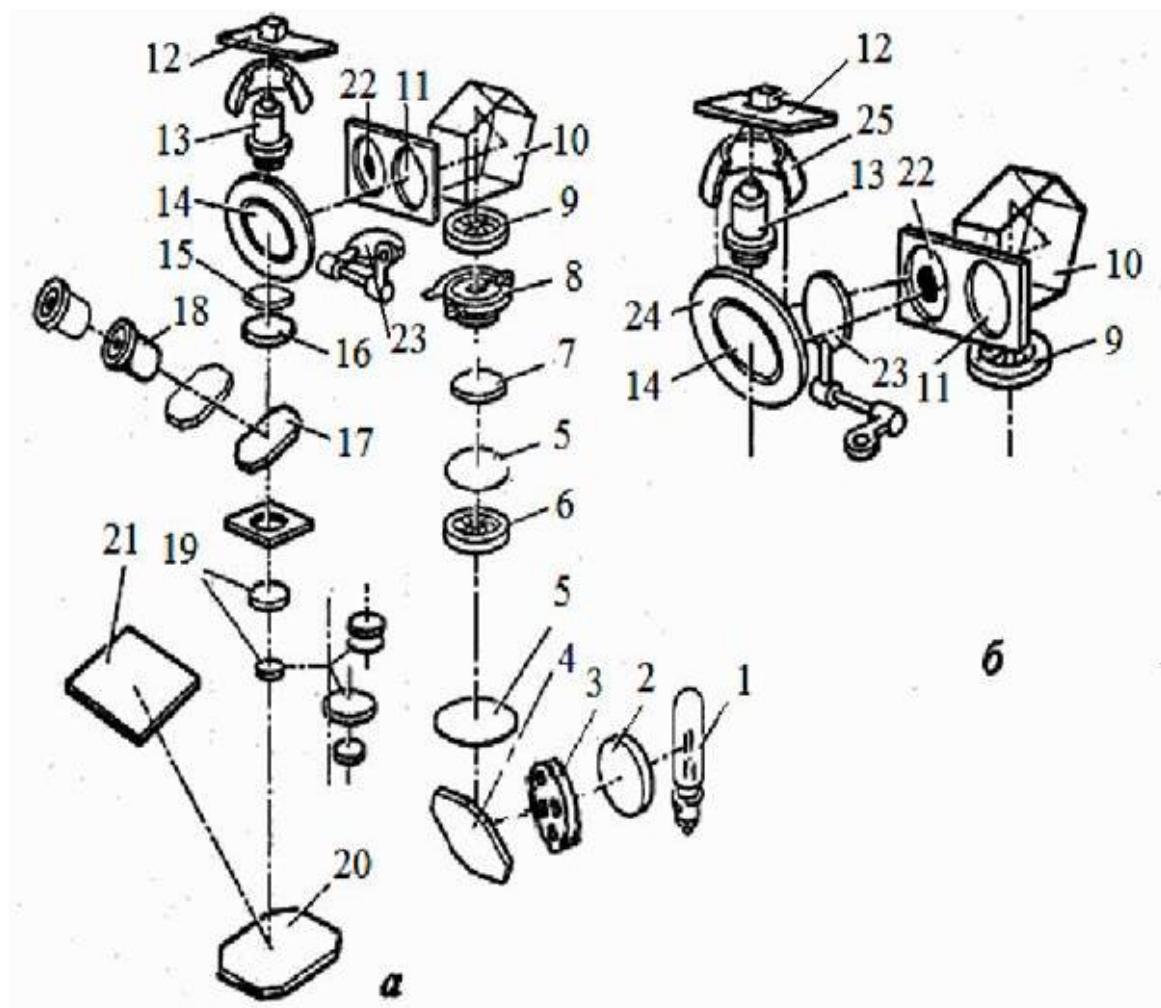


Рис. 1.13. Оптична схема мікроскопу МІМ-7:

а – хід променів при роботі в світлому полі; б – при роботі в темному полі

На рис. 1.13 показані: 1 – освітлювач; 2 – колектив; 3 – світловий фільтр; 4 – дзеркало; 5 – ахроматична лінза; 6 – апертурна діафрагма; 7 – поляризатор; 8 – фотозатвор; 9 – польова діафрагма; 10 – пентапризма; 11 – лінза світлого поля; 12 – зразок; 13 – мікрооб’єктив; 14 – відбиваюча пластина; 15 – аналізатор; 16 – ахроматична лінза; 17 – зеркало; 18 – окуляр; 19 – фотоокуляр; 20 – дзеркало; 21 – фотопластинка, або матове скло; 22 – лінза

темного поля; 23 – заслінка (вмикається при роботі в темному полі); 24 – кільцеве дзеркало; 25 – параболічне дзеркало.

Для кращого зображення окремих дрібних рельєфних частинок на гладкому фоні (наприклад, при дослідженні неметалевих включень), як вказувалося вище, доцільно застосовувати темнопольне освітлення.

Оптична система мікроскопу для дослідження поверхні зразка в темному полі (рис. 1.13, б) відрізняється від описаної вище схеми для світлого поля тим, що замість лінзи 11 встановлюється лінза темного поля 22. Центральна частина однієї з поверхонь лінзи 22 покрита чорним непрозорим лаком у вигляді диску, який затримує центральну частину світлового пучка й пропускає лише периферичні промені, які падають на кільцеве дзеркало 24. Для того, щоб світлові промені гарантовано не потрапляли на відбиваючу пластинку 14, вводиться заслінка 23. Відбившись від дзеркала 24, промені потрапляють на внутрішню поверхню параболічного дзеркала 25, а потім концентруються на поверхні зразка.

Особливе місце серед оптичних мікроскопів займає цифровий мікроскоп. Професійні цифрові мікроскопи – це технологічний прорив в сучасному приладобудуванні. У конструкції таких пристроїв оптична система поєднана з трансформуючою матрицею, що дозволяє перетворювати світловий потік в цифровий сигнал і передавати його для подальшої обробки на комп'ютер. До цифрових мікроскопів передбачено підключення фотокамер і відеокамер для фіксації даних, а також монітори і принтери для їх візуалізації. Залежно від типу виведення зображення розрізняють USB-мікроскопи і ТБ-мікроскопи.

Тринокулярні мікроскопи є симбіозом оптичного і цифрового типів мікроскопів. У них, крім двох стандартних оптичних окулярів, є третій окуляр для зйомки процесу на спеціальну відеокамеру спостереження і виведення цифрового зображення на екран.

Сьогодні, у зв'язку з масовим поширенням персональних комп'ютерів, цифрові мікроскопи уніфікувались, більшість з них працює при підключенні до

стандартного USB порту комп'ютера, на якому встановлено відповідне програмне забезпечення, сумісне з конкретною моделлю цифрового мікроскопа. Іноді навіть вживають термін «USB-мікроскоп».

1. 3. Габаритний розрахунок оптичної системи приладів, побудованих на використанні проекційної оптичної системи

Проекційна оптична система призначена для здобуття зображення предмета на екрані. Вона складається з двох частин: проекційної і освітлювальної.

У проекційній частині за допомогою проекційного об'єктива будується зображення предмета на екрані. Як правило, відомі розмір предмета $2u$, розмір екрана $2u'$, на якому будується зображення, і відстань між ними L_{np} , вибрана конструктивно. Для визначення положення об'єктива скористаємося графічною побудовою еквівалентної схеми, в якій оптичний компонент зображається поєднаними головними площинами і точками фокусів.

Накресливши в масштабі відомі величини на оптичній осі (рис. 1.14), і, провівши промінь від вершини предмета до протилежної вершини зображення, визначають вузлові точки об'єктива. У даному випадку вузлові точки об'єктива збігаються з центром вхідної зіниці P . Промінь, зображений штриховою лінією, дозволяє приблизно визначити фокусну відстань об'єктива. Він проходить через вершину предмета паралельно оптичній осі до головних площин $NN'_{об}$ і далі йде у вершину зображення. Точка перетинання його з оптичною віссю є заднім фокусом об'єктива $F'_{об}$.

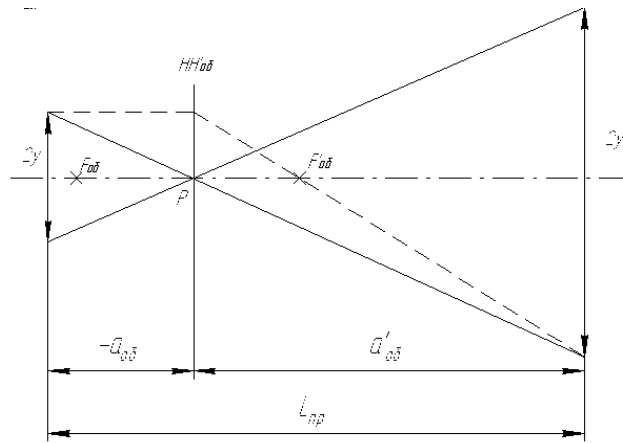


Рис. 1.14. Визначення вузлових точок об'єктива

Відношення розмірів зображення до розмірів предмета має назву масштабу зображення і визначає лінійне збільшення об'єктива $\beta_{об}$:

$$\beta_{об} = y'/y = \alpha'_{об}/\alpha_{об}.$$

Апертурні промені проводять з осової точки предмета на край вхідної зіниці і далі в осову точку зображення (рис. 1.15).

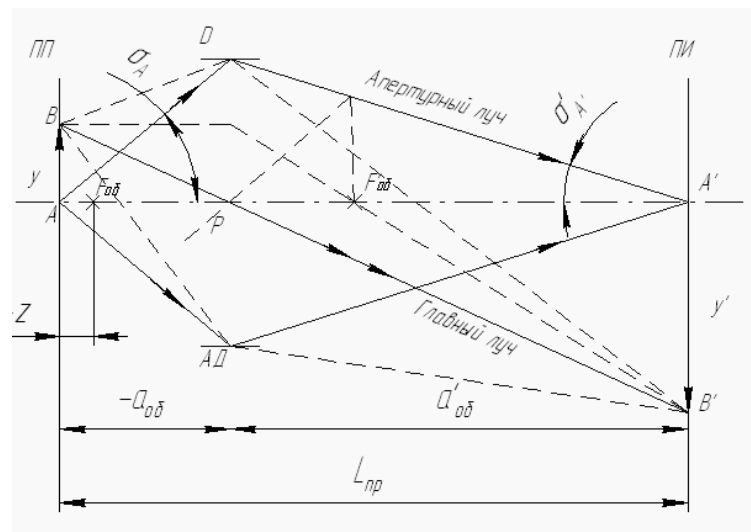


Рис. 1.15. Хід апертурного променя

Крапки A і A' – зв'язані крапки. Головний промінь проходить з вершини предмета, через центр вхідної зіниці P і, не заломлюючись, у вершину зображення. Крапки B і B' – зв'язані крапки. Похилі промені проводять з вершини предмета на край вхідної зіниці і далі у вершину зображення.

Для того, щоб отримане зображення спостерігати на екрані, потрібно забезпечити його необхідну освітленість. Для ряду проекційних приладів експериментально встановлені такі значення освітленості:

- контрольно-вимірювальні прилади $E = 80 - 100$ лк;
- проектори для демонстрації діапозитивів $E = 150 - 200$ лк;
- проектори кінозалів $E = 600 - 800$ лк;
- епіпроектори $E = 100 - 120$ лк.

У вказаних цілях проекційна система має освітлювальну частину, яка складається з джерела світла, конденсора і рефлектора. Причому існують дві схеми діапроекції, що визначають різний підхід до розрахунку освітлювальної частини. У першій схемі конденсор проєктує джерело світла в площину вхідної зіниці проекційного об'єктива. В другій схемі тіло розжарення лампи зображається в площині предмета.

Розглянемо графічну побудову еквівалентної схеми освітлювальної частини приладу (рис. 1.16). Для визначення положення джерела світла c і конденсора HH'_k необхідно на оптичній осі нанести в масштабі положення об'єктива $HH'_{об}$ з вхідною зіницею D і предмета $2y$. Проведемо промінь через край вхідної зіниці (крапку 1) і вершину предмета (крапку 2) до перетинання з штриховою лінією, виконаною на висоті, що дорівнює половині тіла розжарення лампи ($c/2$). Точка перетину (крапка 3) вкаже положення джерела світла, а точка перетину променя з оптичною віссю P_k визначить положення конденсора HH'_k . Відомим способом (рис. 1.16) визначають приблизно фокусну відстань конденсора.

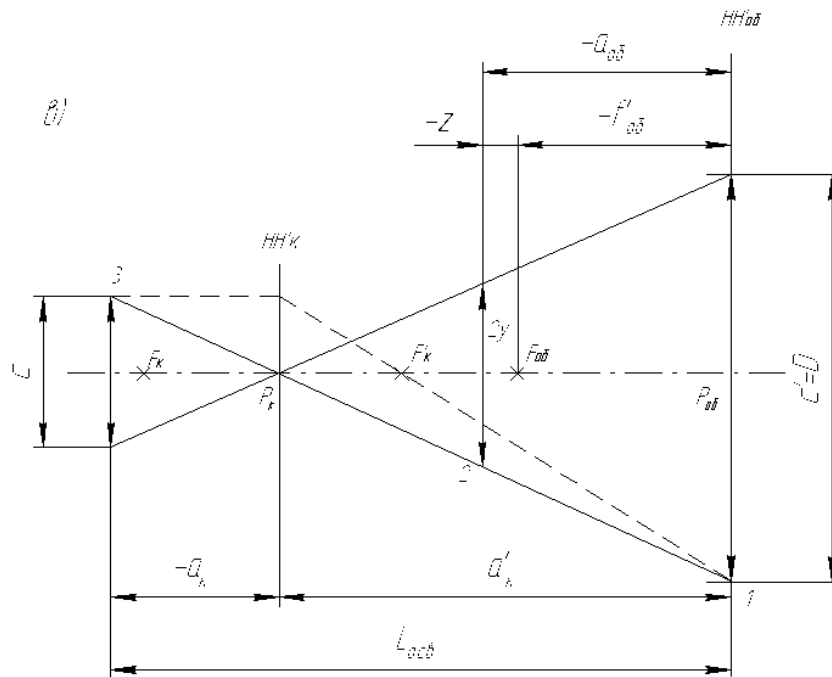


Рис. 1.16. Еквівалентна схема освітлювальної частини

Таким чином, для розглянутої побудови необхідно розрахувати вхідну зіницю об'єктива D і вибрати по заданій яскравості екрана джерело світла.

Лінійне збільшення конденсора β_k визначають як відношення зображення джерела світла D до найбільшого розміру його тіла накала c :

$$\beta_k = D / c = a'_k / a_k.$$

Побудови, виконані для проєкційної і освітлювальної частин, є графічним методом визначення основних характеристик системи: фокусних відстаней елементів і їх взаємного розташування. Цей метод дозволяє швидко отримати необхідну інформацію з достатньою точністю. Окрім цього, він корисний в процесі навчання для наочної демонстрації явищ, що відбуваються в оптичній схемі проєкційних систем.

Аналітичний метод розрахунку передбачає використання формул ідеальної оптичної системи для визначення оптичних характеристик проєкційного об'єктива і освітлювача з конденсором.

Як вхідні дані використовують:

- розміри предмета ($b \times h$);
- розміри екрана ($b' \times h'$), або масштаб зображення;
- віддалення екрана від об'єктива (S') і його освітленість.

Розрахунок рекомендується виконувати в такій послідовності:

- а) визначити оптичні характеристики об'єктива і вибрати його з каталога;
- б) визначити оптичні характеристики освітлювальної частини і вибрати конденсор з каталога;
- в) побудувати за розрахунковими даними хід основних променів в системі;
- г) розробити габаритну оптичну схему приладу.

На основі габаритного розрахунку виконують принципову оптичну схему приладу, яка є частиною конструкторської документації.

Оптичні характеристики об'єктива починають визначати з розрахунку його лінійного збільшення $\beta_{об}$, фокусної відстані $f'_{об}$ і кутового поля 2ω з використанням формул:

$$\beta_{об} = y'/y = -b'/b = -h'/h = l'/l; \quad (1.26)$$

$$f'_{об} = \frac{S'}{1 - \beta_{об}}; \quad (1.27)$$

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{1}{f'_{об} + |z|} = \frac{\beta_{об} \cdot l}{f'_{об} \cdot (1 - \beta_{об})}, \quad (1.28)$$

де l – розмір, що дорівнює половині діагоналі предмета ($l = \varphi$); z – відстань від переднього фокуса об'єктива до предмета.

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

$$z = -\frac{f'}{1 - \beta_{об}}. \quad (1.29)$$

Збільшення конденсора дорівнює:

$$\beta_{\kappa} = D / c = a'_{\kappa} / a_{\kappa}. \quad (1.30)$$

Тоді відстань від передньої головної площини об'єктива до предмета і відстань від задньої головної площини до екрана дорівнюють:

$$a_{об} = -|z_p + z|; \quad a'_{об} = l' / \operatorname{tg} \omega', \quad (1.31)$$

де l' – розмір половини діагоналі екрана ($l'=y'$); z_p – відрізок, що визначає положення вхідної зіниці відносно переднього фокусу об'єктива.

Окрім цього, відрізки можна визначити через збільшення об'єктива:

$$\beta_{об} = a'_{об} / a_{об}.$$

Задаючись коефіцієнтом пропускання τ , при заданій освітленості екрана E і яскравості джерела світла L , визначають відносний отвір об'єктива. Якщо коефіцієнт пропускання невідомий, то його значення беруть довільно, але близьке до дійсного. Орієнтовно приймають $\tau = 0,5$. Тоді отримаємо [5]:

$$D / f'_{об} = 2(1 - \beta) \sqrt{\frac{E_0}{\pi L \tau}}. \quad (1.32)$$

Визначимо діаметр вихідної зіниці об'єктива, скориставшись формулою[10]:

$$D' = 2S' \sqrt{\frac{E}{\pi \cdot L \cdot \tau}}, \quad (1.33)$$

де S' – відстань до екрана; E – освітленість екрана; L – габарітна яскравість джерела випромінювання; τ – коефіцієнт пропускання оптичної системи.

Якщо потрібно вибрати джерело світла, то доводиться вирішувати зворотню задачу. При цьому задаються відносним отвором об'єктива і розраховують яскравість джерела за допомогою формули:

$$L = \frac{4(1 - \beta)E_0}{\pi \tau (D / f'_{об})^2}. \quad (1.34)$$

Після визначення L вибирають тип джерела світла.

Відносний отвір об'єктива треба вибирати гранично великим з тим, аби потужність джерела світла була мінімальною. Джерело світла вибирають по каталогу. Розрахункові значення $f'_{об}$, 2ω і $D / f'_{об}$ дозволяють вибрати об'єктив. При цьому можливі невеликі не співпадіння окремих характеристик. Тоді 2ω і $D / f'_{об}$ слід брати більше розрахункових, а при відхиленні $f'_{об}$ коректувати відстань до екрана. Для вибраного об'єктива уточнюють $\tau_{об}$. Виконують перерахунок об'єктива з врахуванням $K_{пер}$.

При використанні об'єктива необхідно пам'ятати, що в процесі його розрахунку першої поверхню є поверхня, що звернена до екрана. Тому те,

що при розрахунку вважалось вхідною зіницею, для об'єктива в проєкційній системі буде вихідною зіницею і, навпаки, вихідна зіниця стає вхідною. Аби визначити діаметр вхідної зіниці з боку кадру D , потрібно знайти збільшення в зіницях, що дорівнює:

$$\beta_p = -z'_p / f', \quad (1.35)$$

де z'_p – положення вихідної зіниці відносно заднього фокусу.

Тоді діаметр вхідної зіниці дорівнює:

$$D = D' / \beta_p, \quad (1.36)$$

де D' – зіниця з боку екрана, яку можна визначити із значення відносного отвору.

Розрахунок освітлювальної системи починають з визначення оптичних характеристик конденсора. Його збільшення β_k і кут охопту σ_k визначають за формулами:

$$\beta_k = -D / c; \quad \beta_k \sin \sigma_k = \sin \sigma'_k, \quad (1.37)$$

де σ'_k – апертурний кут конденсора в просторі зображення.

По характеристиках β_k і σ_k вибирають потрібний конденсор. Причому в таблицях даних не кут σ_k , а апертура A , що дорівнює:

$$A = n \cdot \sin \sigma_k.$$

За наявності декількох конденсорів з близькими значеннями β_k і σ_k , але різними фокусними відстанями слід орієнтуватися на результати графічного методу (рис. 1.16). Знаючи фокусну відстань конденсора, визначають відрізки a_k і a'_k :

$$a'_k = f'_k (1 - \beta_k); \quad a_k = a'_k / \beta_k. \quad (1.38)$$

Мінімальний діаметр конденсора можна розрахувати за формулою:

$$D_{k \min} = 2 |a_k| \operatorname{tg} \sigma_k.$$

При розрахунку конденсора, що складається з двох плоскоопуклих лінз, фокусну відстань кожної лінзи розраховують по формулі оптичної сили дволінзової системи:

$$\Phi_k = \Phi_1 + \Phi_2 - \Phi_1 \Phi_2 d_n,$$

де $\Phi_k = 1/f'_k$ – оптична сила конденсора; Φ_1 – оптична сила першої лінзи; Φ_2 – оптична сила другої лінзи; d_n – відстань між задньою головною площиною першої лінзи і передньою головною площиною другої лінзи.

При побудові ходу променів у проекційній системі (рис. 1.17), що складається з джерела світла 1, конденсора 2, предмета 3, об'єктива 4 і екрана 5, потрібно мати на увазі, що загальним елементом для них є вхідна зіниця об'єктива.

Світлотехнічний розрахунок в розглянутому прикладі є перевірочним і полягає у визначенні освітленості екрана E за реальними даними оптичної системи по формулі [5]:

$$E = \frac{\pi L \tau k D^2 \cos^4 \omega}{4 f'_{oo} (1 - \beta_{oo})^2}, \quad (1.39)$$

де L – яскравість джерела світла, кд/м²; τ – коефіцієнт світлопропускання; k – коефіцієнт заповнення вхідної зіниці об'єктива D .

За відсутності просвітлення коефіцієнт світлопропускання дорівнює:

$$\tau = 0,99^d 0,96^{K_p} 0,95^{\Phi_l} 0,93^{Z_k},$$

де d – сумарна товщина оптичних деталей; K_p і Φ_l – кількість поверхонь з крону і флінта відповідно; Z_k – кількість дзеркальних поверхонь.

Окрім цього, кут поля зору об'єктива 2ω має дорівнювати апертурному куту конденсора в просторі зображення $2\sigma'_A$. Тобто апертурний промінь конденсора стає головним для об'єктива. По результатам обчислень будують габаритну схему проекційної системи (рис. 1.18).

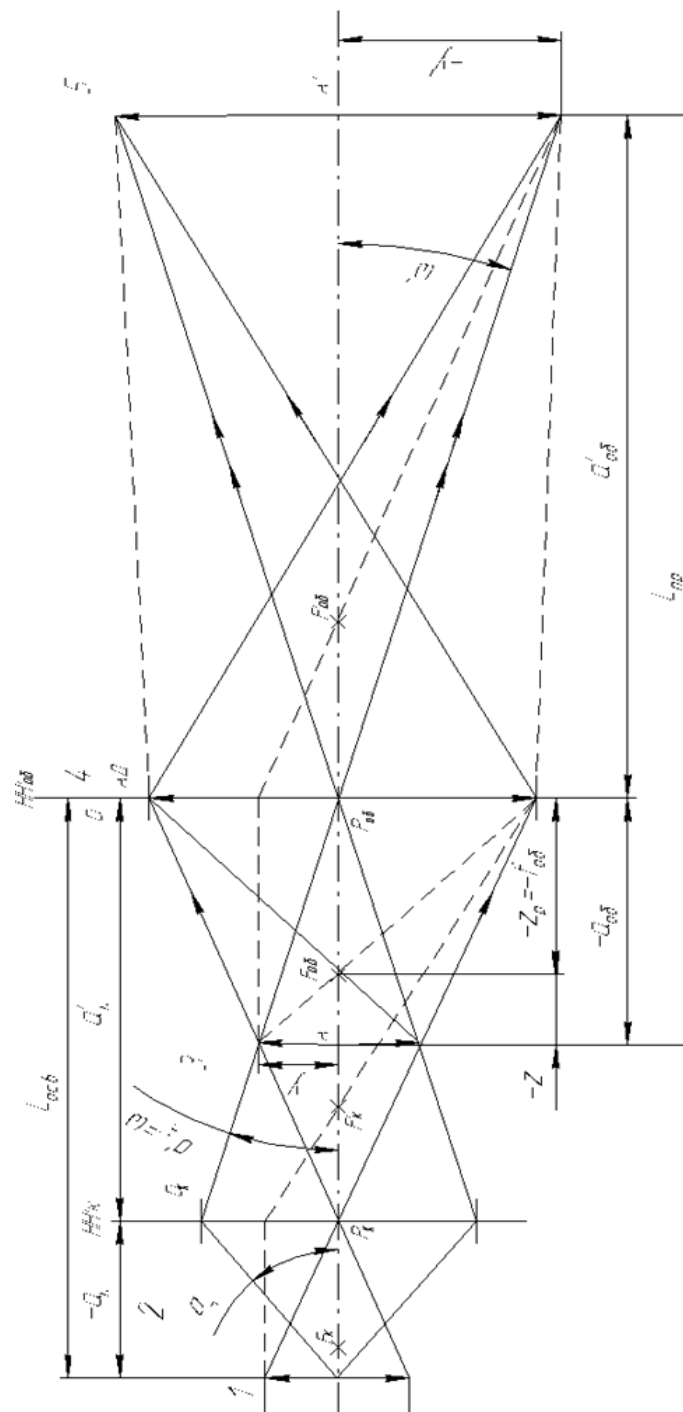


Рис. 1.17. Хід променів у проекційній системі

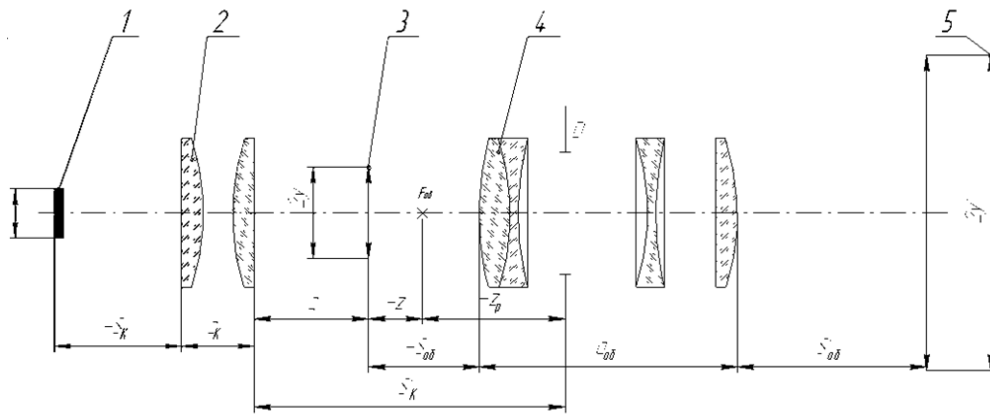


Рис. 1.18. Габаритна схема проекційної системи:

1 – джерело випромінювання; 2 – конденсор; 3 – площина предметів; 4 – проекційний об’єктив; 5 – площина зображення

Розглянемо приклад габаритного розрахунку приладу на основі проекційної оптичної схеми скориставшись такими вихідними даними:

- розмір предмета $18 \times 24 \text{ мм}^2$;
- 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 світлопропускання оптичної системи $\tau = 0,5$;
- джерело світла лампа К14;
- світловий потік $F_0 = 11000 \text{ лм}$;
- габаритна яскравість $L = 18 \cdot 10^6 \text{ кд/м}^2$;
- розмір тіла розжарювання $10 \times 10 \text{ мм}^2$;
- освітлювач – дволінзовий конденсор;
- точність регулювання збільшення $\pm 0,1 \%$.

Із заданих розмірів предмета і екрана по формулі (1.26) знаходимо лінійне збільшення об’єктива:

$$\beta = -\frac{1800}{18} = -100^{\times}.$$

Фокусну відстань об’єктива визначимо за формулою (1.27), де позначення зрозумілі зі схеми наведених на рис. 1.19.

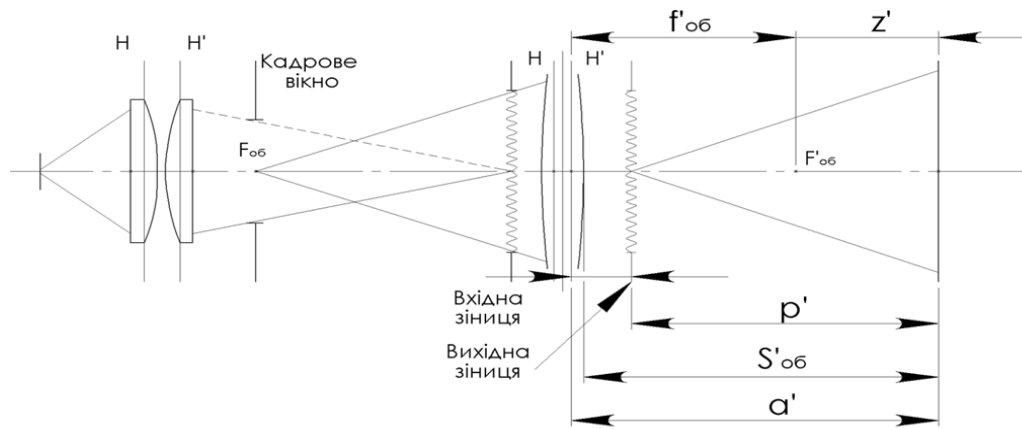


Рис. 1.19. Оптична схема проєктора

Підставивши в (1. 27) вихідні дані отримаємо:

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

Визначимо діаметр вихідної зіниці об'єктива за формулою (1.33):

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

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 предмета за формулою (1.29):

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

Оскільки площина предмета розташована поблизу передньої фокальної площини об'єктива, то його поле зора буде дорівнювати:

$$\text{tg} \omega' = \frac{\sqrt{9^2 + 12^2}}{100} = 0,15; \quad 2\omega' = 17^\circ.$$

В якості об'єктива виберемо проєкційний об'єктив П-5. Його оптична схема наведена на рис. 1.20.

Об'єктив, що є в каталозі має параметри [4]:

$$f' = 75 \text{ мм}; \quad D'/f' = 1:2,1; \quad 2\omega' = 23^\circ; \quad S'_{F'} = 37,39 \text{ мм}; \quad S_F = -45 \text{ мм.}$$

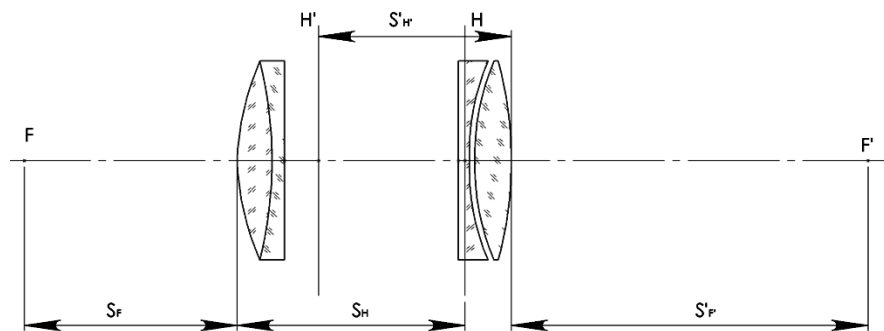


Рис. 1.20. Оптична схема проєкційного об'єктива П-5

Конструктивні параметри об'єктива П-5 приведені в табл. 1.6.

Таблиця 1.6

Конструктивні параметри проєкційного об'єктива П-5

Номер поверхні	Радіус поверхні r , мм	Відстань вздовж осі d , мм	Показник заломлення n_D	Світловий діаметр D , мм
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			

Коефіцієнт перерахунку радіусів кривизни поверхонь лінз дорівнює:

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

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

$$S'_{F'} = 49,7 \text{ мм}; S_F = -60,5 \text{ мм};$$

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

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

Довжина об'єктива вздовж осі дорівнює $d = 61,5 \text{ мм.}$

Для розрахунку конденсора знайдемо його лінійне збільшення β_k , за умови, що зображення тіла розжарювання заповнює всю вхідну зіницю об'єктива. Врахуємо також те, що об'єкт встановлюється вхідною зіницею до екрана.

Площина, що світиться, має розміри $10 \times 10 \text{ мм}^2$. Збільшення конденсора відповідно до (1.30) буде дорівнювати:

$$\beta_k = -\frac{36}{10} = -3,6^x.$$

Визначимо кут охопту конденсора $2\sigma_0$.

Для спрощення приймемо, що вхідна зіниця об'єктива співпадає з передньою поверхнею об'єктива. Тоді кут поля зору об'єктива визначимо із співвідношення (1.28):

$$\text{tg } \omega = \frac{15}{61,5 + 49,7 + 1} = \frac{15}{112,2} = 0,13;$$

$$\omega = 7^\circ; \quad \sin \omega = 0,12.$$

З формули (1.3) знайдемо $\sin \sigma_k = 3,6 \cdot 0,12 = 0,432$, а значить $\sigma_k \approx 26^\circ$. Таким чином конденсор має такі характеристики: $\beta_k = -3,6^x$; $2\sigma_0 = 52^\circ$.

Для того, щоб дефекти конденсора не відображувалися різко на екрані, виберемо відстань між конденсором і кадровим вікном такою, що дорівнює $l \approx 10 \text{ мм.}$

В якості матеріала лінз конденсора виберемо скло К8.

Для забезпечення високої світлосили, його відносний отвір має бути близьким до одиниці. Прийmemo: $D_k/f_k = 1/1,2$. Діаметр конденсатора беремо більше за розмір предмета на 5 – 10 мм. Прийmemo діаметр конденсора: $D_k = 2 \cdot l + 5 = 35 \text{ мм.}$ Тоді: $f'_k = 1,2 D_k = 1,2 \cdot 35 = 42 \text{ мм.}$ 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: $r_1 = f'_1 \cdot (n - 1) = 84 \cdot (1,5163 - 1) = 43,36 \text{ мм;}$
 $r_2 = \infty.$

Товщина лінзи d дорівнює:

$$d = h_x + d_{кр}, \quad (1.40)$$

де h_x – стрілка прогину сферичної поверхні; $d_{кр}$ – товщини края лінзи.

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

лінзи: $h_x = 43,36 - \sqrt{1880 - 306} = 3,76$ мм.

Приймемо $d_{кр} \geq 0,05 \cdot D_k$, тоді $d_{кр} = 1,75 \approx 2$ мм.

Скориставшись формулою (1.40) отримаємо $d = 3,76 + 2 = 5,76$ мм.

Перевіримо величину освітленості екрана за формулою (1.39):

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

Контрольні запитання

1. Яка послідовність габаритного розрахунку оптичної системи телескопічних приладів?
2. Від чого залежить збільшення оптичної системи телескопічних приладів?
3. Як визначити світлові діаметри об'єктива і окуляра?
4. Що таке віньєтування і яке його допустиме значення в телескопічних оптичних системах?
5. Як визначити параметри сітки в телескопічних оптичних системах?
6. Як скористатись графоаналітичним методом для визначення габариту призми в телескопічних оптичних системах?
7. Яким чином обертають зображення в телескопічних оптичних системах?
8. Яка послідовність розрахунку оптичної системи мікроскопа?

9. Як визначається збільшення оптичної системи мікроскопа?
10. Що таке оптичний інтервал?
11. Як визначається числова апертура мікроскопа і на що вона впливає?
12. Як визначити глибину різкості мікроскопа?
13. Як визначити положення вихідної зіниці мікроскопа?
14. Чому дорівнює роздільна здатність мікроскопа?
15. Які перспективні напрямки розвитку мікроскопії?
14. Яка послідовність розрахунку проекційної оптичної системи проектора?
15. Як визначити фокусну відстань і діаметр вихідної зіниці проекційного об'єктива?
16. Яка послідовність розрахунку освітлювальної оптичної системи проектора?
17. Як розрахувати параметри конденсора проекційного приладу?
18. Як визначити кут поля зору проекційного об'єктива?
19. Від чого залежить коефіцієнт пропускання проекційної оптичної системи?
20. Які орієнтовні вимоги до освітленості в площині зображення проекційної оптичної системи?

РОЗДІЛ 2

КОНСТРУКЦІЇ ТИПОВИХ ВУЗЛІВ ОПТИЧНИХ ПРИЛАДІВ

Складальні одиниці, що виконують в приладі певні функції, разом з іншими складовими частинами приладу мають назву конструктивних вузлів. Деякі загальні вимоги до цих вузлів такі:

- а) конструкція вузла має забезпечити точне розташування робочої деталі по відношенню до базової;
- б) кріплення повинно бути надійним;
- в) в конструкції вузла при кріпленні не повинно виникати шкідливих деформацій;
- г) конструкція вузла має передбачати при необхідності можливість юстування;
- д) конструкція вузла має бути технологічною відносно виготовлення деталей і їх складання;
- е) габаритні розміри бажано мінімізувати.

2.1. Конструювання вузлів кріплення круглих оптичних деталей

Основними способами кріплення круглих оптичних деталей є кріплення завальцовкою, різьбовими кільцями, приклеюванням. Інколи для кріплення використовують: проволочні кільця, притискаючі планки, спеціальні елементи. При будь-якому способі кріплення круглих оптичних деталей циліндрична поверхня лінзи з'єднується з циліндричною поверхнею оправы (рис. 2.1). Це з'єднання віднімає у лінзи чотири ступеня свободи – два поперечних зсуви Y , X і два повороти φ_x , φ_y . Для обмеження зсуву вздовж осі на оправі роблять

виступ (буртик) Б. У всіх випадках для усунення децентрування необхідно забезпечити жорсткій допуск на перпендикулярність уступа Б до базової осі оправы.

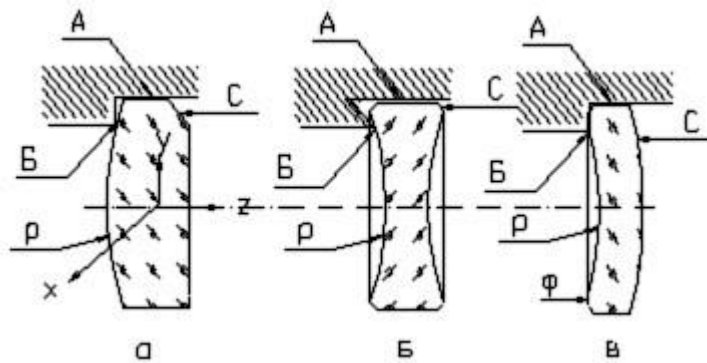


Рис. 2.1. Базування лінзи в оправях

При кріпленні завальцовкою лінза утримується в оправі її тонкою кромкою, яка набуває свою кінцеву форму в результаті пластичного деформування металу під час завальцовки. Таке кріплення є нероз'ємним. Кріпильна кромка оправы після завальцовки знаходиться в поєднанні з конусною поверхнею спеціальної фаски лінзи, при цьому вона не має виступати за межі фаски. Профіль оправы для завальцовки показаний на рис. 2.2.

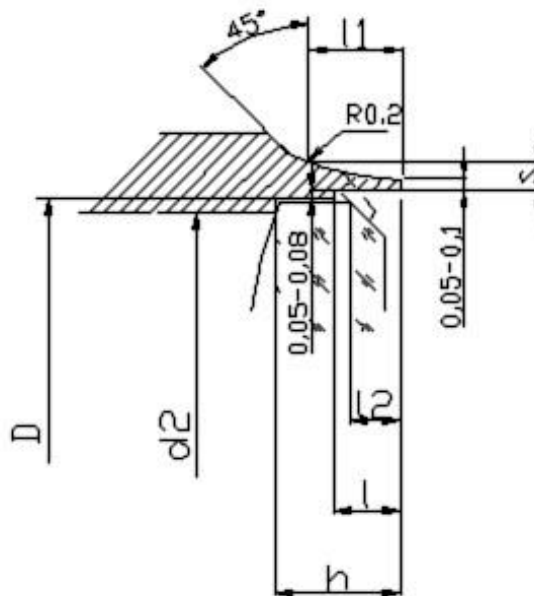


Рис. 2.2. Профіль оправы для завальцовки

Розміри елементів оправы під завальцовку приведені в табл. 2.1.

Розміри елементів оправ під завальцовку

D , мм	S , мм	l , мм	l_1 , мм	l_2 , мм
До 10	Від 0.2 до 0.3	0.3 – 0.4	1.6	0.3
Від 10 до 30		0.5 – 0.7	2.0	0.5
Від 30 до 50	Від 0.3 до 0.4	1.0 – 1.2	2.5	0.8
Від 50 до 80	Від 0.4 до 0.5	1.2 – 1.6	3.0	1.0

Кріплення завальцовкою завжди застосовується для оптичних деталей діаметром 10 мм і менше і для склеєних блоків до 50 мм. Таке обмеження пояснюється тим, що для кріплення кромка граничної товщини в 0,5 мм не в змозі забезпечити необхідну надійність кріплення для важких деталей, а особливо при наявності перевантажень (вібрації, удари і т. ін.). Збільшити товщину кромки неможливо, оскільки в процесі завальцовки можуть з'явитися виколування по краю деталі.

Матеріали оправ при цьому методі кріплення повинні мати високу пластичність. Найкращим є латунь ЛС59-1. Застосовуються також: латунь Л62, дюралюміній марок Д1, Д6, Д16, низьковуглецеві або інші пластичні конструкційні сталі (сталь 20, сталь 30). На рис. 2.3 показані конструкції оправ, які найбільш часто використовують для кріплення круглих деталей завальцовкою.

Для склеєних лінз центрування забезпечується лінзою, що має більшу товщину по краю. Рекомендовані допуски при завальцовці на центрування одиночних лінз і склеєних блоків відповідно до міжнародного стандарту (ISO) розглянуті в четвертому розділі.

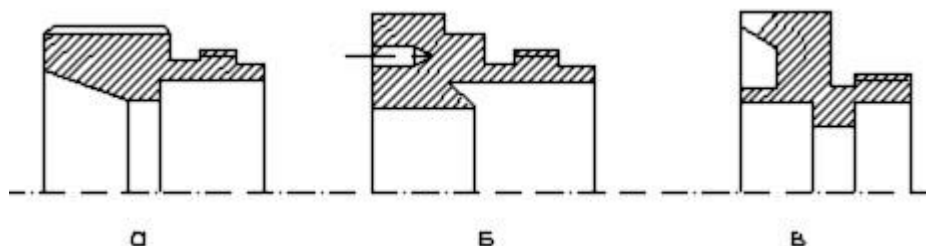


Рис. 2.3. Конструкції оправ для кріплення завальцовкою

Типова конструкція оправи під завальцовку показана на рис. 2.4.

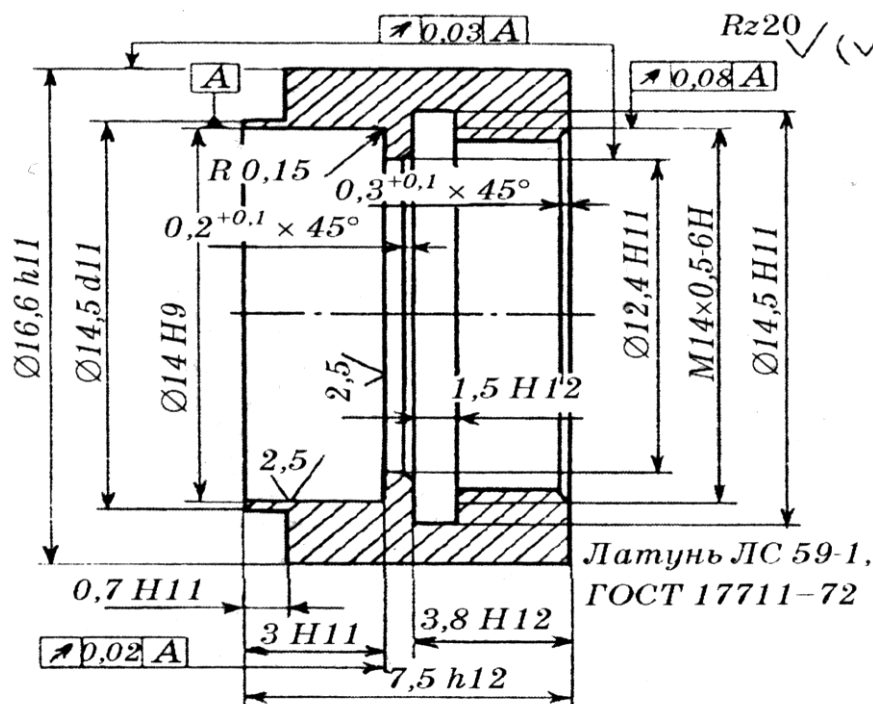


Рис. 2.4. Конструкція оправи під завальцовку

Приклади конструкцій для кріпленні лінз і лінзових блоків завальцовкою показані на рис. 2.5.

Перевагами способу є:

- а) висока надійність кріплення, особливо для лінз малого діаметра;
- б) відсутність пережимів в склі при правильній технології процесу завальцовки;
- в) високоточне співпадіння оптичних і механічних баз і відсутність необхідності юстувальних робіт після кріплення оптичної деталі.

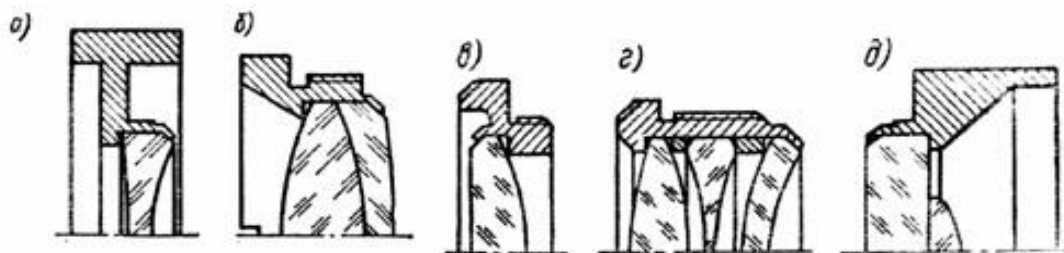


Рис. 2.5. Приклади конструкцій при кріпленні лінз і лінзових блоків завальцовкою

До недоліків методу можна віднести:

а) зменшення надійності кріплення при збільшенні габаритних розмірів деталі;

б) відсутність можливостей компенсації термічних деформацій.

Кріплення різьбовим кільцем використовується коли неможливо скористатися завальцовкою. При цьому способі кріплення оптична деталь притискається до опорного уступу оправы різьбовим кільцем, кромка якого натискає на деталь з протилежного боку. Це кріплення є роз'ємним. На рис. 2.6 показані приклади конструкцій вузлів кріплення лінз різьбовим кільцем. Цей вид кріплення є жорстким. Тому при роботі в складному температурному режимі можливе істотне погіршення якості кріплення (втрата стабільності при високих температурах і перетискання – при низьких).

Окрім того, при кріпленні різьбовим кільцем важко забезпечити рівномірний притиск оптичної деталі по всьому колу опорного уступу через похибку виготовлення різьблення, похибку розташування торця різьбового кільця (неперпендикулярність), а також похибку форми уступу і торця.

Для лінз діаметром понад 50 мм доцільно застосовувати кріплення різьбовим кільцем, а лінзи діаметром понад 80 мм, як правило, кріплять в оправках тільки різьбовим кільцем. Для деталей великих діаметрів у цього способу кріплення теоретично обмежень немає. При збереженні всіх переваг такого методу, кріпити різьбовим кільцем оптичну деталь з діаметром більшим 250 – 300 мм не рекомендується. Для лінз діаметром менше 10 мм кріплення різьбовим кільцем неприпустимо.

На рис. 2.6. зображені приклади кріплення оптичних деталей різьбовим кільцем.

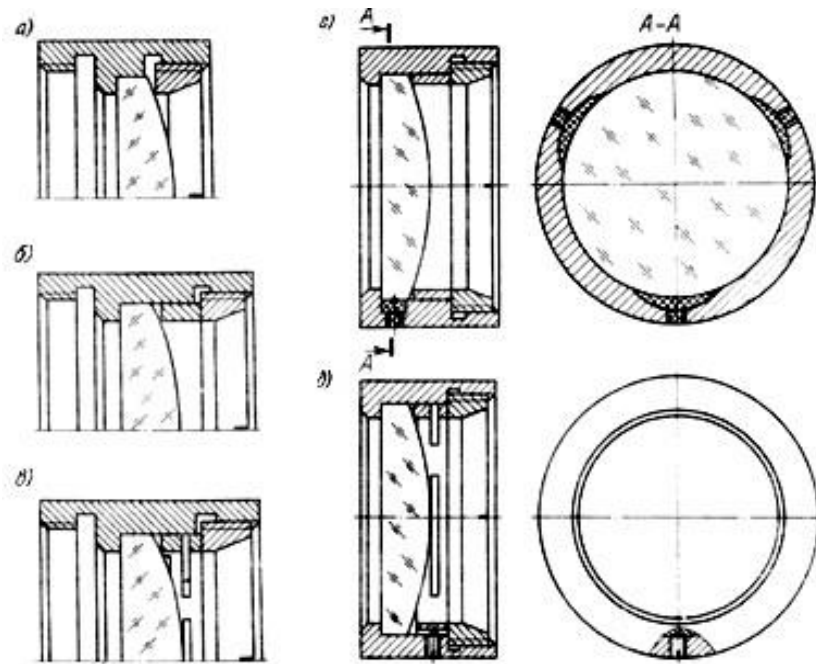


Рис. 2.6. Кріплення оптичної деталі різьбовим кільцем:

а – без додаткових деталей; б – з проміжним кільцем; в – з пружинним кільцем;
г – без перетискання при centruванні; д – з фіксованим положенням кілець

Розміри елементів оправи для кріплення різьбовим кільцем показані на рис. 2.7. Приблизні співвідношення розмірів в мм такі:

$$d_1 = D;$$

$$d_2 = D_1 + 0,2 \text{ мм},$$

де D – повний діаметр лінзи; D_1 – світловий діаметр лінзи;

$$D_p \geq d_1 + 0,2 + 2H_1,$$

де H_1 – висота профіля різьби ($H_1 \approx 0,54P$);

$$S_p = (6 - 10) P;$$

$$D_2 = d_p + (2 - 10) \text{ мм},$$

де d_p – визначається особливостями конструкції всього вузла ;

$$l_p = (6 - 10) P',$$

де P і P' – кроки різьб внутрішньої і зовнішньої відповідно.

Зазвичай використовується мілка різьба з кроками 0,5 мм; 0,75 мм; 1 мм в залежності від товщини стінки і оправи кільця.

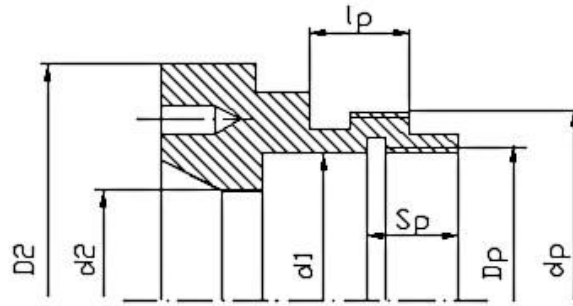


Рис. 2.7. Розміри елементів оправи для кріплення різьбовим кільцем

Креслення оправи для різьбового кріплення приведенне на рис. 2.8.

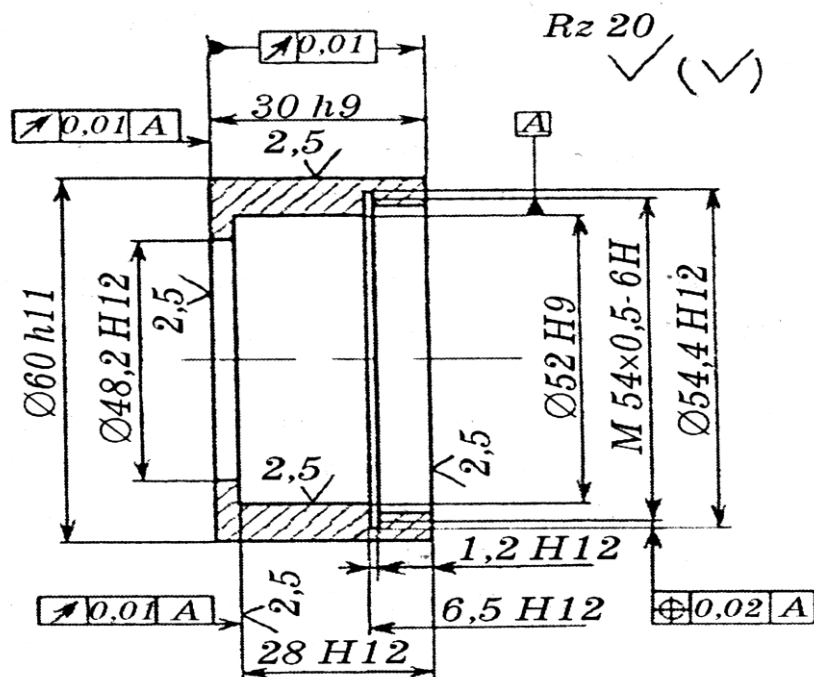


Рис. 2.8. Креслення оправи для різьбового кріплення

При кріпленні лінз різьбовим кільцем, внаслідок непаралельності осей оправи та гнізда під лінзу, а також неперпендикулярності різьблення кільця і його робочого торця може виникнути нерівномірний тиск торця різьбового кільця на лінзу, що призведе до порушення центрування, місцевого натягу в склі і погіршення якості зображення. Окрім того, при закручуванні різьбового кільця обертання останнього передається на лінзу і може викликати її повертання, що дуже небажано, особливо для лінз великого діаметра. Щоб уникнути цього, між лінзою і різьбовим кільцем встановлюють проміжне кільце.

Для того, щоб уникнути неприпустимих натягів між різьбовим кільцем і лінзою встановлюють пружинне кільце. Воно компенсує зміни розмірів оправу і, отже, зменшує тиск на лінзу з боку торців різьбового кільця і оправу. Пружинні кільця застосовують також для кріплення тонких, в основному від'ємних лінз, особливо чутливих до затиску і тих, що працюють в складних температурних умовах. Кріплення лінз за допомогою пружинного кільця застосовують для лінз діаметром від 40 мм і вище, якщо вони кріпляться в оправу виготовлених з кольорових металів або сталі. Лінзи діаметром понад 300 мм рекомендується кріпити завжди із застосуванням пружинного кільця.

На рис. 2.9 показані варіанти конструкцій пружинних кілець (з одним і двома рядами прорізів). Перший варіант застосовується для кріплення тонких лінз середніх і великих діаметрів. Пружинні кільця мають три виступи, розташовані під кутом 120° . В цьому випадку лінза спирається на три виступаючі ділянки оправу, розташовані також під кутом 120° (на «три крапки»). При цьому пружинне кільце має бути орієнтоване так, щоб його виступи знаходилися проти виступів оправу.

Для забезпечення зазору, необхідного при центруванні лінз в оправу, застосовуються такі посадки: оправу – Н9; проміжне кільце – h9; центруюча лінза – e9; нецентруюча лінза – c9 і c11; пружинне кільце – h11.

Кріплення пружинними планками засновано на принципі «трьох точок». У трьох зонах, розташованих під кутом 120° , на оптичну деталь натискають три однакові плоскі пружини, забезпечуючи силове замикання деталі, що базується, на уступ оправу (рис. 2.10). Ці плоскі пружини мають назву пружинних планок. Пружинні планки кріпляться до оправу гвинтами, їх конструкція і розташування щодо оправу можуть бути найрізноманітнішими.

Планки виготовляють з пружинної сталі товщиною 0,3 – 0,5 мм. Цей метод кріплення використовують для круглих деталей діаметром більше 80 мм, які працюють в умовах коливань температури, вібрацій, поштовхів і т. ін.

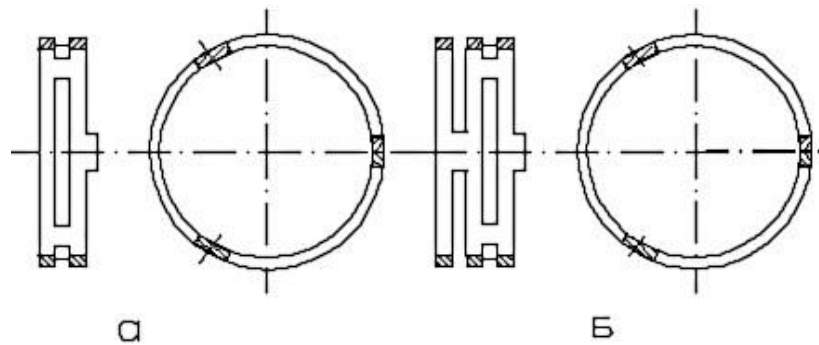


Рис. 2.9. Конструкції пружинних кілець:
а – з одним рядом прорізів; б – з двома рядами прорізів

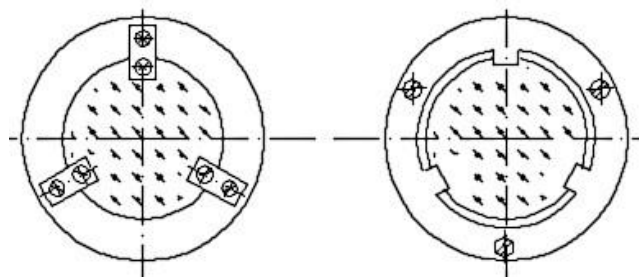


Рис. 2.10. Кріплення пружними планками

2.2. Конструювання вузлів кріплення лінзових систем

До лінзових систем оптичних приладів відносять об'єктиви, окуляри, обертальні системи, системи зміни збільшення, конденсори. В залежності від способів установки і з'єднання цих систем з несучим елементом корпусу конструкції таких систем діляться на насипні, насипні в оправках, різьбові, комбіновані і спеціальні.

В насипних конструкціях лінзи встановлюються послідовно одна за одною безпосередньо в корпусну деталь. Необхідні повітряні проміжки між компонентами витримуються за допомогою проміжних кілець. Оскільки центрування лінз в таких конструкціях ускладнено або неможливо, то вони використовуються в освітлювальних системах, окулярах і відносно простих об'єктивах. Насипна в оправках конструкція відрізняється від попередньої тим,

що лінзи спочатку кріпляться в оправках, а потім встановлюються послідовно в корпусну деталь. На рис. 2.11 показані мікрооб'єктиви насипної і насипної в оправках конструкції.

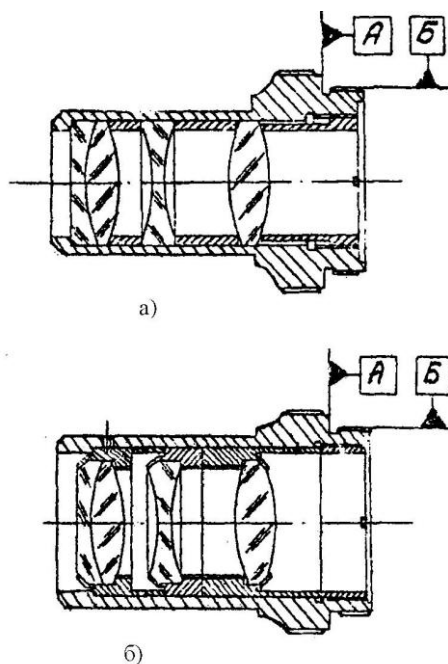


Рис. 2.11. Конструкція мікрооб'єктивів:

а – насипна ; б – насипна в оправках

На рис. 2.12 показана насипна конструкція окулярів мікроскопів.

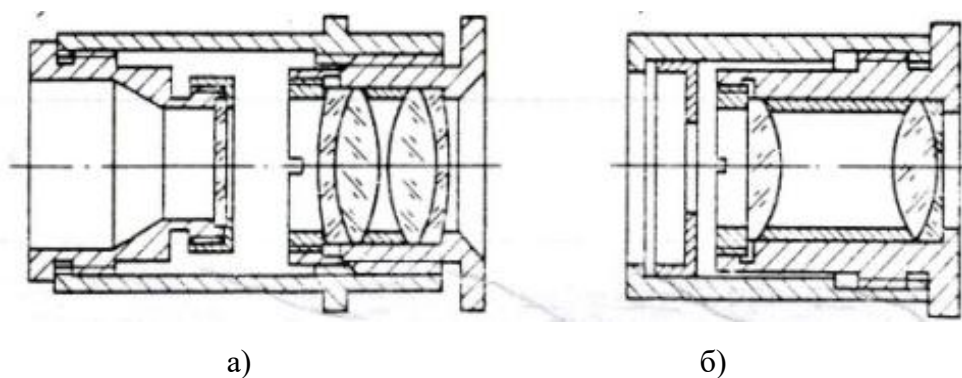


Рис. 2.12. Насипна конструкція окулярів мікроскопів:

а – симетричний; б – ортоскопічний

На рис. 2.13 показаний фотографічний об'єктив «Геліос» насипної в оправках конструкції, а на рис. 2.14 мікрооб'єктив ОМ-21 такої ж конструкції.

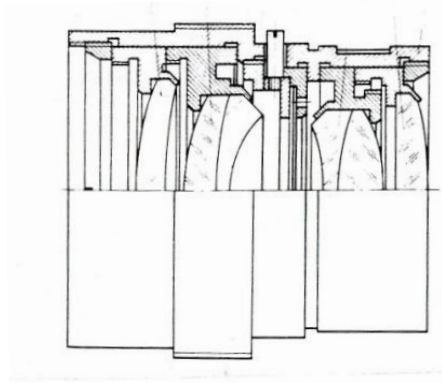


Рис. 2.13. Об'єктив «Геліос» насипної конструкції в оправках

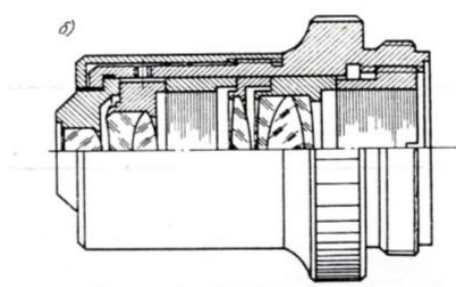


Рис. 2.14. Мікрооб'єктив ахромат ОМ-21 насипної конструкції в оправках

Насипна в оправках конструкція використовується зазвичай при конструюванні багатокомпонентних фотооб'єктивів, проєкційних і дзеркально-лінзових об'єктивів. Особливо цей метод використовується, коли треба закріпити лінзи різних діаметрів і забезпечити високу точність центрування (рис. 2.15 і рис. 2.16).

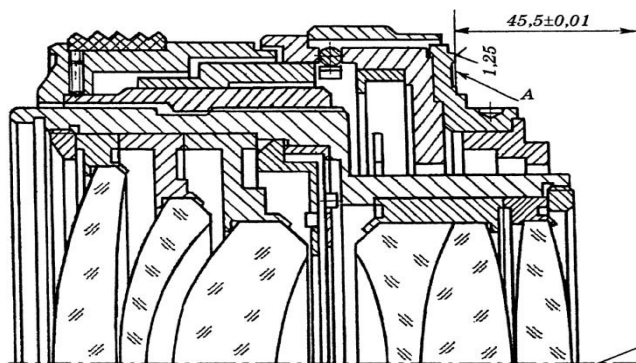


Рис. 2.15. Приклад фотографічного об'єктива насипної конструкції в оправках

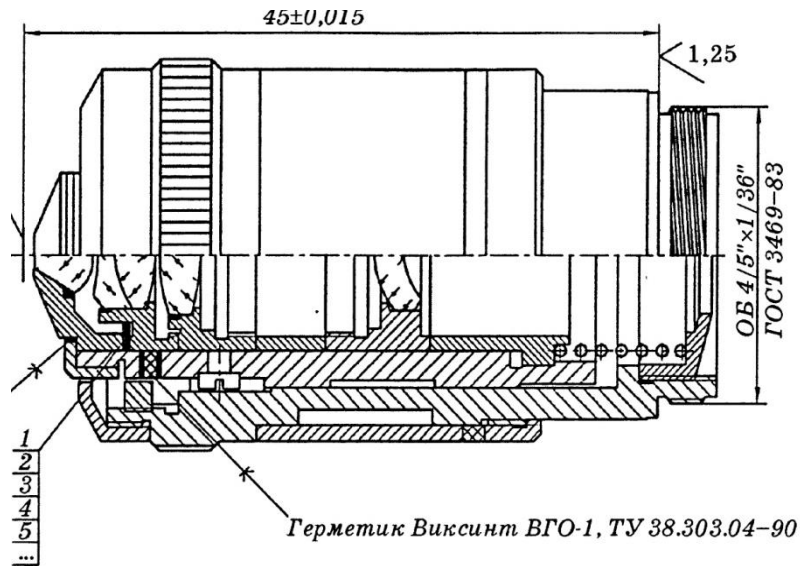


Рис. 2.16. Приклад мікроб'єктива насипної конструкції в оправах

На рис. 2.17 показана конструкція проєкційного об'єктива насипної конструкції в оправах з типовими розмірами і вимогами до шорсткості поверхонь.

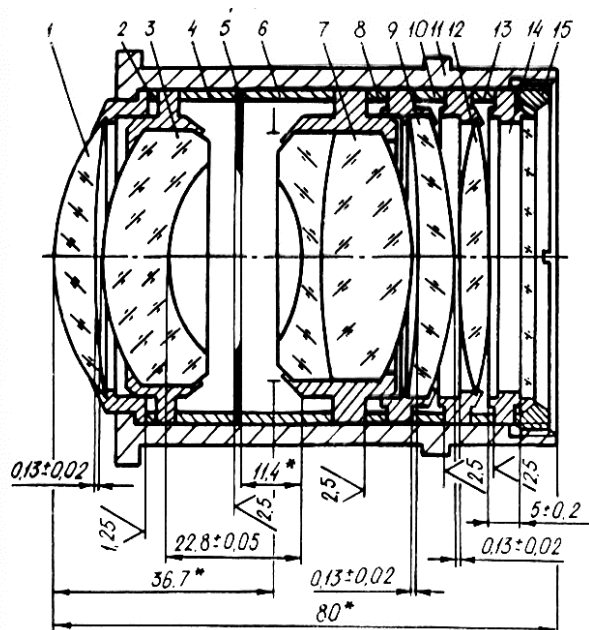


Рис. 2.17. Проєкційний об'єктив насипної конструкції в оправах:

1, 3, 7, 9, 12 – лінзи об'єктива в оправах; 2, 4, 6, 8, 10, 13 – проміжні кільця

На рис. 2.18 показана конструкція дзеркального об'єктива насипної конструкції в оправах. Головне дзеркало 8 кріпиться в оправу 9, яка встановлена в корпус 2. Вторинне дзеркало 5 кріпиться на оправу 3, яка також встановлена в корпус 2.

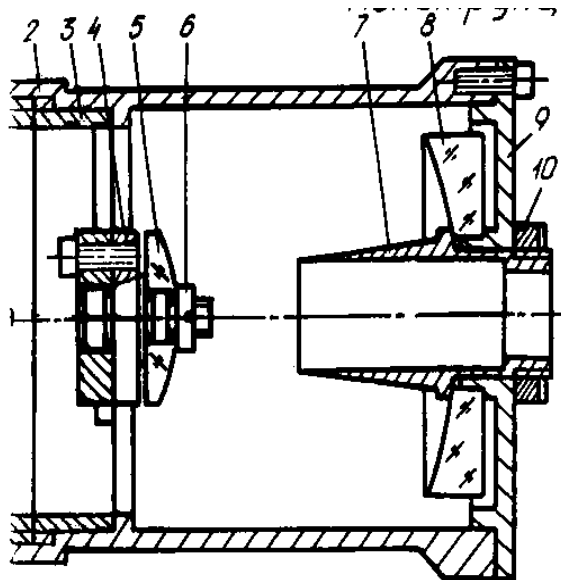


Рис. 2.18. Конструкція дзеркального об'єктива

На рис. 2.19 показана конструкція дзеркально-лінзового об'єктива, де головне дзеркало 7 встановлено в корпус 1 без оправы, а меніск 2 і компенсатор 12 встановлені в корпус 1 за допомогою оправ 3 і 11 відповідно.

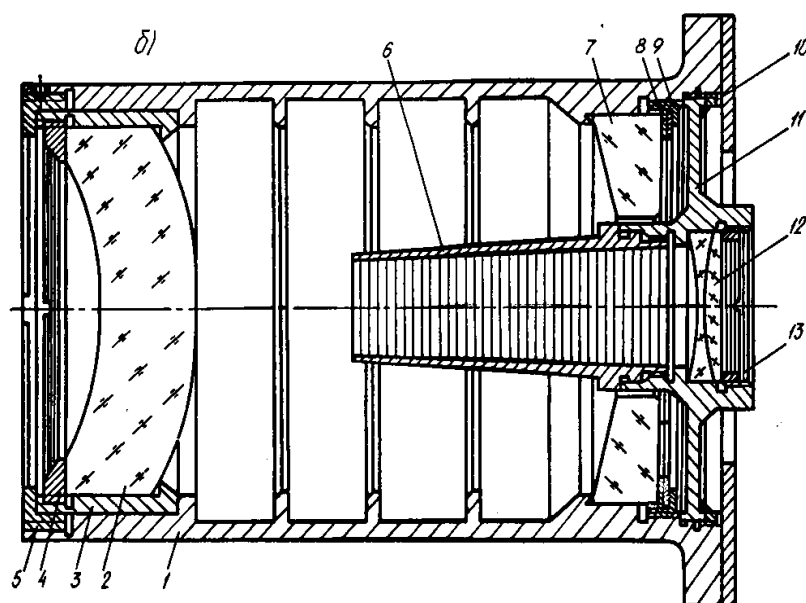


Рис. 2.19. Конструкція дзеркально-лінзового об'єктива

В різьбових конструкціях лінзи і компоненти кріпляться будь яким способом в оправках, котрі поєднуються з корпусом різьбою. Варіанти можливого кріплення лінз і лінзових блоків приведені на рис. 2.18 – рис. 2.20.

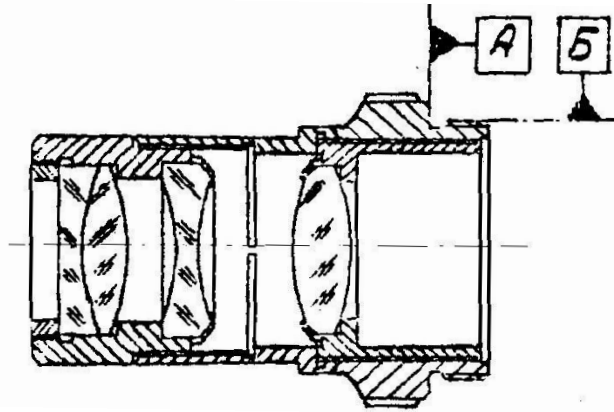


Рис. 2.18. Мікрооб'єктив з різьбовим з'єднанням оправ

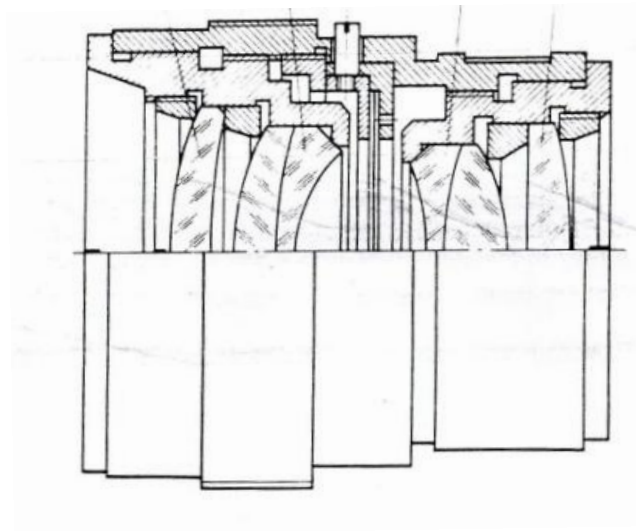


Рис. 2.19. Фотографічний об'єктив

На рис. 2.20 показані конструкції окулярів з різьбовим з'єднанням оправ.

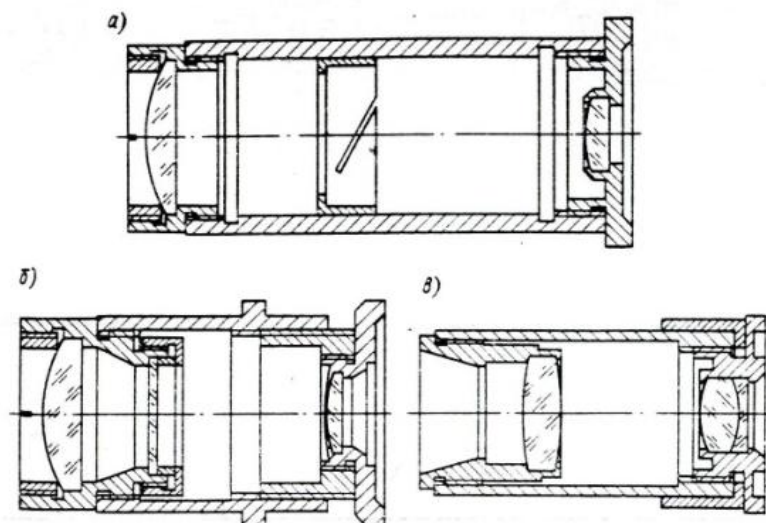


Рис. 2.20. Конструкції окулярів з різьбовим з'єднанням оправ:

а – окуляр Гюйгенса без шкали; б – окуляр Гюйгенса зі шкалою; в – окуляр Кельнера

Для покращення точності центрування об'єтивів на оправах компонентів інколи роблять спеціальні центруючі пояски, тоді різьба робиться з гарантовано більшим зазором по відношенню до зазора посадки центруючого пояска (рис. 2.19).

В конструкції об'єтивів можуть бути передбачені пересування компонентів вздовж осі для фокусування. Тоді доцільними можуть бути конструкції показані на рис. 2.21.

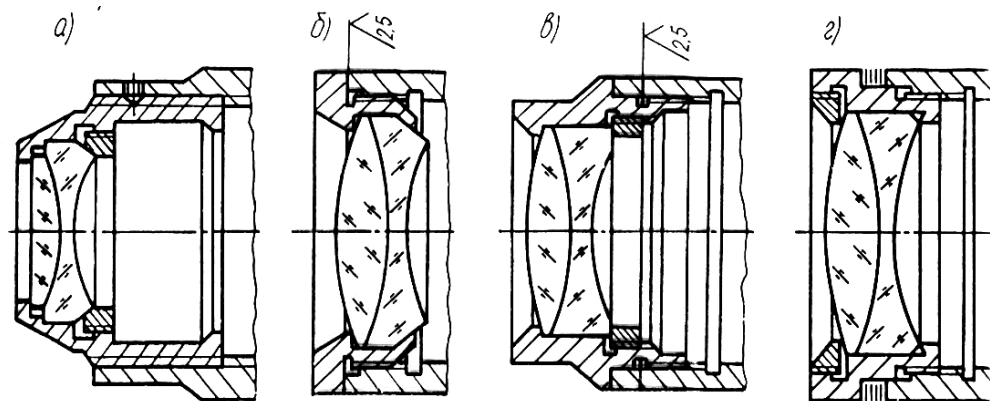


Рис. 2.21. Конструкції об'єтивів з подовжнім юстуванням:

- а – пересування по різьбі; б – підрізка торця; в – підгонка осьового розміру кільця;
г – за допомогою прокладок

На рис. 2.22 показані варіанти компенсації децентрувань об'єтивів, в яких зроблений центруючий поясок.

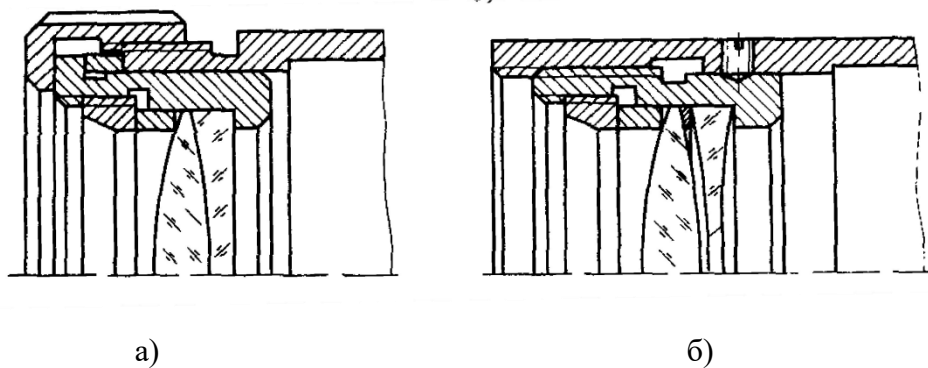


Рис. 2.22. Механізми фокусування об'єтивів з центруючим пояском:

- а – за допомогою проміжного кільця; б – фокусування по різьбі

Різьбова конструкція є найменш технологічною в порівнянні з попердніми, оскільки найбільш трудоміська при виготовленні і складанні, тому зараз використовується рідше інших. Найчастіше така конструкція застовується

в окулярах, де різьба використовується в механізмі діоптрійного наведення. Прикладом використання різьби для діоптрійного наведення є конструкції окулярів показані на рис. 2.23 і рис. 2.24.

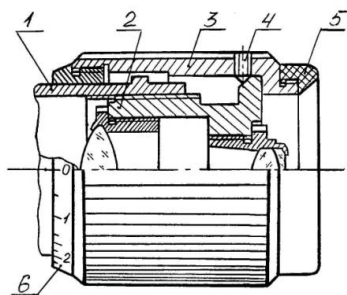


Рис. 2.23. Окуляр з наочником, що обертається:

1– тубус; 2 – оправка; 3 – діоптрійне кільце; 4 – гвинт; 5 – наочник; 6 – діоптрійна шкала

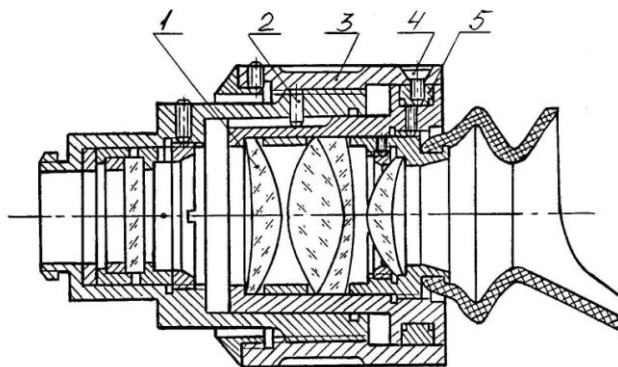


Рис. 2.24. Окуляр з нерухомим наочником:

1– лінзи окуляра; 2 – шпонка; 3 – діоптрійне кільце; 4 – гвинт; 5 – сухар

В конструкції на рис. 2.23 разом з діоптрійним кільцем 3 обертаються лінзи окуляра у оправі 2. В конструкції на рис. 2.24 при обертанні діоптрійного кільця лінзи окуляра пересуваються тільки вздовж осі.

Інколи виникає потреба пересувати лінзи об'єктива у поперечному напрямку по відношенню до осі. Наприклад, в біноклярних телескопічних приладах для компенсації непаралельності осей. В таких випадках лінзи об'єктива встановлюють в ексцентричні оправы (рис. 2.25).

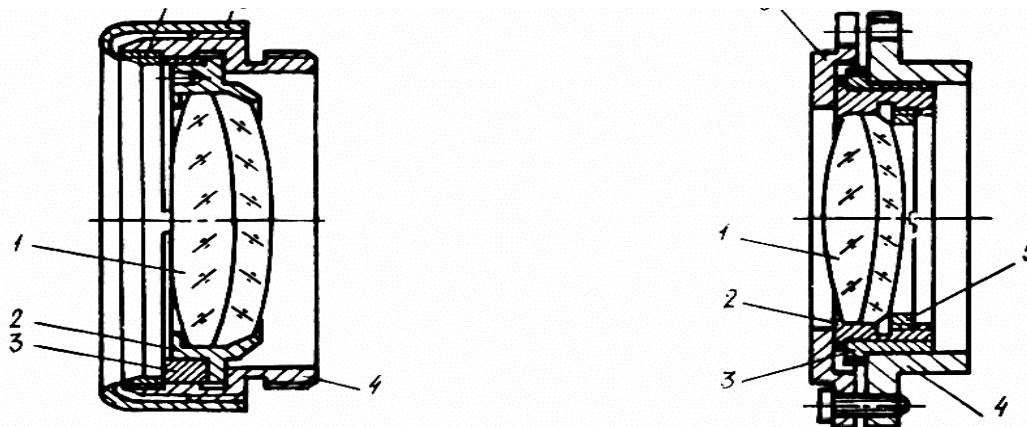


Рис. 2.25. Об'єктиви в ексцентричній оправі:

1 – лінзи об'єктива; 2 – ексцентрична оправа; 3 – ексцентричне кільце

В мікроскопах використовують спеціальну конструкцію мікрооб'єктива разом з дзеркальним конденсором, наприклад, в епіоб'єктиві ОЕ-1 (рис. 2.26).

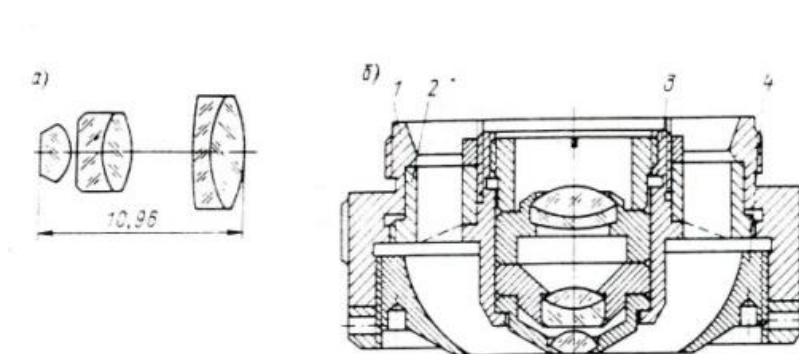


Рис. 2.26. Конструкція епіоб'єктива ОЕ-1:

а – оптична схема; б – конструкція

2.3. Конструювання вузлів з призмами і дзеркалами

За допомогою дзеркально-призмних систем (ДПС) в приладах вирішують такі завдання:

- а) змінюють напрям пучків променів для покращення компоновки приладу;
- б) обертають зображення з метою здобуття прямого зображення;
- в) поєднують пучки променів і розділяють їх;

г) застосовують для юстування приладу (ДПС дозволяє пересувати, нахилияти і повертати площину зображення);

д) ДПС в скануючих пристроях дозволяють розширити поле зору приладу;

е) за допомогою диспергуючих призм розкладають випромінювання в спектр;

ж) за допомогою поляризаційних призм поляризують випромінювання.

Переваги призм у порівнянні з дзеркалами такі:

а) висока жорсткість конструкції;

б) спрощено юстування;

в) спрощені питання кріплення;

г) можливість використання явища повного внутрішнього відбиття (ПВВ).

При розробці вузла кріплення призм необхідно дотримуватися наступних рекомендацій.

1. Робоча площа оправы повина чисто оброблятися і мати високу ступінь площинності ($Ra = 1,2 - 3,2$ мкм). При великих розмірах призми на робочій поверхні оправы роблять вибірку і тоді призма базується на два виступи по краях, або використовують базування на три опорні точки.

2. Рекомендується базувати призму за неробочу грань. При базуванні призми за робочу грань оправа має бути за межами світлового діаметра.

3. Не допускається контакт елементів кріплення призми з її ребрами, щоб запобігти виколкам скла.

4. Між призмою і елементом кріплення (за винятком пружин) необхідно ставити прокладку з пробки, картону, пароніта, текстоліта, сіліконового герметика.

5. Для юстування призм необхідно передбачити в конструкціях вузлів юстувальні пересування.

6. Кріплення склеєних блоків здійснюється за базову призму, яка є найбільш масивною. Інші призми склейки, по можливості, не повинні торкатися елементів оправи.

Кріплення накладкою використовується для призми, що мають паралельне розташування неробочих граней (прямокутна призма, пентапризма, призма Шмідта і т. ін.). Приклад кріплення прямокутної призми показаний на рис. 2.27.

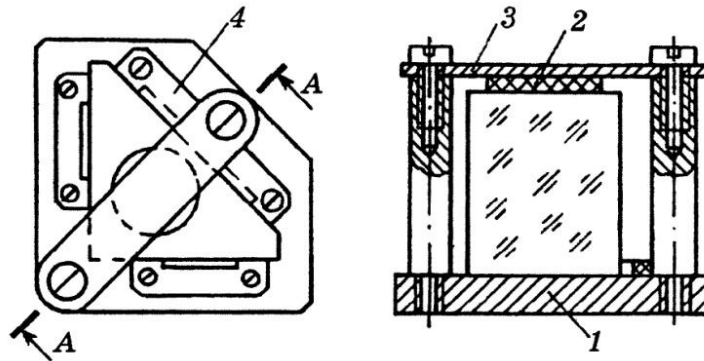


Рис. 2.27. Кріплення прямокутної призми

До оправи 1 призма притискається накладкою 3 через еластичну прокладку 2. Накладка кріпиться гвинтами до двох стійок, поєднаних з оправою. Орієнтація призми вздовж площини оправи здійснюється за допомогою трьох обмежувальних планок 4.

На рис. 2.28 показано кріплення пентапризми на площині накладкою. Базування призми здійснюється двома планками. На рис. 2.29 показано кріплення пентапризми в оправі планкою. Таке кріплення характеризується універсальністю, простотою оправи і простотою складання, надійністю, можливістю юстування призми в оправі.

Кріплення призми кутниками засновано на використанні у вузлі кріплення декількох кутників різної форми. На рис. 2.30 показаний приклад кріплення кутниками прямокутної призми. Особливістю конструкції є те, що в непрацюючих гранях призми виконані прямокутні канавки.

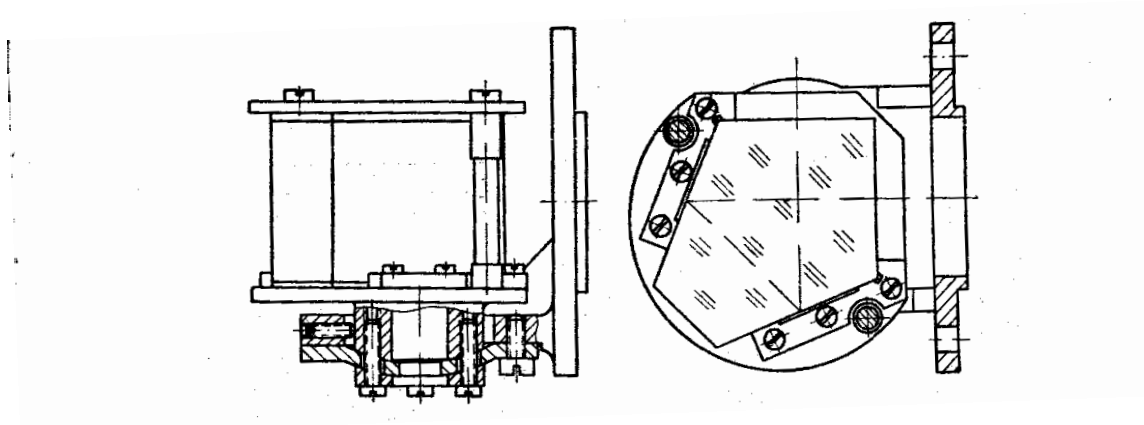


Рис. 2.28. Кріплення пентапризми накладкою

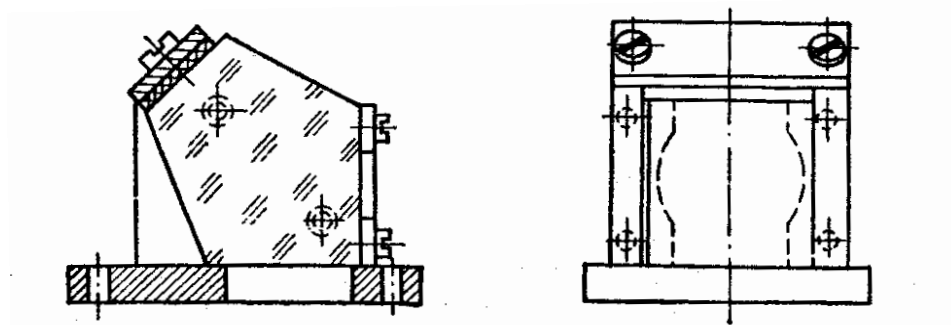


Рис. 2.29. Кріплення пентапризми в оправі накладкою

Кутниками 1 призма тиснеться до основи. Бічне пересування призми обмежується планками 2. Планки гвинтами кріпляться до основи оправы.

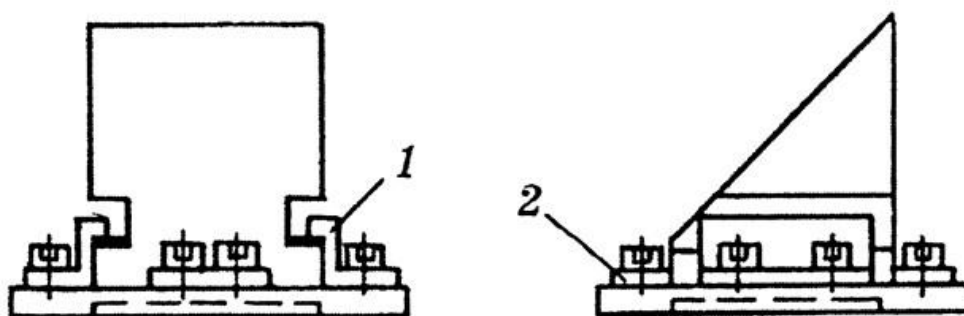


Рис. 2.30. Кріплення призми кутниками

Для кріплення призм використовуються Г- подібні і Z- подібні кутники. На рис. 2.31 показаний приклад кріплення пентапризми такими кутниками.

Орієнтація призми на площині здійснюється за допомогою кутової планки, яка після установки фіксується штифтами. Цей спосіб кріплення призм отримав широке практичне застосування завдяки простоті і надійності.

Кріплення прижимними планками застосовується для кріплення складних призм (призм з дахом, склеєних блоків). На рис. 2.32 показаний приклад кріплення призми АкР-90° прижимними планками.

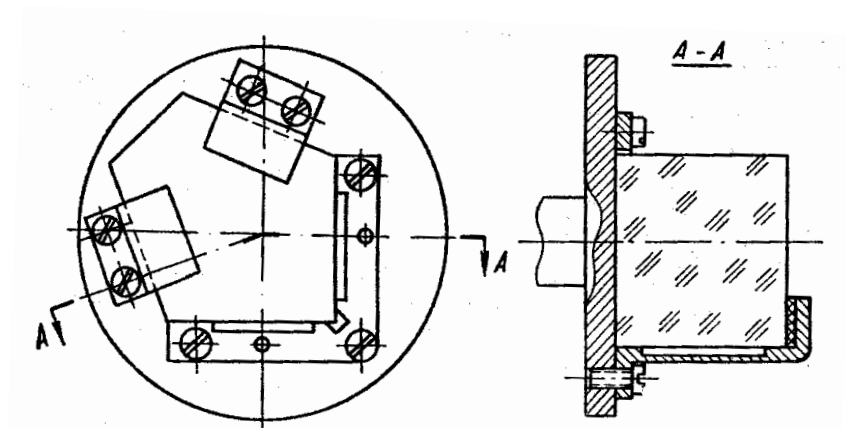


Рис. 2.31. Кріплення пентапризми кутниками

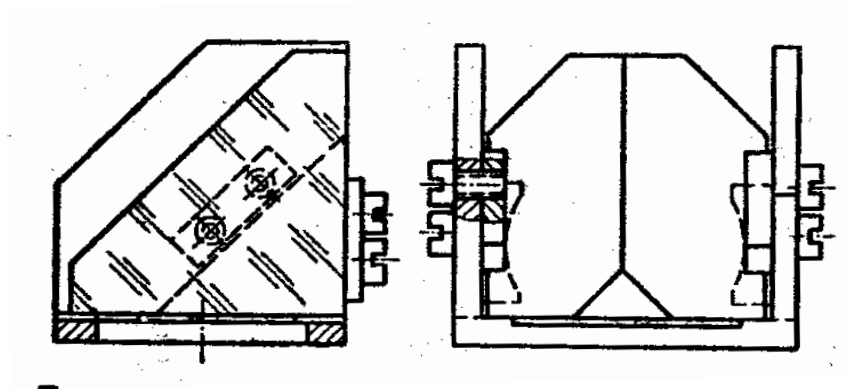


Рис. 2.32. Кріплення призми АкР-90° прижимними планками

Призма встановлена на катетну грань. Дві пари прижимних планок обмежують рух призми в подовжньому і вертикальному напрямках.

На рис. 2.33 показаний приклад кріплення призми БР-180° прижимними планками. Чотири прижимні планки пригвинчені до вертикальних стінок оправи.

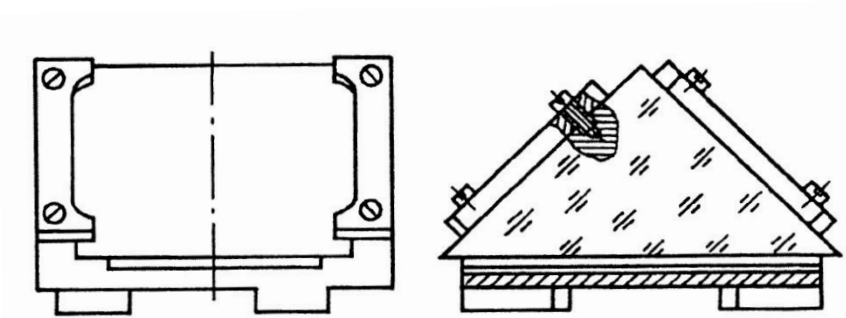


Рис. 2.33. Кріплення призми БР-180° прижимними планками

Недоліком цього методу є неуніверсальність і складність деталей вузла. Юстування призми практично неможливе.

Кріплення установочними гвинтами рекомендується використовувати для закріплення відносно великих призм, коли потрібно розподілити зусилля прижиму рівномірно по всій грані. На рис. 2.34 показаний варіант кріплення пентапризми трьома установочними гвинтами. Між призмою і гвинтами розміщені еластична та металева прокладки. Зміщення і обертання призми вздовж основи оправы обмежені двома планками закріпленими на основі оправы.

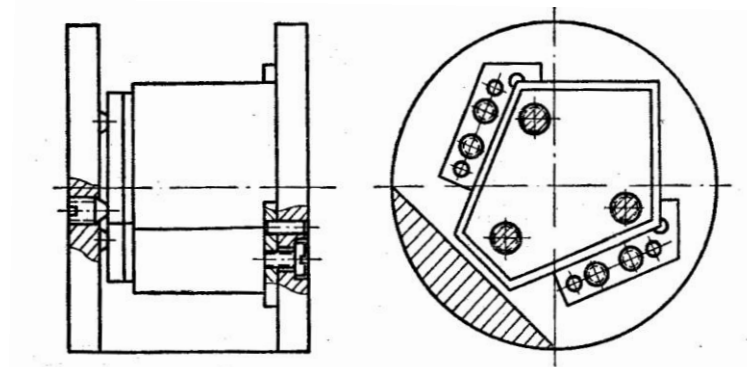


Рис. 2.34. Кріплення пентапризми установочними гвинтами

На рис. 2.35 показаний приклад кріплення призми АкР-0° установочним гвинтом.

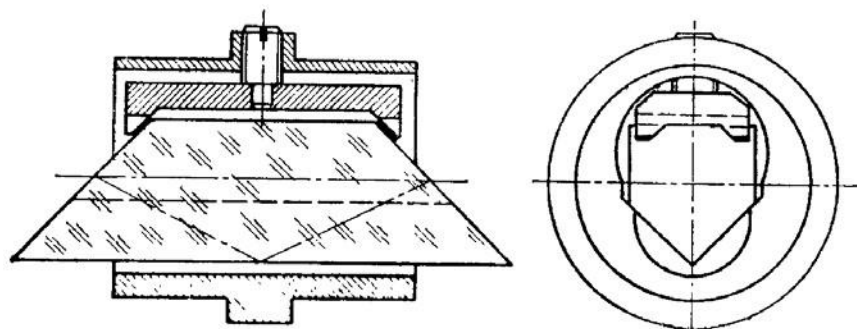


Рис. 2.35. Кріплення призми АкР-0° установочним гвинтом

Кріплення пружинами використовується для закріплення призми при її установці безпосередньо в корпусну деталь приладу. В узлах кріплення використовують пружини різних форм: тарільчаті, плоскі, вигнуті. Пружини

зазвичай виготовляють з пружинної сталі 30Х13, 65Г, У8А. На рис. 2.36 показаний приклад кріплення призми АР-90° вигнутою еластичною пружиною.

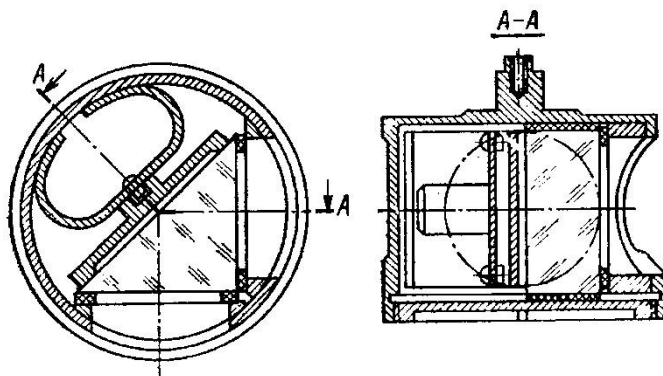


Рис. 2.36. Кріплення призми АР-90° пружиною

Пружина забезпечує незалежність кріплення від вібрацій, поштовхів, а також компенсує дію на вузол кріплення температури.

Кріплення приклеюванням використовується для кріплення призм складної форми і малої маси. Для приклеювання використовуються різні герметики, компаунди, епоксидні смоли і т. ін.

Іноді для кріплення призм використовують спеціальні методи. До них відносять використання сегментних шпонок, або комбінації кріплячих деталей для забезпечення можливості юстування призми. На рис. 2.37 показаний приклад кріплення призми Дове шпонкою, а на рис. 2.38 конструкція, у якій додатково використані вкладиші.

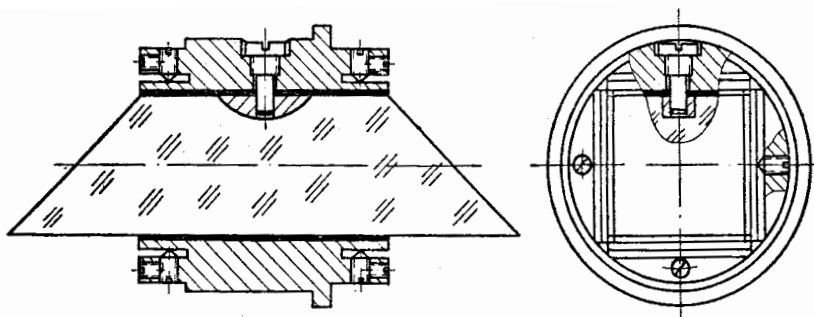


Рис. 2.37. Приклад кріплення призми Дове шпонкою

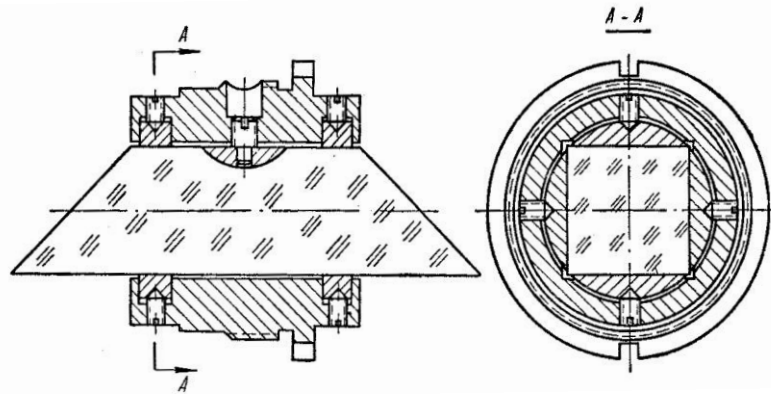


Рис. 2.38. Приклад кріплення призми Дове шпонкою з вкладишами

На рис 2.39 показаний приклад кріплення призми $AP-90^\circ$ у оправі, що юстується. Для поперечних і кутових пересувань призми 3 використовуються юстувальні гвинти 1, 4, 9.

Для кріплення дзеркал використовуються планки, скоби, кутники, різьбові кільця, пружини і інші притискаючі елементи. Особливістю дзеркал, яку треба враховувати при розробці конструкції є їх чутливість до деформацій, а саме вигину і місцевим викривленням форми відбиваючої поверхні. Важливо в конструкції кріплення дзеркала передбачити засоби зниження дії на дзеркало коливань температури.

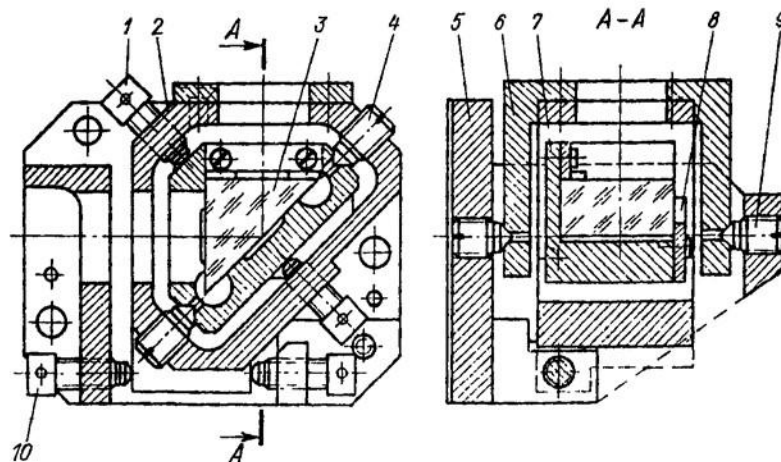


Рис. 2.39. Кріплення призми $AP-90^\circ$ у оправі, що юстується

Такими засобами є:

а) забезпечення температурного зазора між дзеркалом і оправою;

- б) вибір матеріалів дзеркала і оправ з близькими значеннями коефіцієнта лінійного температурного розширення;
- в) використання термокомпенсаторів;
- г) консольне кріплення дзеркал;
- д) виготовлення дзеркал з метала, або склометалевих дзеркал.

Кріплення за допомогою прижимних планок застосовується для точних дзеркал різної форми і розмірів. Дзеркало встановлюється на три виступаючі площини плоскої оправы (рис. 2.40). Прижим здійснюється Z-подібними планками, що гвинтами кріпляться до оправы. Між дзеркалом і оправою встановлюють еластичні прокладки. Виступ В обмежує пересування дзеркала вздовж оправы. Прижимні планки можуть мати Г-подібну форму (рис. 2.40, б)

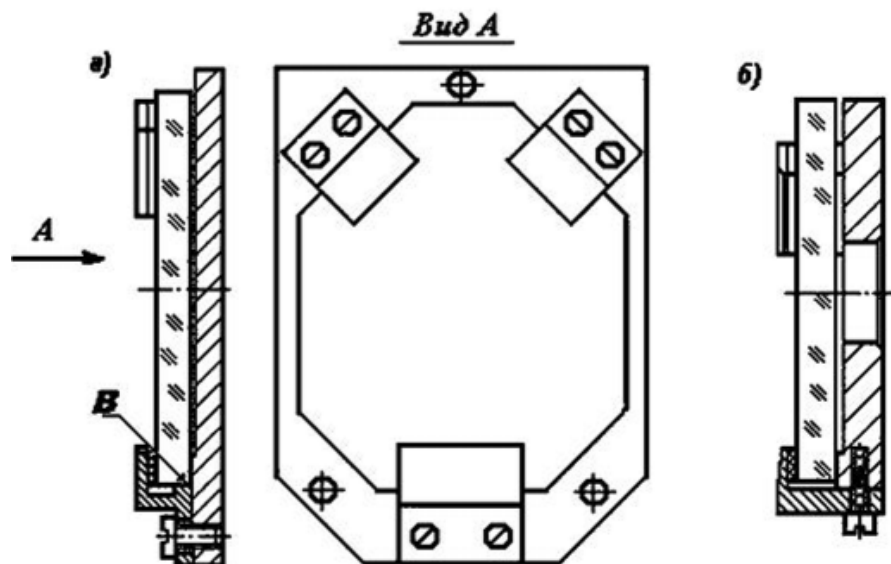


Рис. 2.40. Кріплення дзеркала:

а – Z-подібними планками; б – Г-подібними планками

Кріплення дзеркала за допомогою пружини показано на рис. 2.41. Притискання дзеркала здійснюється диском з вибіркою в центрі, на якій діє гвинтова пружина стискання. Зусилля пружини регулюється гвинтом, положення якого фіксується гайкою. Перевагами такого кріплення є забезпечення стабільності форми і положення дзеркала при механічних діях і коливаннях температури.

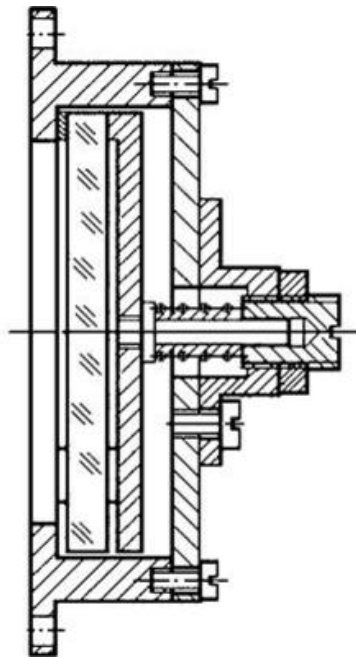


Рис. 2.41. Кріплення дзеркала за допомогою пружини

Конструкція кріплення дзеркала приклеюванням залежить від розмірів, форми і призначення дзеркала в оптичній системі. Для освітлювальних систем можливе кріплення по площині з опорою на прошарок клеючої речовини 1, як це показано на рис. 2.42. Така конструкція не забезпечує точність позиціонування дзеркала 3 відносно оправы 2.

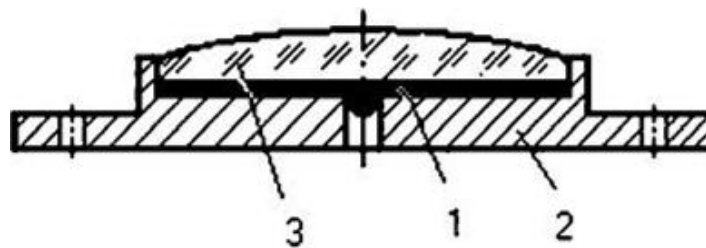


Рис. 2.42. Кріплення дзеркала на прошарок клеючої речовини

В конструкції вузла показаній на рис. 2.43 забезпечене точне базування дзеркала при приклеюванні. Для цього дзеркало 1 встановлено на зроблені у оправі 3 опорні пояски 4 шириною 0,5 мм. Клеюча речовина залита в проміжки між поясками.

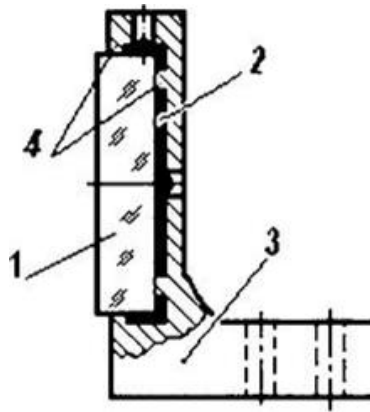


Рис. 2.43. Кріплення дзеркала з установкою на опорні пояски

Для кріплення сферичних дзеркал, що мають отвір в центрі (рис. 2.44), можна скористатися його внутрішньою циліндричною поверхнею. Оправа 2 являє собою пустотілу вісь з фланцем 1, на яку встановлено дзеркало 3. Особливістю оправи є наявність центруючих поясків.

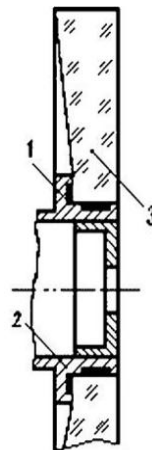


Рис. 2.44. Кріплення сферичного дзеркала

Спеціальними засобами кріплення дзеркал користуються при кріпленні великогабаритних дзеркал, металоскляних, консольними засобами кріплення, кріплення зварюванням, спіканням. Кріплення великогабаритних дзеркал відрізняється тим, що при цьому недостатньо встановити дзеркало на три точки опору. Деформація дзеркала може бути неприпустимою. Тому в конструкціях кріплення кількість опор в напрямку сили тяжіння збільшується. На рис. 2.45 представлена система Лассалю з довільним числом точок осової і радіальної розгрузки на основі нерівноплечіх важелів *aa* шарнірно закріплених у оправі.

На рис. 2.46, а показана консольна конструкція кріплення дзеркала в далекомірі, а на рис. 2.46, б кріплення напівпрозорого дзеркала візира.

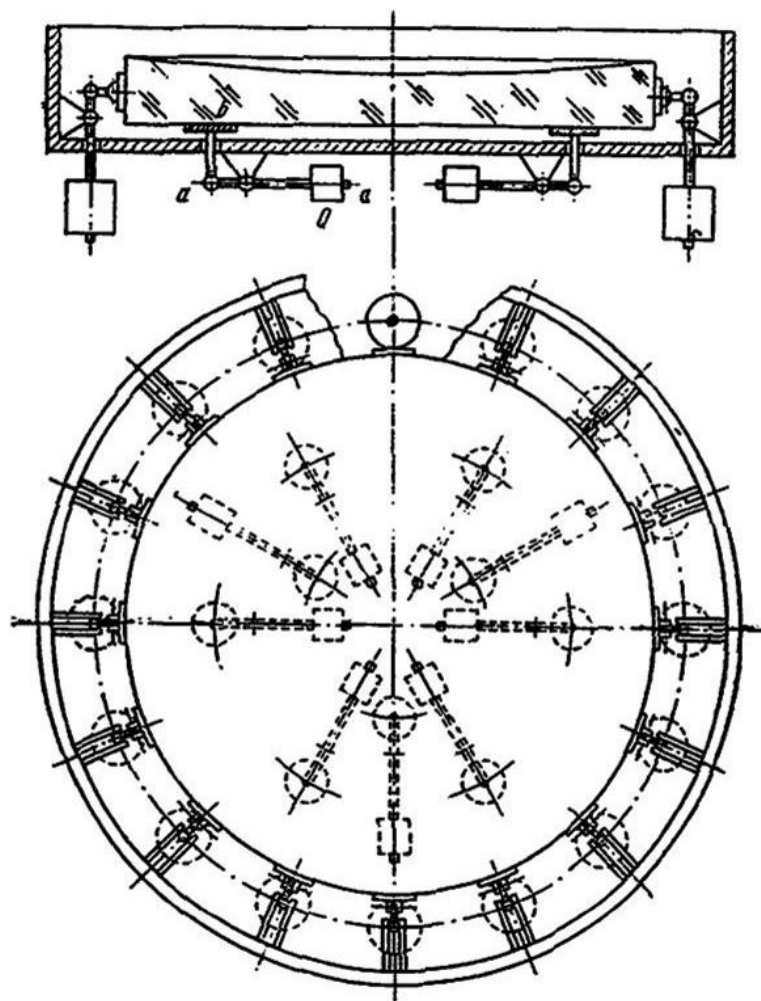


Рис. 2.45. Система кріплення дзеркала телескопа по Лассалю

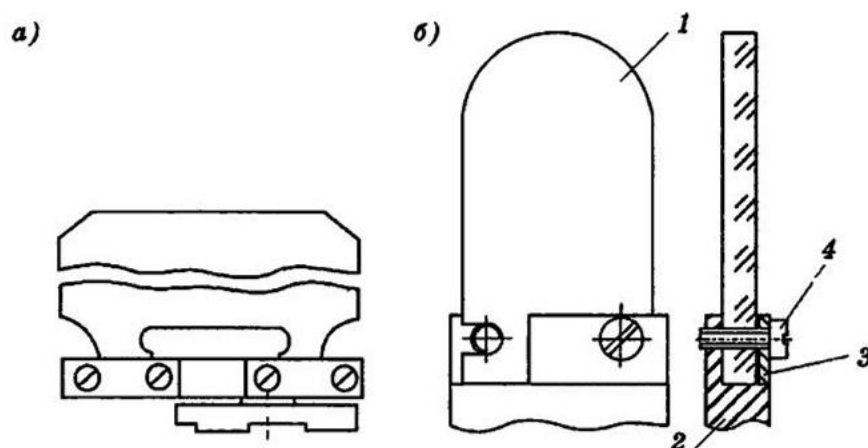


Рис. 2.46. Консольне кріплення дзеркал:

1 – дзеркало; 2 – оправа; 3 – накладка; 4 – гвинт

До вузлів кріплення дзеркальних систем висуваються такі самі вимоги, що і до вузлів кріплення окремих дзеркал. В найбільш відповідальних випадках

передбачаються механізми регулювання кута між дзеркалами. На рис. 2.47 приведена конструкція вузла кріплення двохдзеркальної системи з кутом відхилення променів 180° .

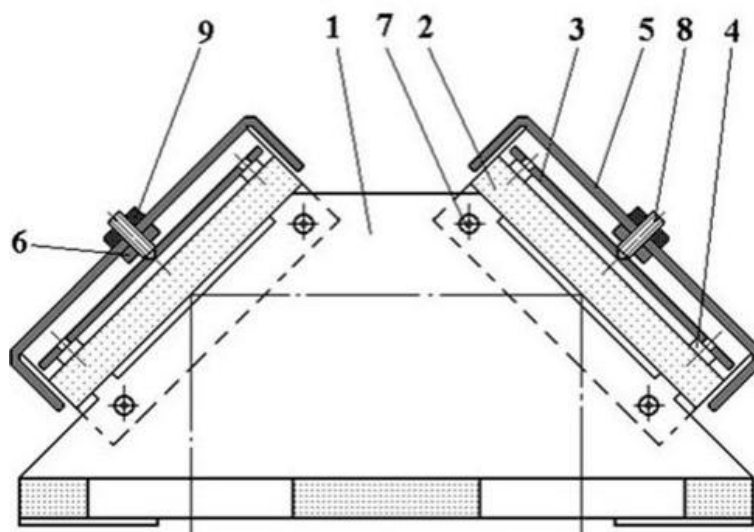


Рис. 2.47. Двохдзеркальна система з кутом відхилення променів 180°

На рис. 2.48, а показана конструкція вузла кріплення кутового дзеркала з кутом відхилення 90° , а на рис. 2.48, б подібна конструкція з можливістю юстування кута.

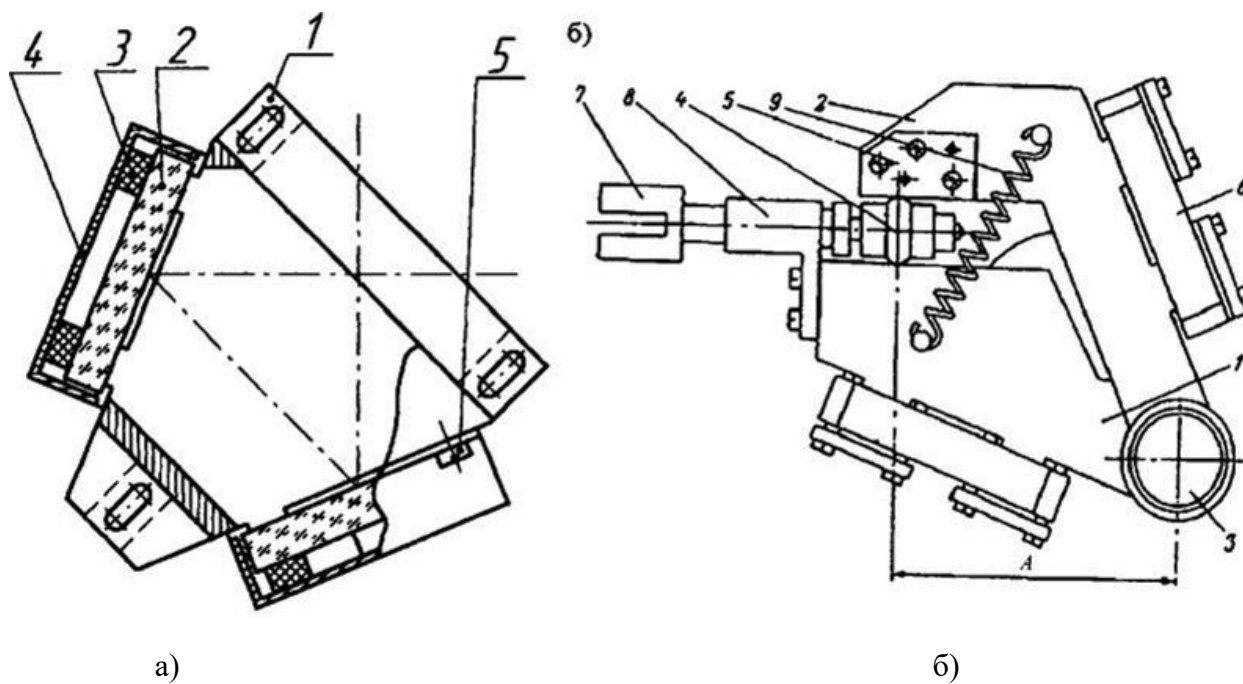


Рис. 2.48. Двохдзеркальна система з кутом відхилення променів 90°

2.4. Вузли кріплення і юстування сіток, шкал, растрів

Вимірювальні сітки, шкали і растри є еталонними елементами функціональних пристроїв, тому при їх кріпленні в оправах не повинно виникати деформацій робочих поверхонь. Ця вимога забезпечується при виконанні таких принципів конструювання з'єднань: статична і геометрична визначеність, силового замикання, врахування теплових властивостей деталей, що з'єднуються.

Для кріплення цих деталей використовують такі самі способи, що і для кріплення розглянутих раніше типових оптичних деталей. Якщо, наприклад, сітка кругла, то вона кріпиться в оправі завальцовкою, приклеюванням, різьбовим кільцем, накладним кільцем. Якщо деталь не кругла, то вона кріпиться прижимними планками, пружинними лапками, приклеюванням. Відмінністю конструкцій вузлів кріплення є те, що в них треба передбачати юстування положення марок відносно баз пристрою, що проектується.

Наприклад, вузли візирних та вимірювальних сіток треба пересувати в напрямках перпендикулярних до оптичної осі, а також повертати відносно цієї осі. Така конструкція показана на рис. 2.49, а. Сітка 1 завальцована в оправу 2, що притиснута юстувальними гвинтами 4 до фланця корпусної деталі 3. Оправа може бути повернута навколо конічної фаски і зсунута гвинтами 4 перпендикулярно до оптичної осі. Ковпачок 5 слугує для забезпечення стабільності пристрою після юстування.

На рис. 2.49, б показана конструкція кріплення растра 1 у оправі 3 накладним кільцем 2. Для компенсації похибок виготовлення розмірів растра і оправы, а також для виключення температурних деформацій накладне кільце має пружні властивості. Центрування растра відбувається радіальним його зсувом відносно базового циліндра оправы А в межах зазора посадки, або радіальним зсувом оправы разом з растром при складанні пристрою.

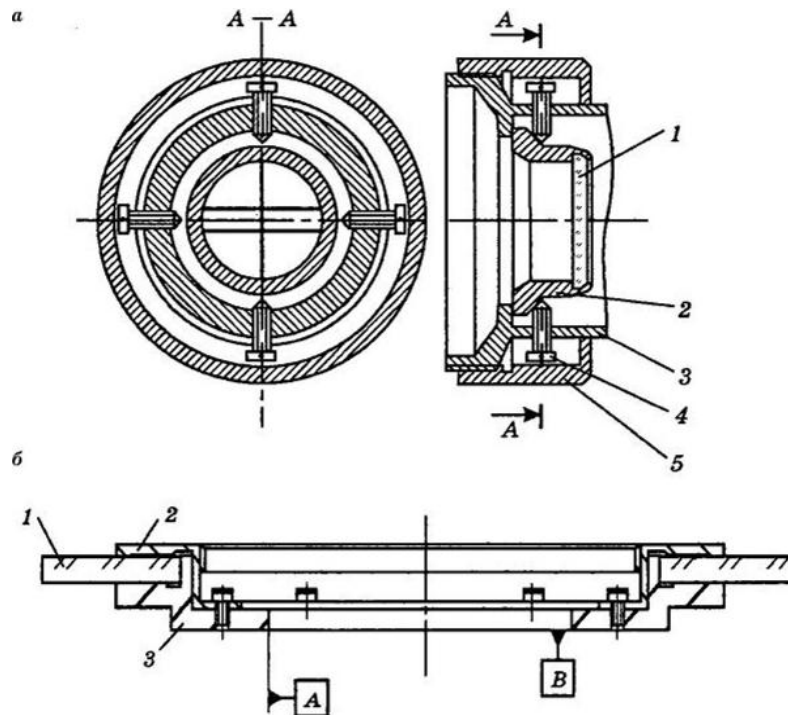


Рис. 2.49. Конструкція кріплення сіток і растрів

На рис. 2.50 показана конструкція вузла кріплення вимірювальної відбиваючої дифракційної ґратки 1 у вимірювальній пінолі 2. Ґратка притискається своєю робочою поверхнею пружинами 6 до виступу пінолі, робоча поверхня якого розташована на осі пінолі і фіксується гвинтами 3 – 5.

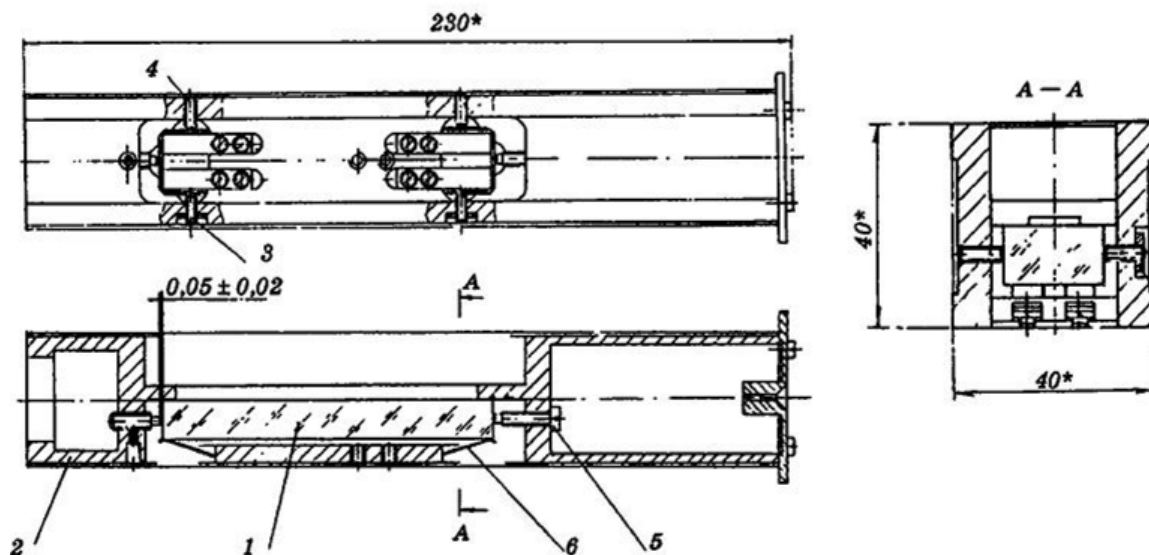


Рис. 2.50. Вузол вимірювальної відбиваючої дифракційної ґратки

2.5. Конструювання вузлів освітлювачів і фотоприймачів

Конструкція вузлів освітлювачів включає джерело випромінювання, елементи його кріплення, юстування, амортизації, охолодження. Основні вимоги до конструкції вузла освітлювача приведені нижче.

1. Забезпечення стабільності положення джерела і індикатриси його випромінювання незалежно від зовнішніх чинників, що змінюються.

2. У конструкції вузла джерела мають бути передбачені подовжні фокусування, поперечні центрування, обертання для зміни орієнтації індикатриси випромінювання.

3. У вузлі кріплення джерела випромінювання мають бути передбачені заходи ефективного відведення від нього теплової енергії і ослаблення випромінювання від нагрітих елементів конструкції. При цьому необхідно, щоб в стані теплової рівноваги, температура джерела не перевищувала допустимої для нього межі. Для забезпечення нормальних теплових режимів роботи необхідно добиватися хорошої теплопровідності патрона і кожуха випромінювача та інших елементів. Тому для таких деталей треба брати матеріал з високим коефіцієнтом теплопровідності.

4. У конструкції вузла необхідно забезпечити великі площі контакту деталей, що з'єднуються. Чистота обробки поверхонь, що з'єднуються, має бути дуже високою. Для інтенсифікації тепловідводу за рахунок випромінювання в довколишній простір, потрібно збільшити коефіцієнт випромінювання кожуха і інших деталей. Для цього ці деталі покривають темними фарбами, або роблять окиснення чорним. Коефіцієнт випромінювання деталей має бути 0,89 – 0,93. В окремих випадках застосовують ребра, що збільшують поверхню випромінювання тепла в зовнішнє середовище. Часто в конструкції здійснюють передачу тепла від джерела до корпусу завдяки спеціальному кронштейну. У випадку, коли вказані заходи не ефективні, застосовують примусове охолодження, яке може бути

повітряним або водяним. Повітряна вентиляція може бути припливною (вентилятор знизу), витяжною (вентилятор зверху) і комбінованою. Будь-який з видів вентиляції передбачає герметизацію приладу.

5. Вузол кріплення джерела випромінювання має бути простим по конструкції, надійним при дії зовнішніх факторів, мати мінімальні габарити і вагу.

На рис. 2.51 показані декілька варіантів приладових освітлювачів. Так на рис. 2.51, а показаний освітлювач з малою лампою і конденсором. Лампа 4 встановлена в сферичний шарнір, що складається з шарової втулки 3 і двох різьбових опор 2, закріплених в корпусі 1. Конденсор освітлювача складається з двох лінз, що завальцовані в оправу 5 і втулку 6. Конденсор може пересуватися в корпусі 1 при ковзанні в ньому оправу 5. Пересування здійснюється поводком 7, який ковзає в гвинтовому пазу корпусу 1. Корпус має посадковий діаметр для установки і кріплення освітлювача в приладі.

Конструкція освітлювача з лампою РН8-20 показана на рис. 2.51, б. Лампа з патроном встановлена у втульці 8, яка може пересуватися у оправі 7 і фіксуватися в ній гвинтом 6. Оправа 7 закріплена шайбою 2 на мембрані 3 з отворами для вентиляції. Мембрана закріплена на корпусі 1 кришкою 5 і різьбовим кільцем 4. В кришку ввернуті три гвинта 9, що розташовані під кутом 120° один до одного. Вони, впираючись у шайбу 2, нахиляють лампу для юстування. Конденсор складається з двох лінз завальцованих в оправу 11 і втулку 12.

Така ж лампа використовується в освітлювачі показаному на рис. 2.51, в. Лампа з стандартним патроном утримується у втулці 6 на терті. Втулка разом з шайбою 4 пересувається гвинтами 5 в оправі 2 з кришкою 3. Оправа закріплена на корпусі 1 з протилежного боку якого розташована оправа 9 конденсора. Лінзи конденсора закріплені у втулці 7 завальцовкою і різьбовим кільцем. На осі 12 оправу 9 встановлені світлофільтри 10.

Охолодження освітлювача може здійснюватися за рахунок збільшення площі його зовнішнього корпусу. Такі освітлювачі з типовим конденсором з

кварцового скла показані на рис. 2.52. Змінний освітлювач з лампою РН8-20 (рис. 2.52, а) зібраний в корпусі 6. Шайба 3 з втулкою 5 слугує для забезпечення поперечного пересування. Стандартний патрон 1 з лампою встановлений на терті. Пересування шайби 3 здійснюється двома гвинтами 10 і пружним упором 4, які розташовані під кутом 120° один до одного в корпусі 6. З іншої сторони на корпусі кріпиться конденсор 7, для чого використовується пружинне кільце 8 і різьбове кільце 9.

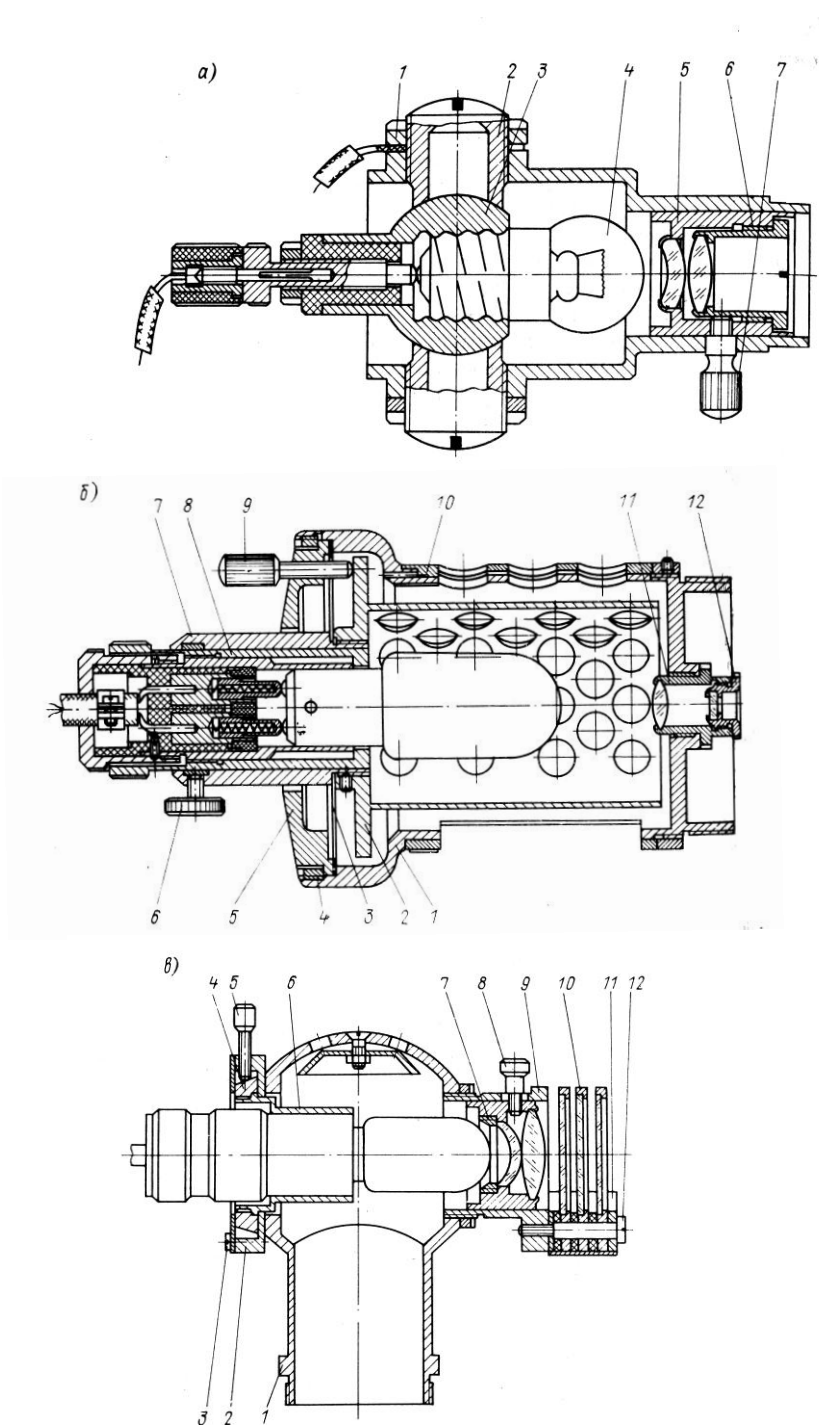


Рис. 2.51. Приладові освітлювачі

Освітлювач з лампою КГМ9-70 конструктивно подібний до попереднього. Все кріпиться в корпусі 5 (рис. 2.52, б). Шайба 2 з втулкою 4 пересувається гвинтами 6 і пружним упором 3 в корпусі 5 з кільцем 12. Патрон 1 тримається на терті у втулці 4. Конденсор 7 закріплений в оправі 8 пружним 10 і різьбовим 9 кільцями. В оправі 8 закріплений світлофільтр 11.

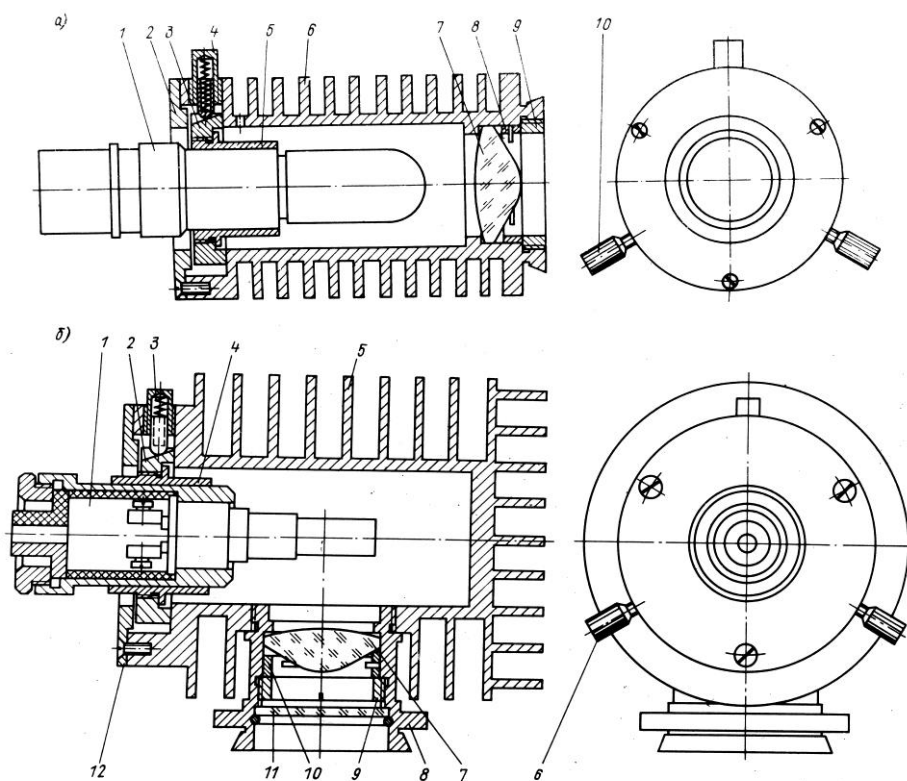


Рис. 2.52. Змінні освітлювачі

Освітлювач проекційної системи показаний на рис. 2.53 розрахований на використання лампи КГМ 9 – 70. Освітлювач зібраний в корпусі 4, який виконаний у вигляді втулки з ребрами і фланцем для кріплення у приладі. Патрон 6 з лампою пересувається і фіксується двома гвинтами 8 і пружинним упором 7. Для зменшення нагріву корпусу його внутрішня поверхня полірується, а за рахунок діафрагми 5 з полірованою сферичною поверхнею частина променевої енергії виводиться вгору. Лінзи кріпляться різьбовими кільцями. При цьому нижнє різьбове кільце 3 виконано у вигляді оправы до світлофільтра 2. Світлофільтр 1 кріпиться в оправі с прорізами 9.

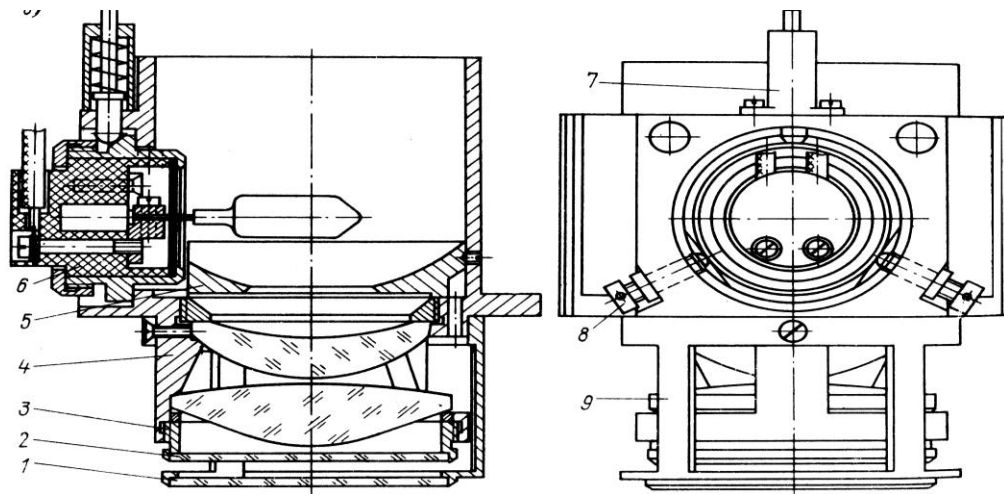


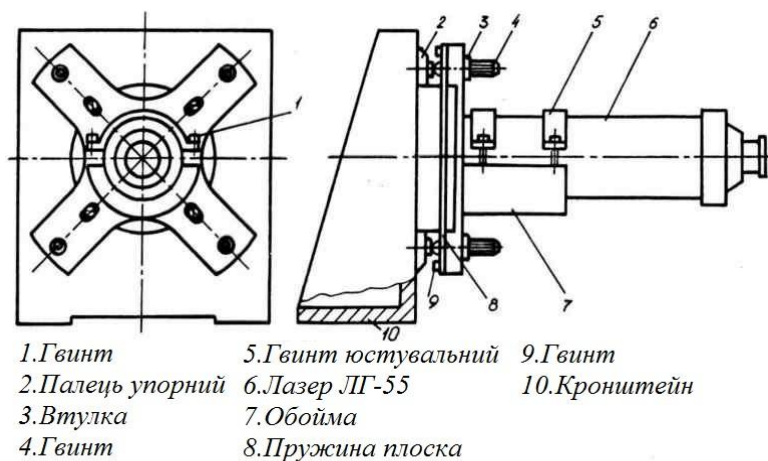
Рис. 2.53. Освітлювач проекційної системи

Вузли кріплення лазерів ЛГ-55 і ЛГ-44 показані на рис. 2.54. Конструкція кріплення лазера ЛГ-55 дозволяє змінювати положення лазерного променя за допомогою юстувальних гвинтів 4 шляхом деформації плоскої пружини 8. Лазер ЛГ-44 більш потужний і встановлений в кронштейни 4. Зміна положення лазерного променя в цій конструкції відбувається регулюванням ніжок кронштейна.

Широкий спектр сучасних випромінювачів і фотоприймачів ставлять перед конструктором завдання по розробці раціональної конструкції їх кріплення. Найчастіше в сучасних оптико-електронних приладах використовуються напівпровідникові джерела і приймачі випромінювання. Вузол кріплення має забезпечувати надійність закріплення без зсувів при зовнішніх діях і без деформацій. Конструкція вузла має бути простою, технологічною і, при потребі, давати можливість юстування.

Кріплення установочним гвинтом показано на рис. 2.55. Джерело або фотоприймач 1 встановлюють в оправу 2 і фіксують гвинтом 3. Перевагами способу є простота і технологічність, недолік – можливість пошкодження корпусу випромінювача або приймача при перетисканні гвинтом. Цей спосіб застосовується, якщо відсутні жорсткі вимоги до точності позиціювання.

Вузол кріплення лазера ЛГ-55



Вузол кріплення лазера ЛГ-44

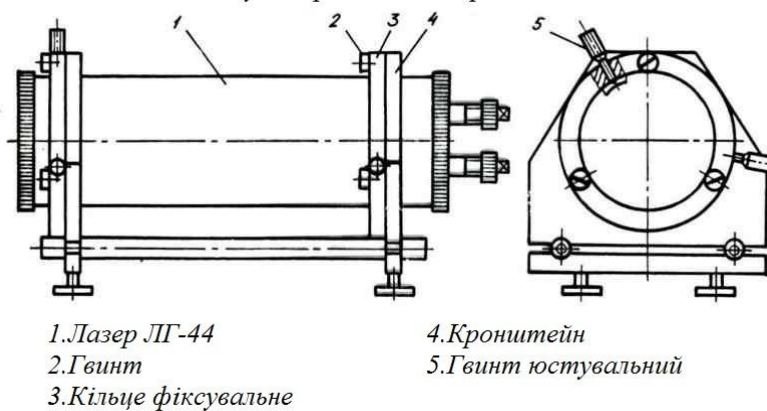


Рис. 2.54. Лазерний освітлювач

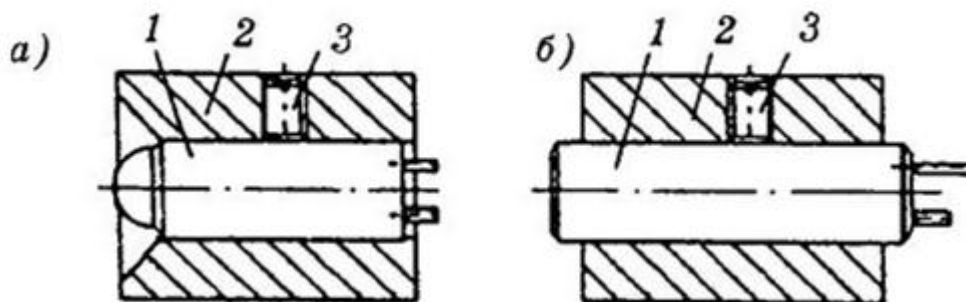


Рис. 2.55. Кріплення установочним гвинтом:

а – кріплення світлодіода; б – кріплення фотоприймача

Кріплення за допомогою різної втулки показано на рис. 2.56. Джерело (фотоприймач) 1 встановлюють в різну втулку 2, а потім в корпус 3. Положення деталей фіксується гвинтом 4. Такий спосіб запобігає пошкодженню корпусу джерела або фотоприймача.

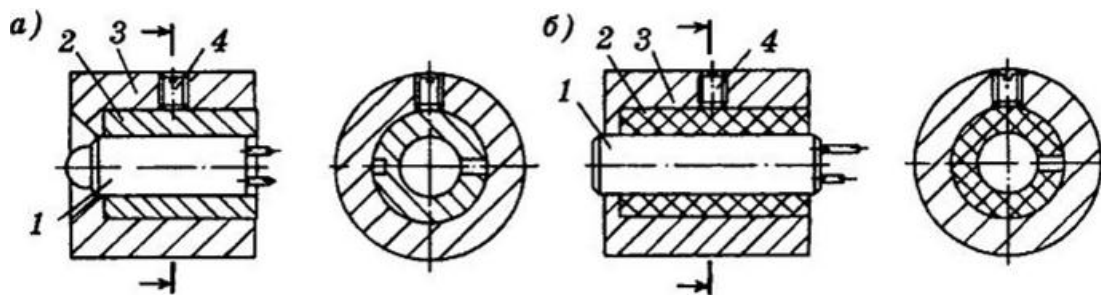


Рис. 2.56. Кріплення за допомогою розрізної втулки:

а – світлодіода; б – фотодіода

Кріплення хомутом показано на рис. 2.57. Джерело (фотоприймач) 1 встановлюють в корпус 2, частина якого має вигляд хомути. Гвинт 3 стягує хомут і утримує джерело або фотоприймач. Спосіб аналогічний попередньому, але технологічно більш складний.

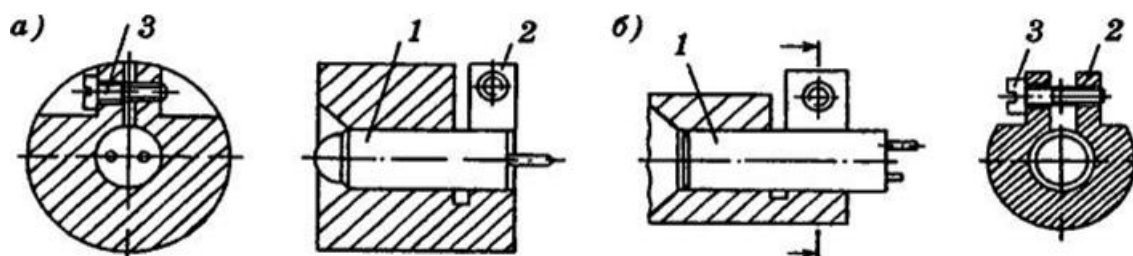


Рис. 2.57. Кріплення хомутом:

а – світлодіода; б – фотодіода

Приклад кріплення фотодіода різьбовим кільцем показаний на рис. 2.58. Для забезпечення рівномірного притискання кільця 4 до оправи фотодіода 1 встановлюють пружинне кільце 2.

На рис. 2.59 фотодіод 1 встановлюють в оправі 3, а потім разом з еластичною прокладкою 4 базують в корпусі 2 і прижимають різьбовим кільцем 5. Прокладка забезпечує герметизацію корпусу. На рис. 2.60 напівпровідниковий лазер 1 разом з кільцем 6 встановлюють в корпус 2 і притискають різьбовим кільцем 3. Для уникнення розвороту лазера встановлюють шпонку.

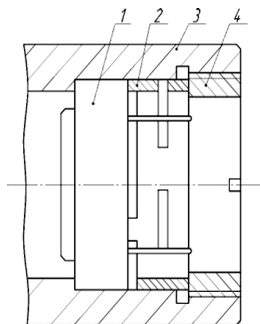


Рис. 2.58. Приклад кріплення фотодіода різьбовим кільцем

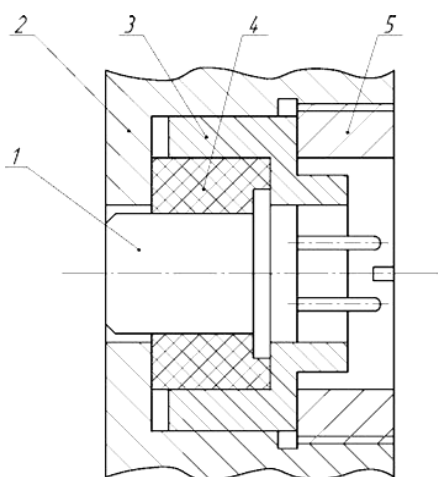


Рис. 2.59. Кріплення фотодіода

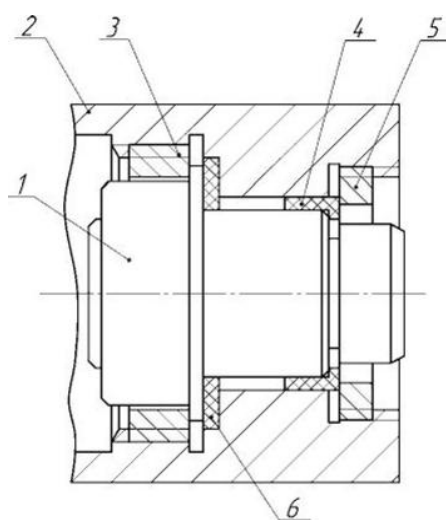


Рис. 2.60. Кріплення лазера

Кріплення приклеюванням просте, технологічне і надійне, але при цьому нема можливості заміни пошкодженого джерела (фотоприймача). Приклад кріплення приклеюванням показаний на рис. 2.61. Джерело (приймач) 1 утримуються в корпусі 2 клеючою речовиною.

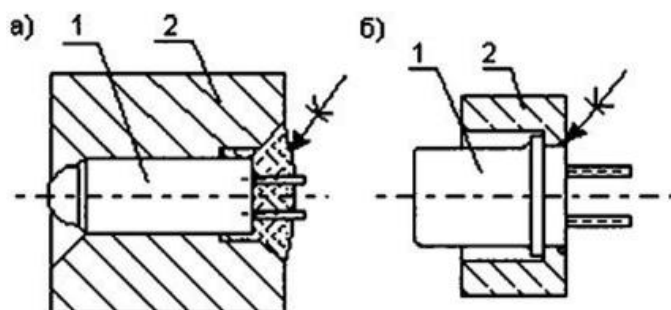


Рис. 2.61. Кріплення приклеюванням:
а – світлодіода; б – фотоприймача

Юстувальні пересування джерел і приймачів випромінювання можна розділити на три види: кутові, подовжні і поперечні [9]. На рис. 2.62 показані два варіанти конструкції вузла кріплення світлодіода. Пристрій вузла кріплення світлодіода з фокусуванням і регулюванням напрямку випромінювання дозволяє розвертати світлодіод за допомогою шарової втулки. В конструкції передбачена можливість пересування світлодіода вздовж осі за допомогою різьбового з'єднання втулки 4 і різьбового кільця 8 з корпусом 5. Друга конструкція окрім подовжнього пересування дає можливість центрувати світлодіод ексцентриковими кільцями 8.

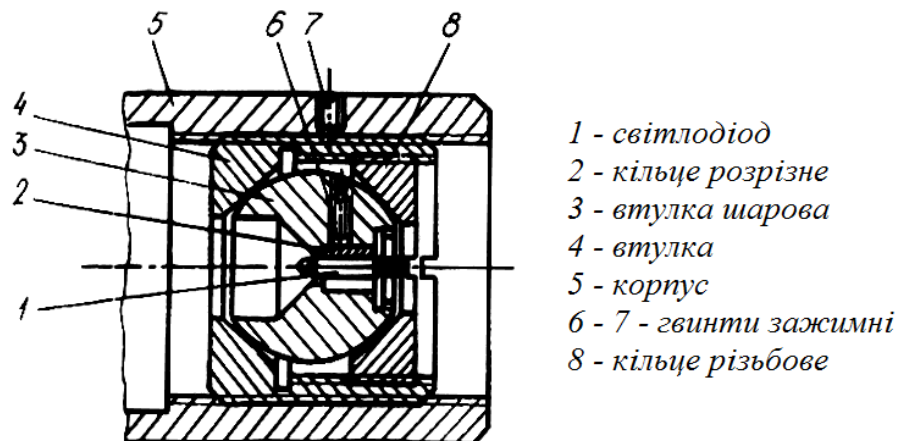
Перевагами розглянутих конструкцій вузлів кріплення з можливістю юстування є плавність і висока чутливість подовжнього і поперечного пересування.

Недолік конструкції – порівняльна складність її виготовлення.

На рис. 2.63 показані приклади кріплення фотодіода з можливістю центрування ексцентриковою втулкою 2 (рис. 2.63, а) При розвороті ексцентрикової втулки навколо осі фотодіод 5 пересувається в поперечному напрямку. Прокладка 6 забезпечує точне подовжнє положення фотодіода. Потім вся конструкція притискається до корпусу 7 різьбовим кільцем 1.

Поперечне пересування фотодіода 1 в конструкції на рис. 2.63, б здійснюється чотирма юстувальними гвинтами 3, які розташовані під кутом 90° один до одного.

*Пристрій для кріплення світлодіода з фокусуванням
та регулюванням напрямку випромінювання*



*Пристрій для кріплення світлодіода з його центруванням,
фокусуванням та регулюванням напрямлення випромінювання*

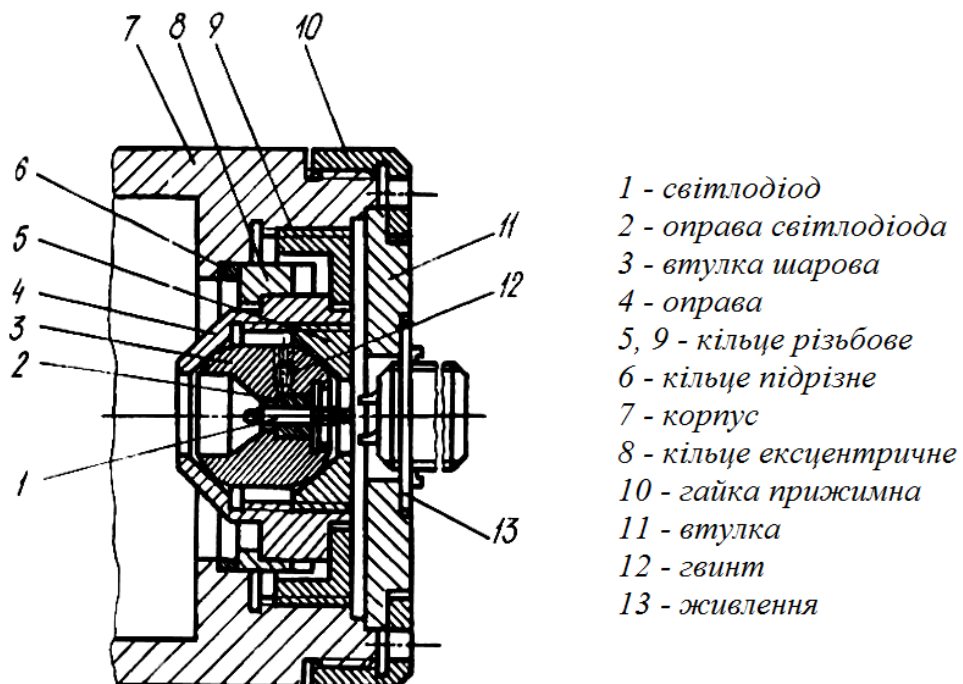


Рис. 2.62. Освітлювач із світлодіодом

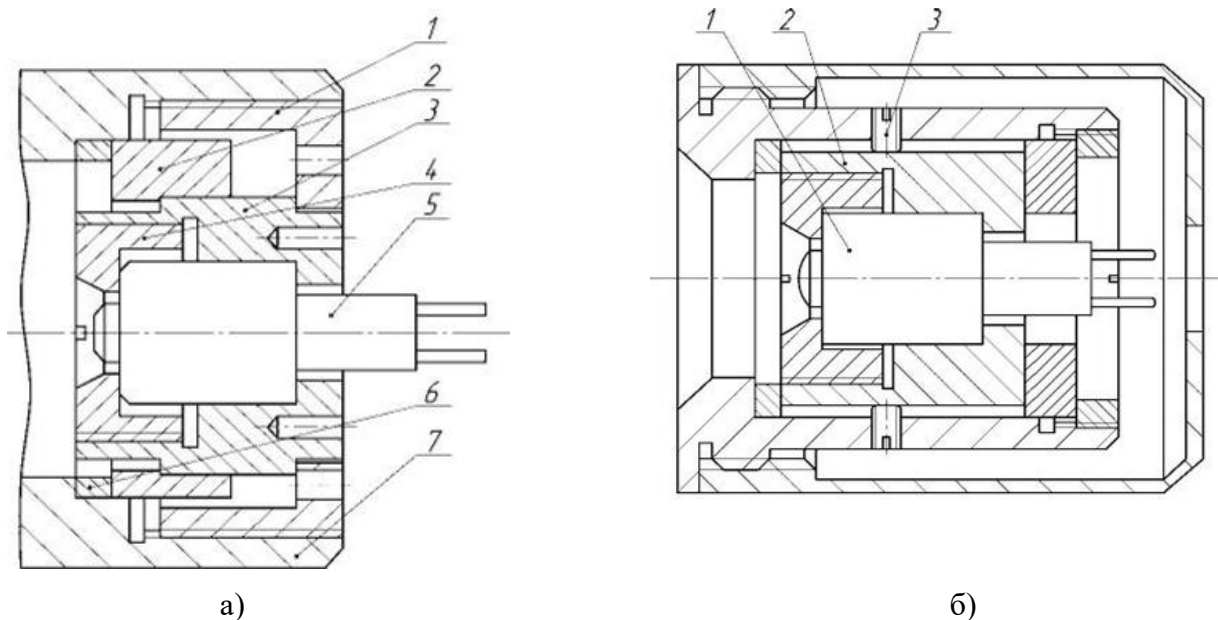


Рис. 2.63. Кріплення фотоприймача з можливістю центрування:
а – ексцентриковою оправою; б – юстувальними гвинтами

Якщо необхідна висока чутливість розворота приймача відносно осі і висока чутливість його фокусування, можна скористатися конструкцією вузла показаною на рис. 2.64. Тут фокусування приймача 3 здійснюється пересуванням вздовж осі деталі 5 різбовими кільцями 2 і 4. Розворот здійснюється за допомогою ексцентрика 7. Центрування виконується гвинтами 6.

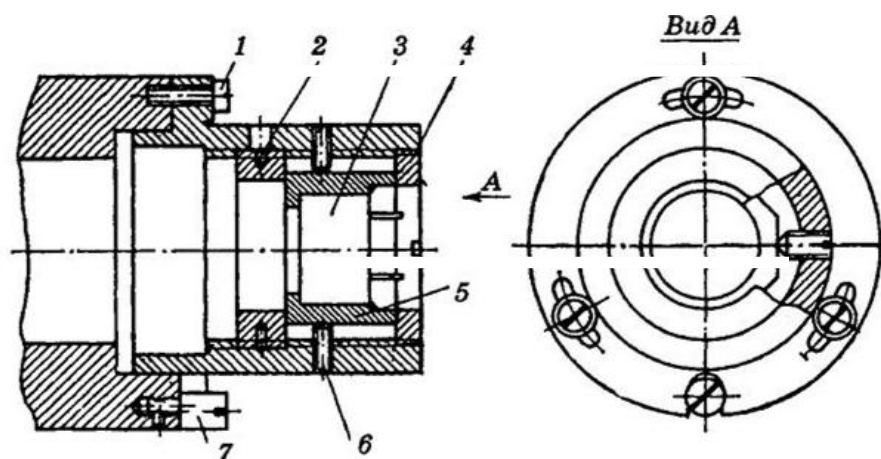


Рис. 2.64. Вузол кріплення фотоприймача з плавним фокусуванням, центруванням і розворотом

Контрольні запитання

1. Які загальні вимоги до конструкцій вузлів оптичних приладів?
2. Які основні і додаткові методи кріплення круглих оптичних деталей?
3. Коли застосовується метод завальцовки і які матеріали оправ при цьому використовуються?
4. Які вимоги до точності виготовлення лінз і оправ встановлюються при використанні методу завальцовки?
5. Які переваги і недоліки кріплення оптичних деталей різьбовим кільцем?
6. Які вимоги до точності виготовлення лінз і оправ встановлюються при кріпленні оптичних деталей різьбовими кільцями?
7. Які матеріали використовуються для виготовлення оправ і різьбових кілець?
8. Яке призначення пружинних кілець?
9. Які типи конструкцій пружинних кілець?
10. Які типи конструкцій використовують для кріплення вузлів лінзових систем?
11. Які переваги і недоліки об'єтивів насипної конструкції?
12. Які переваги і недоліки конструкцій об'єтивів при використанні різьбових кілець?
13. Які типи юстувань треба забезпечувати в конструкціях об'єтивів?
14. Як вирішуються питання юстування в конструкціях об'єтивів?
15. Які особливості конструкцій окулярів?
16. Які методи використовуються для компенсації децентрувань об'єтивів?
17. Яке призначення призм в оптичних приладах?
18. Яких рекомендацій треба дотримуватись при розробці методів кріплення призм?
19. Які особливості кріплення призм накладками і кутниками?

20. В чому полягають недоліки кріплення призм прижимними планками?
21. Які переваги кріплення призм пружинами?
22. В чому полягають спеціальні методи кріплення призм?
23. Як використовують призми для юстувальних операцій?
24. Які методи використовують для кріплення дзеркал?
25. Які особливості кріплення велико габаритних дзеркал?
26. Як кріпляться сітки і шкали в конструкціях оптичних приладів?
27. Які методи використовують для юстування сіток і шкал в конструкціях кріплення?
28. Які вимоги до конструкції вузла освітлювача?
29. Як в конструкціях вирішуються питання охолодження вузла освітлювача?
30. Як в конструкціях вирішуються питання юстування вузла освітлювача?
31. Які методи використовують для кріплення світлодіодів і фотоприймачів?
32. Які переваги і недоліки різних методів кріплення світлодіодів і фотоприймачів?

РОЗДІЛ 3

ПРИНЦИПИ КОМПОНУВАННЯ ТА ЗАХИСТ ОПТИЧНИХ ПРИЛАДІВ ВІД ДІЇ ЗОВНІШНИХ ФАКТОРІВ

Компонування приладу – це пошук і розробка раціонального розташування елементів конструкції приладу в заданому просторі. Загальною тенденцією при компонуванні є намір до зменшення габаритних розмірів конструкції. Компонування приладу найменш формалізований етап проектно-конструкторської діяльності, що вимагає від конструктора разом із знаннями і досвідом широкої ерудиції, інтуїції, здатності до евристичного та асоціативного мислення.

3.1. Загальні принципи компонування оптичних приладів

Залежно від призначення і умов роботи приладу застосовують такі схеми компонування [10]:

- а) децентралізована (розкидана) схема;
- б) повністю централізована;
- в) централізована з автономним пультом керування.

При децентралізованій схемі кожен з блоків приладу конструюється окремо і розміщується автономно, а функціонування приладу забезпечується за допомогою системи з'єднуючих кабелів. Такий метод компонування застосовується, наприклад, для приладів, що працюють в польових умовах з метою розподілу їх маси і зручності роботи (рис. 3.1)

Переваги такого методу компонування:

- а) простота;
- б) можливість довільного розміщення окремих блоків;

в) висока надійність.

Недоліки:

а) наявність з'єднуючих кабелів;

б) необхідність індивідуального захисту кожного блока від зовнішніх дій.



Рис. 3.1. Портативний тепловизор:

1 – оптичний блок; 2 – електронний блок з пультом; 3 – з'єднуючі кабелі; 4 – блок живлення

При повністю централізованій схемі усі блоки розміщуються в одному корпусі. Такий варіант застосовується для стаціонарно встановлених приладів, в основному лабораторних (рис. 3.2).

Переваги такого методу компоновання:

а) компактність приладу;

б) мінімальна довжина міжблочних зв'язків;

в) одночасний захист всіх вузлів від дії зовнішніх чинників.

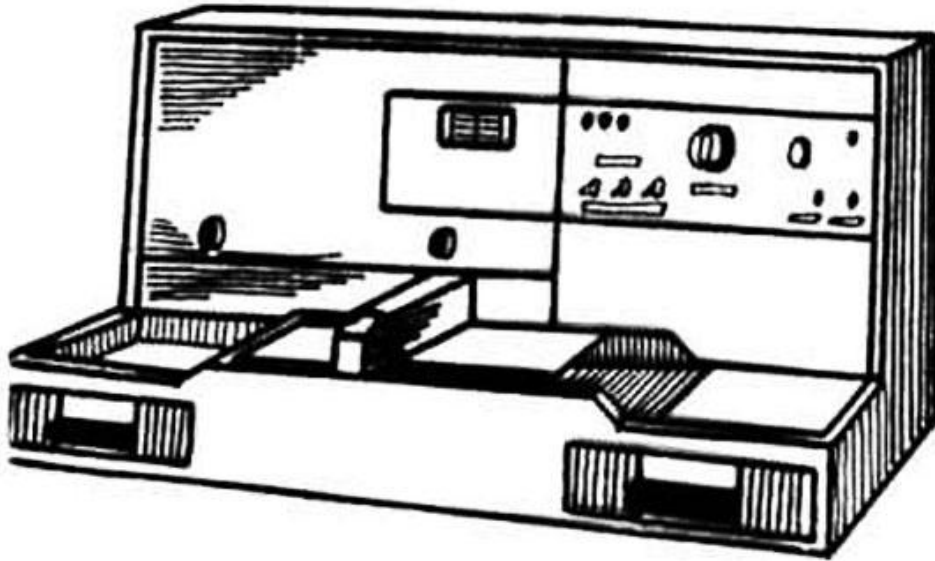


Рис. 3.2. Денситометр СР-21

В деяких випадках застосовується централізоване компонування з автономним пультом керування. Прикладом такого варіанта можуть бути прилади, що працюють в складних умовах, шкідливих для оператора.

Незалежно від вибраної схеми компонування, при конструюванні необхідно враховувати наступні загальні принципи:

- а) конструкцію необхідно ділити на вузли за функціональною ознакою;
- б) вузли і блоки приладу мають бути закінченими з точки зору виробництва, не вимагати додаткової обробки після збірки спільно з іншими частинами і дозволяти автономно перевіряти якість цих вузлів;
- в) конструкція має забезпечувати можливість збірки, як окремого вузла, так і приладу в цілому;
- г) число деталей, що входять в збірку, по можливості, має бути мінімальним;
- д) елементи збірки необхідно встановлювати так, щоб вони не перешкоджали проходженню променів;

е) необхідно враховувати рух частин приладу, що пересуваються, з метою виключення їх зіткнення і попадання в хід променів;

ж) при монтажі приладів в загальному корпусі окремі вузли і блоки не повинні робити шкідливого взаємного впливу (тепловий вплив, вібрації);

к) в умовах експлуатації приладу необхідно передбачити можливість швидкої заміни окремих вузлів або блоків;

л) конструкція деталей, що входять в збірку, має бути технологічною;

м) необхідно широко використовувати стандартні сортаменти матеріалів (труби, профілі, плити) і застосовувати стандартизоване кріплення;

н) при компонуванні слід враховувати вимоги герметизації, термостатування і екранування;

п) вимоги до конструкції, визначені умовою експлуатації.

Немає загальної методики компонування оптичних приладів. Проте досвід по конструюванню дозволяє представити загальну послідовність дій при компонуванні.

Перший крок. Визначають, чи буде прилад моноблочним, або буде складатися з декількох самостійних частин, пов'язаних певним чином один з одним.

Другий крок. Роблять ескізне компонування загальної конструкції моноблока і його основних елементів без деталізації прийнятого рішення.

Третій крок. Визначивши несучу частину конструкції, продовжують ескізне компонування вузлів і основних деталей моноблока: оптичних, приводів, джерел і приймачів випромінювання. Одне з основних правил компонування не зупинятися на одному варіанті конструкції, а проаналізувати декілька варіантів рішення.

Незалежно від конструкції приладу можна виділити наступні основні способи компонування його оптико-механічних блоків:

а) в єдиному корпусі;

б) із застосуванням труби як елемента, що несе;

в) за допомогою рами, виконаної з труб, косинців або інших профілів;

- г) на монтажній плиті;
- д) на монтажних плитах з колонками;
- е) з нанизуванням вузлів;
- ж) з використанням направляючої, яка несе;
- к) у стійку з використанням модульних блоків і вузлів;
- л) у кожусі у вигляді пульта.

Способи компонування 3 – 8 вимагають додаткового використання захисного кожуха. Компонування в єдиному корпусі характерне для приладів відносно невеликих розмірів, коли необхідно добитися компактності і жорсткості конструкції. Прикладом компонування з використанням труби, що несе, є конструкція фотоелектричного автоколіматора (рис. 3.3).

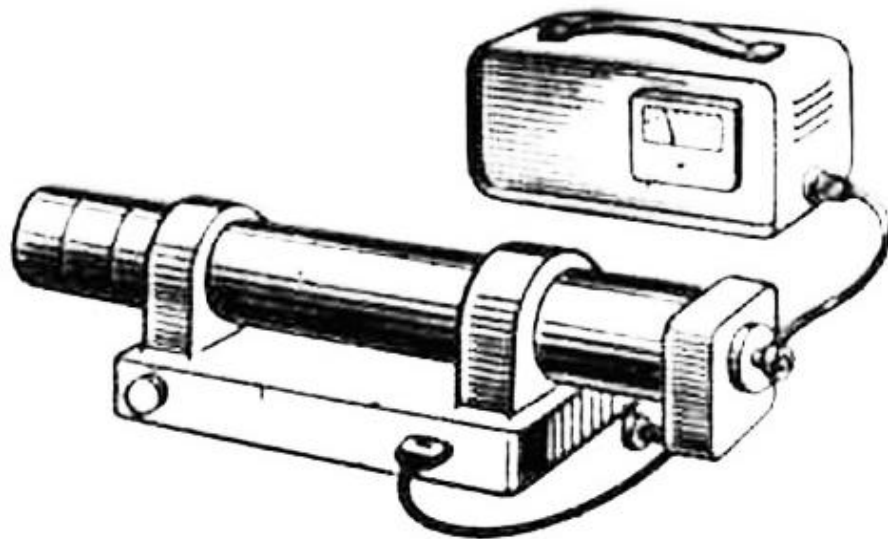


Рис. 3.3. Компонування фотоелектричного автоколіматора

Перевагою цього методу компонування є висока жорсткість і стабільність конструкції. Тому цей метод застосовують для конструювання контрольно-юстувальної і вимірювальної апаратури.

Компонування за допомогою рами з профільного прокату рекомендується для приладів значних габаритних розмірів, а також на етапі макетування приладу. Перевагою цього методу є простота виготовлення конструкції, що несе, полегшений доступ до окремих елементів з метою їх юстування [11]. Недолік – порівняльна нестабільність конструкції. Приклад такого компонування представлений на рис. 3.4.

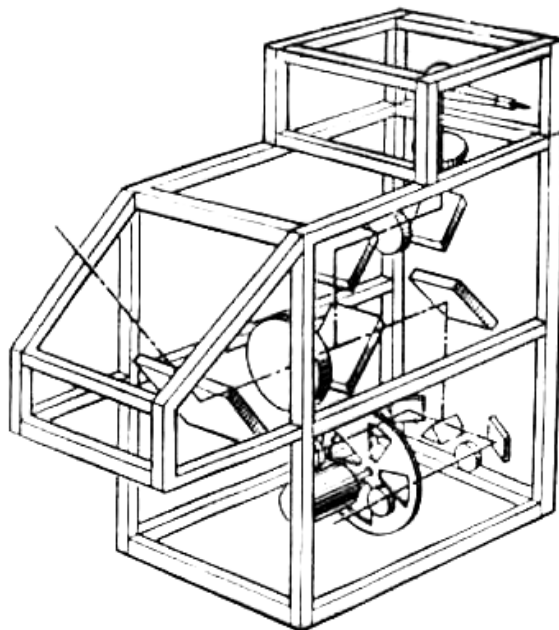


Рис. 3.4. Компонування за допомогою рами з профільного прокату

Компонування на монтажній плиті застосовується при конструюванні приладів високої стабільності, коли оптичні елементи вдається розташувати в одній площині. Такий метод застосовується для компонування лабораторних приладів і приладів, що мають невеликі габарити (рис. 3.5).

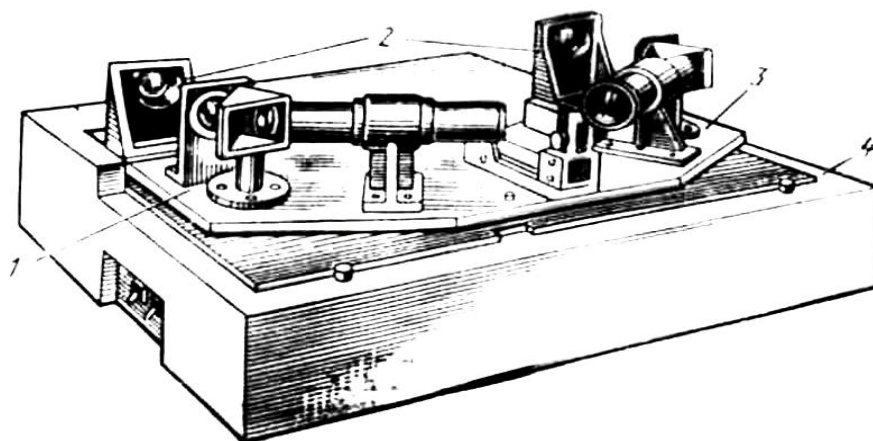


Рис. 3.5. Компонування на монтажній плиті

Спосіб компонування на монтажних плитах з колонками є розвитком попереднього методу, коли елементи оптичної системи розташовуються на різних рівнях. Приклад такого компонування представлений на рис. 3.6.

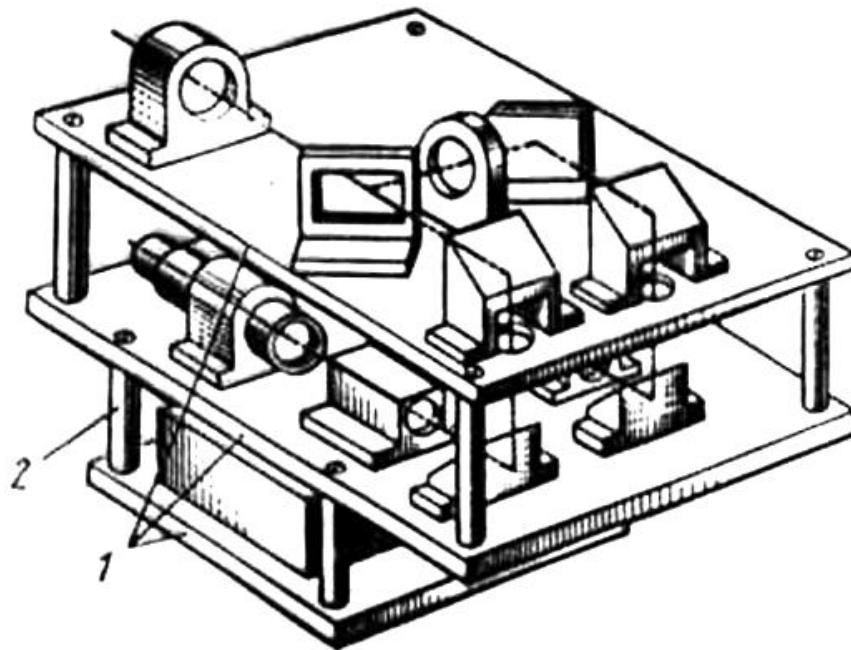


Рис. 3.6. Компонування на монтажній плиті з колонками

Компонування з нанизуванням вузлів застосовується у тому випадку, коли усі вузли можуть бути зібрані на платах, що мають однакову конструкцію. Перевагою методу є схожість елементів, що несуть, простота збірки і юстування. Жорсткість даної конструкції така ж як і при використанні труби, яка несе.

Компонування із застосуванням направляючих використовується в приладах, коли необхідно змінювати взаємне розташування окремих вузлів. Наприклад, в оптичних лавах.

3.2. Приклади конструкцій приладів, побудованих на типових оптичних схемах

Монокуляр являє собою прилад для спостереження, в основу якого покладена телескопічна система зорової труби Кеплера. В її склад входять об'єктив і додатній окуляр. Це означає, що збільшення монокуляра від'ємне, тобто $\Gamma_m < 0$. Призма, введена в оптичну схему, має подвійне призначення. Вона

використовується для зламу оптичної осі на 60° і є обертальною системою. Збільшення призменої обертальної системи від'ємне, тобто $\beta = -1^x$. Для отримання повного обертання (по двом координатам) необхідно використовувати призму з непарним числом відбиваючих граней і дахом.

З цих міркувань вибрана призма АкР- 60° . Призма виготовляється із скла БК 10 і має параметри: $a = D$, $C=2D$, $h=1,094D$, $l = \kappa D = 2,646D$, де a – розмір вхідної 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 призменою обертальною системою є додатнім.

Конструкція монокуляра розділена на вузли за функціональною ознакою (рис. 3.7). Це вузли: об'єктива 1, окуляра 2, сітки 3, призмений 4. Кожен з вузлів може бути зібраний окремо, а також можуть бути окремо проконтрольовані їхні характеристики. Несучою базовою деталлю монокуляра є патрубок 7, на якому є два циліндричних виступи для закріплення при необхідності монокуляра в кронштейн штатива.

Об'єktiv виконаний в вигляді складальної одиниці і складається з дволінзового оптичного блока, встановленого в оправу 1 і закріпленого в ній кільцем 8 з внутрішньою різьбою. Підрізне проміжне кільце 9 слугує для фокусування об'єктива. Точність центрування оптичних деталей відносно зовнішнього посадкового діаметра забезпечується технологічним способом.

Симетричний окуляр представляє собою складальну одиницю. Він має два однакових дволінзових оптичних блока, встановлених симетрично в оправу 2 і закріплених в ній за допомогою різьбового і проміжного кілець. Одночасно на оправі кріпляться жорсткий наочник і кільце з діоптрійною шкалою. Оправа має окулярну різьбу, за допомогою якої пересуваються лінзи в різьбовій втулці, закріпленій на корпусі 4. Різьбова втулка на зовнішньому діаметрі має штрих для відліку по діоптрійній шкалі.

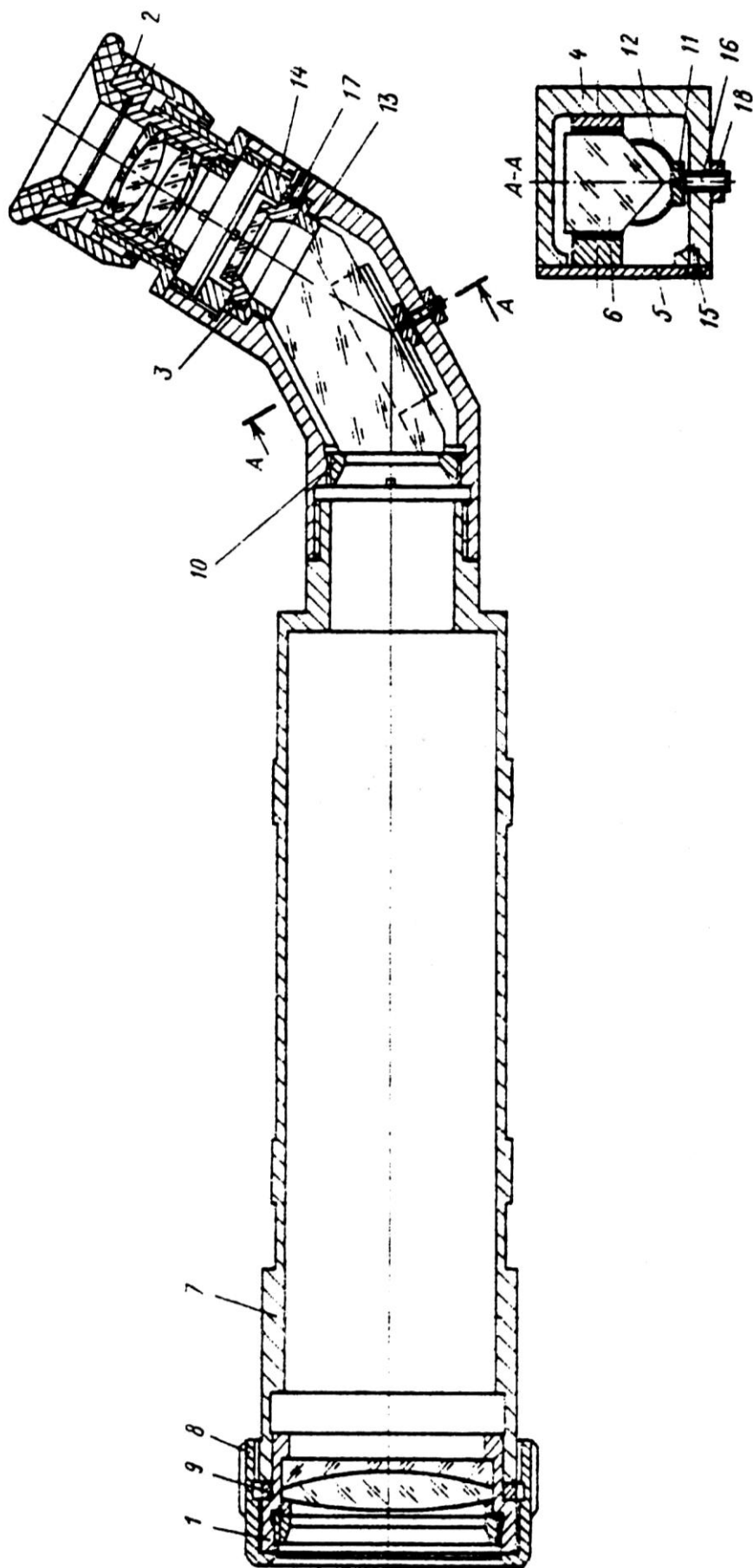


Рис. 3.7. Конструкция монокуляра

Сітка закріплена у оправі 3 приклеюванням і має поперечне пересування для центрування разом з оправою 13. Центрування і попередня фіксація сітки виконується чотирма гвинтами 17, розміщеними попарно під кутом 90° один до одного. Різьбове кільце 14 фіксує сітку з оправою після її центрування. 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 боку 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.

При складанні монокуляра виникає потреба вирішувати питання юстування. Центрування сітки здійснюється гвинтами 17. Базова вісь визначається за допомогою додаткового коліматора, оптична вісь якого співпадає з оптичною віссю монокуляра. Співпадіння центру зображення сітки коліматора з центром сітки монокуляра свідчить про компенсацію децентрування.

Діоптрійне наведення окуляра здійснюється обертанням кільця діоптрійної наводки по шкалі, яка нанесена на корпусі 2.

На рис. 3.8 показана конструкція дзеркально-лінзового монокуляра, який є складовою частиною теодоліта [12]. Його оптична схема включає дзеркально - лінзовий об'єктив 2, 4, 5, фокусуючий компонент 7, сітку 8, окуляр 10. Об'єктив складається з позитивного меніска 2, на внутрішній поверхні якого нанесене дзеркальне покриття малого діаметра, дзеркала 5 і двох негативних лінз 4.

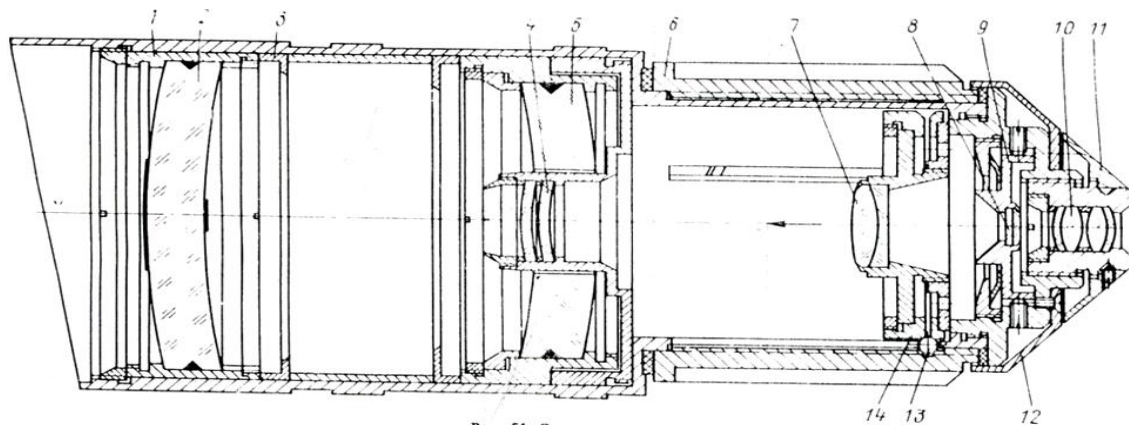


Рис. 3.8. Дзеркально-лінзовий монокуляр

Центрування об'єктива забезпечується насипним методом складання. Повітряний проміжок між дзеркалами витримується набором діафрагм 3. Пересування фокусуючого компонента 7 здійснюється кільцем 6. Сітка 8 завальцована в оправі і юстується за допомогою чотирьох гвинтів 9. Механізм кріплення сітки закритий декоративним ковпачком 12.

На рис. 3.9 показана конструкція призменого монокуляра з змінним збільшенням $6 - 15^{\times}$, кутовим полем зору $3,2 - 8^{\circ}$, діаметром вихідної зіниці $6 - 2,4$ мм, віддаленням вихідної зіниці 12 мм. В якості обертальної призми використана призма Пк-0°.

Панкратичний окуляр складається з двох рухомих компонентів: передній від'ємний і другий додатній, що включає дві лінзи. Від'ємний компонент має складний закон руху. Додатній компонент пересувається по лінійному закону. Нерухомим компонентом є очний блок лінз. Кожний компонент оптичної схеми закріплений в свою оправу, які центровані і закріплені в корпусі 4. Обертальна призма зібрана на основі 8, що має центруючий діаметр для встановлення в корпус 4. Основа 8 з блоком призми, діафрагмою 6 і стаканом 7 закріплена в корпусі різьбовим кільцем 5.

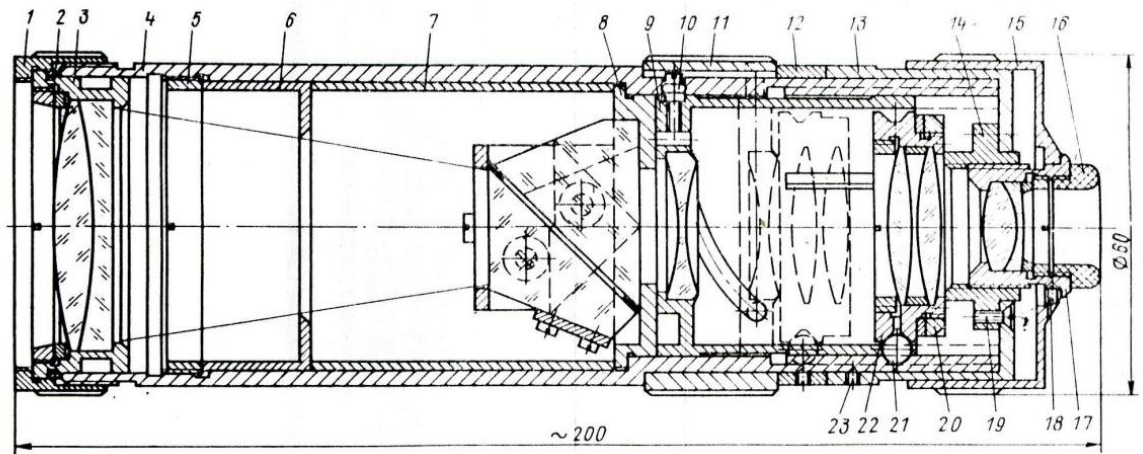


Рис. 3.9. Конструкція призмного монокуляра

Розглянемо приклад конструкцій приладу, побудованому на схемі відлікового мікроскопа (рис. 3.10).

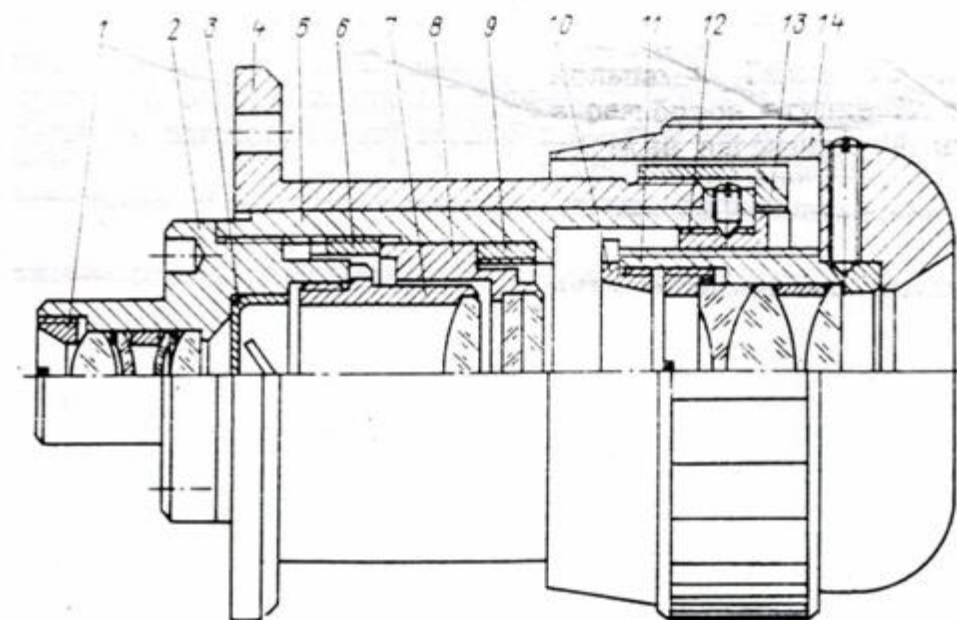


Рис. 3.10. Відліковий мікроскоп

Мікроскоп зібраний в корпусі 5. Об'єтив включає передній блок, закріплений за допомогою різьбового кільця 1 в оправі 2, і лінзу, завальцовану у втулці 7. Втулка кріпиться на різьбленні в оправі 2. Між ними з використанням тертя встановлена діафрагма 3. Об'єтив виконаний у вигляді самостійної складальної одиниці. За об'єктивом в корпусі 5 розташована і закріплена різьбовим кільцем 6 оправа 5 із завальцованою в ній сіткою. Регулювальне кільце 9 дозволяє встановити сітку в потрібне положення.

Окуляр зібраний в корпусі 11 із зовнішнім окулярним різьбленням. Кріплення оптичних деталей виконане різьбовим і проміжним кільцями. Гайка 10 слугує обмежувачем обертання окуляра в різьбовій втулці 12, закріпленій на корпусі 5. Окуляр має жорсткий наочник 14, виготовлений разом з кільцем, що має діоптрійну шкалу. Як і об'єктив, окуляр виконаний у вигляді самостійної складальної одиниці. Корпус мікроскопа 5 встановлений у втулку 4 і закріплений гайкою 13. Втулка 4 має штрих нуля відліку шкали окуляра. За допомогою отворів у втулці 4 відліковий мікроскоп може бути закріплений у штатив.

На рис. 3.11 приведені компонування проекційного приладу для фотолітографії, який включає основу 1, корпус мікроскопа 2, візуальну трубку 3, корпус проекційної частини 4, освітлювач 5, фотошаблон 6. На рисунку показані положення основних складальних баз: база кріплення джерела (Б5), технологічна регульована база (БТ), база візуальної частини (Б3), база кріплення проекційної частини (Б2). Усі складальні бази пов'язані між собою. Завдяки цьому можна здійснити попереднє компонування приладу.

Оптимально корпус приладу являє собою циліндр, на осі якого розташовані бази Б2 і Б5, які не мають регулювання. На відстані 57 мм від бази Б2 розташована база Б3. Для забезпечення розрахункового значення збільшення проекційного об'єктива, використовується технологічна база БТ. За допомогою бази БТ в процесі складання можна витримати необхідну відстань між об'єктом (ПО) і площиною зображення (ПИ). Таке юстування може бути здійснене прокладками. База Б3 має можливість регулювання в напрямку розмірів 34 мм і 57 мм. Це здійснюється регулювальним кільцем, яке дозволяє витримати необхідну відстань між площиною предмета і базою Б2 при збереженні центрування.

Під час виконання технічного проекту доопрацьовується основа 1, предметний столик і рамка з негативом в площині предмета.

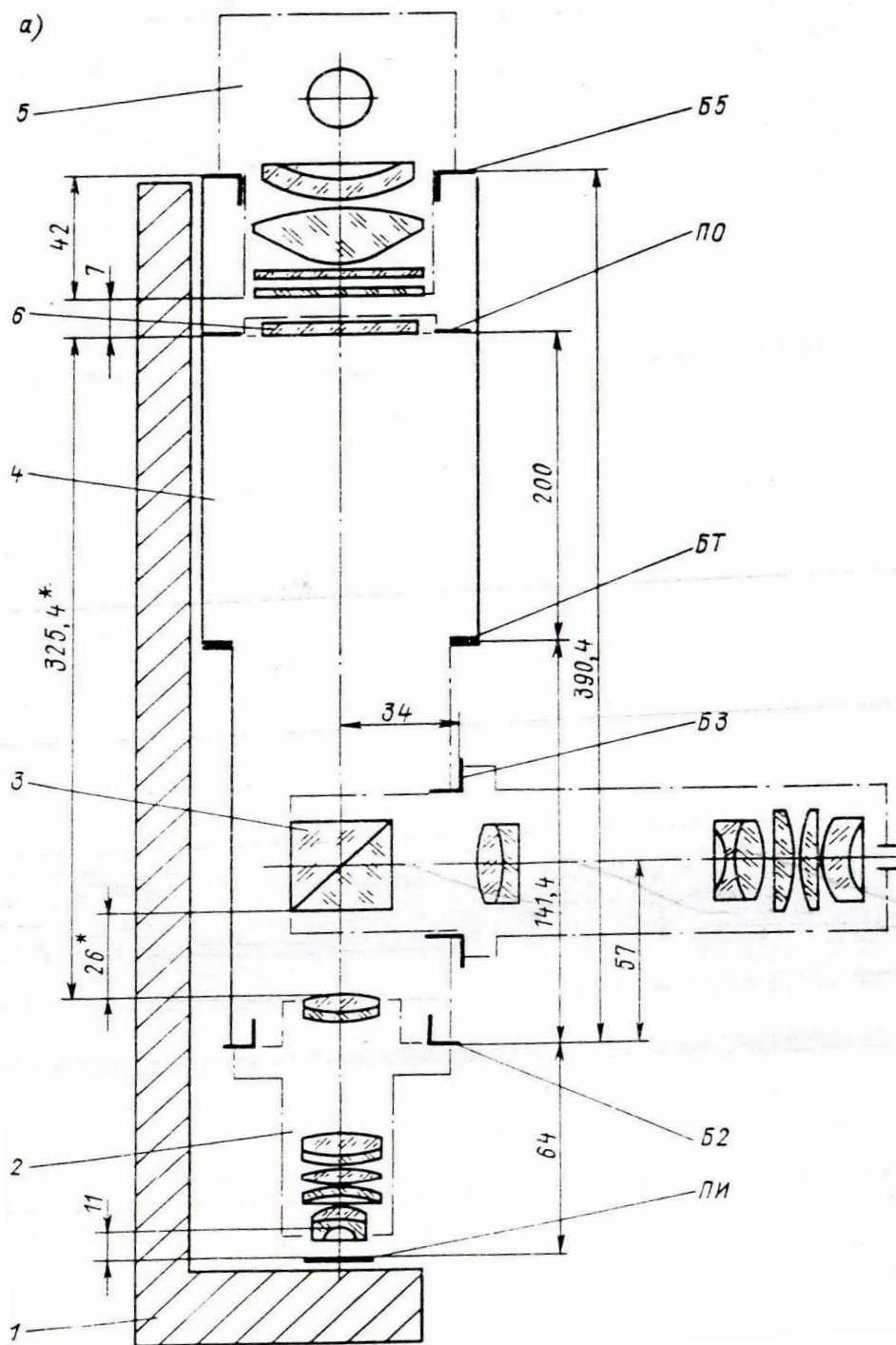


Рис. 3.11. Проектор для фотолітографії

3.3. Захист оптичних приладів від теплової дії

До систем і пристроїв для забезпечення необхідних теплових режимів роботи оптичних приладів відносяться:

- системи охолодження вузлів і елементів;
- системи стабілізації температури в певному діапазоні;
- теплові труби, радіатори і т. ін.

Використання конвекції.

Простим способом охолодження приладу є вільна конвекція повітря усередині приладу. У вузьких місцях, де відстань між елементами менше 5 мм, конвекція відсутня. В разі рівності тепловіддачі з обох боків закритого металевго корпусу, різниця температур зовні і усередині конструкції визначається співвідношенням:

$$\Delta t \approx \frac{2P_{роз}}{(a_k + a_e) \cdot S_k}, \quad (3.1)$$

де $P_{роз}$ – розсіювана приладом потужність; a_k, a_e – коефіцієнти теплообміну за рахунок конвекції і теплового випромінювання відповідно; S_k – площа корпусу приладу.

Для пластмасових корпусів цей перепад температур визначається таким співвідношенням:

$$\Delta t = \frac{P_{роз}}{S_k} \left(\frac{2}{a_k + a_e} + \frac{1}{a_t} \right),$$

де a_t – коефіцієнт теплообміну за рахунок теплопровідності.

Коефіцієнт теплообміну за рахунок теплопровідності для металевих корпусів дуже великий і його можна не враховувати у формулі (3.1). Для поліпшення теплообміну із зовнішнім середовищем використовують перфорований корпус. Тепловий потік, що відводиться в цьому випадку від корпусу, визначається співвідношенням:

$$P_{\text{роз}} = \frac{a^* \cdot S_k \cdot \Delta t}{1 + \frac{1}{1 + 0,5\sqrt{\psi}}},$$

де $a^* = a_k \cdot (\sqrt{\psi} + 1) + a_u$; $\psi = \left(\frac{2 \cdot S_b}{S_k} \right) \cdot 100\%$ – коефіцієнт перфорування; S_b – площа вентиляційних отворів; S_k – площа корпусу.

Якщо вільна конвекція виявляється неефективною, то застосовують вимушену конвекцію з використанням вентилятора. А саме використовують припливну і витяжну вентиляцію. І той і інший варіанти передбачають герметизацію бічних стінок корпусу. Тепловий потік при вимушеній конвекції, що відводиться від корпусу, визначають відповідно до співвідношення:

$$P_{ek} = a_{ek} \cdot S_k \cdot \Delta t,$$

де a_{ek} – коефіцієнт теплообміну при вимушеній конвекції, який може набувати таких значень:

$$a_{ek} = 20 - 120 \text{ Вт/м}^2 \text{ } ^\circ\text{К}.$$

Якщо використання вентиляторів виявляється також неефективним, застосовують рідинне охолодження окремих елементів або вузлів. При цьому:

$$a_{ek} = 2000 - 3000 \text{ Вт/м}^2 \text{ } ^\circ\text{К}.$$

Використання термостатів

Термостатом називається пристрій, який знаходячись в середовищі, яке змінюється у великому інтервалі температури, тримає усередині заданого об'єму постійну температуру. Термостат, як правило, включає внутрішній герметизований об'єм, теплоізолюючий прошарок, корпус, пристрій контролю температури.

Пристрої для охолодження приймачів випромінювання

Для охолодження приймачів випромінювання використовують різні способи. Найбільш поширені такі:

а) випарні (кріостатні);

- б) способи засновані на дроселюванні газу (ефект Джоуля - Томпсона);
- в) термоелектричні способи охолодження (ефект Пельтьє);
- г) радіаційні способи;
- д) використання теплових труб і теплообмінників.

При виборі того або іншого способу конструктор повинен враховувати такі фактори:

- а) необхідну температуру охолодження;
- б) стабільність її підтримки;
- в) холодонавантаження;
- г) тривалість безперервної роботи;
- д) час виходу на робочий режим;
- е) енергоспоживання;
- ж) автономність;
- к) масогабаритні характеристики;
- л) умови експлуатації;
- м) простоту обслуговування і надійність;
- н) можливість конструкторського з'єднання з охолодженим вузлом;
- п) зручність розміщення.

Найчастіше застосовують випарні методи охолодження, засновані на безпосередньому контакті хладагента з охолоджуваним вузлом. Хладагент знаходиться в судині, яка носить назву судина Дьюара (рис. 3.12). В залежності від температури, яку треба забезпечити судина Дьюара може бути одноконтурною, або двоконтурною. Якщо треба забезпечити температуру охолодження $77,86^{\circ}\text{K}$, то використовується одноконтурний кріостат. Для забезпечення температури охолодження $4,2^{\circ}\text{K}$ треба розробляти конструкцію двоконтурного кріостата, коли внутрішній об'єм з рідинним гелієм знаходиться в зовнішньому об'ємі з рідинним азотом. Враховуючи велику швидкість випаровування гелія, конструкція внутрішнього об'єму повинна бути ретельно теплоізольована.

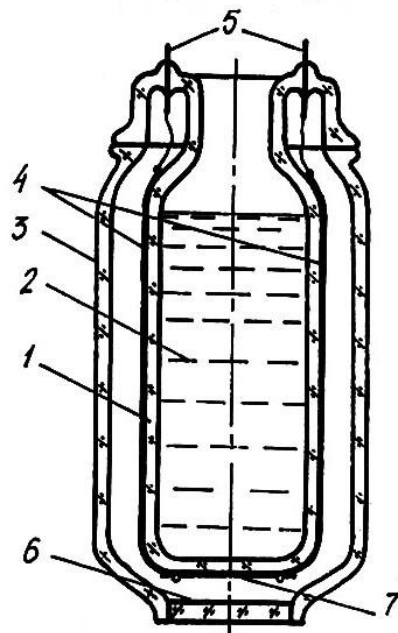


Рис. 3.12. Конструкція кріостата:

1 – внутрішній посуд; 2 – хладагент; 3 – зовнішня судина; 4 – токопровідні доріжки;
5 – контактні штирі; 6 – вхідне вікно кріостата; 7 – фотоприймач

Термофізичні характеристики хладагентів представлені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Термофізичні характеристики деяких хладагентів

Хладагент	Температура кипіння, °K	Температура сублімації, °K
Гелій	4,2	–
Азот	77,86	43 – 60
Метан	111,67	59 – 90

Такі кріостати варто використовувати при тепловому навантаженні від 0,5 Вт в діапазоні температур 11 – 110°K і терміні служби від 11000 годин.

Переваги кріостатів:

- а) простота;
- б) надійність в роботі;
- в) стабільність підтримки температури;
- г) відсутність споживання енергії.

Структурна схема дросельного пристрою, що охолоджує фотоприймач, представлена на рис. 3.13.

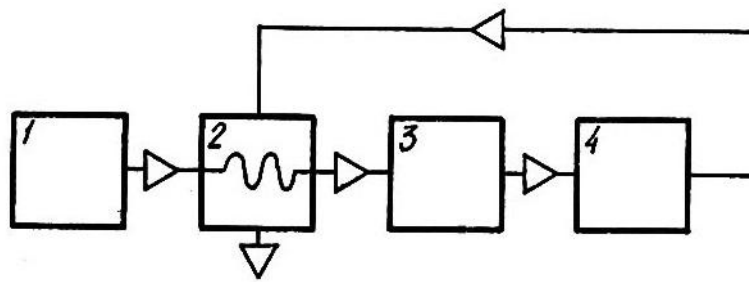


Рис. 3.13. Структурна схема дросельного пристрою, що охолоджує фотоприймач:
1 – судина із стислим газом; 2 – теплообмінник; 3 – дросельний пристрій у вигляді трубки з невеликим отвором діаметром 25 – 75 мкм; 4 – охолоджувана зона

Виходячи з отвору у вузлі 3 газ швидко розширюється, його тиск падає, що приводить до зниження температури. Такі мікрохолодильники конструктивно можуть бути виконані двома способами:

- а) приймач розташований у вакуумованій порожнині;
- б) фотоприймач розташований в газонаповненому об'ємі.

Подібні системи можуть бути розімкнутими або замкнутими. Розімкнуті мають оптимальний ресурс роботи приблизно 15 годин при холодонавантаженні менше 3 Вт. Замкнуті системи мають ресурс 2000 годин при холодонавантаженні до 110 Вт. Конструктивно замкнуті системи значно складніші.

Найбільш мініатюрними пристроями для охолодження вузлів і елементів оптичних приладів є напівпровідникові термоелектричні холодильники, принцип дії яких заснований на ефекті Пельтьє.

Основні переваги цих пристроїв такі:

- а) великий термін служби, оскільки у таких пристроях відсутні рухливі елементи і хладагенти;
- б) безшумність у роботі;
- в) відсутність вібрацій;
- г) простота експлуатації.

Суть ефекту Пельтьє полягає у тому, що при пропусканні струму між двома напівпровідниками певного типу в одному напрямі виділяється теплота, а в протилежному – поглинається. В результаті на кордоні переходу різниця температур складає 70°C . Для отримання більшого перепаду температур використовують багатокаскадні напівпровідникові охолоджувачі.

В деяких випадках для охолодження вузлів оптичних приладів використовують пасивне радіаційне охолодження. Наприклад, такий спосіб застосовують для охолодження приладів, що працюють у космосі. Таке охолодження дозволяє підтримувати температуру вузлів у діапазоні $60 - 120^{\circ}\text{K}$. Засіб охолодження має передбачати екранування вузлів від прямого сонячного випромінювання, випромінювання Землі і інших вузлів космічного апарату. У конструкцію охолоджувача часто вводять радіатор.

Ефективним способом відведення тепла з корпусу приладу є використання теплових труб. Теплова труба – це пристрій, призначений для перенесення теплового потоку з одного кінця труби в інший за рахунок використання прихованої теплоти фазового перетворення теплоносія. Теплоносій поміщений в середину герметичної труби (рис. 3.14).

Капілярна пориста структура насичена змочуючою рідиною і граничить з паровим об'ємом центральної частини труби. Ця структура може бути у вигляді металевої сітки, металоволокна, склотканини і тому подібних середовищ. Як теплоносій застосовують воду, спирти, фреони, аміак. При дуже низьких температурах використовують зріджені гази. При потраплянні теплового потоку $\Phi_{\text{п}}$ до частини А труби (рис. 3.14) рідина випаровується, тиск в паровій зоні А підвищується і пара через зону Б потрапляє в зону В, де конденсується і тепло виділяється в довколишній простір. Щільність теплового потоку, що переноситься такими трубами складає $10^{-1} - 10^{-2} \text{ Вт/м}^2$. Розташування труб може бути будь яким.

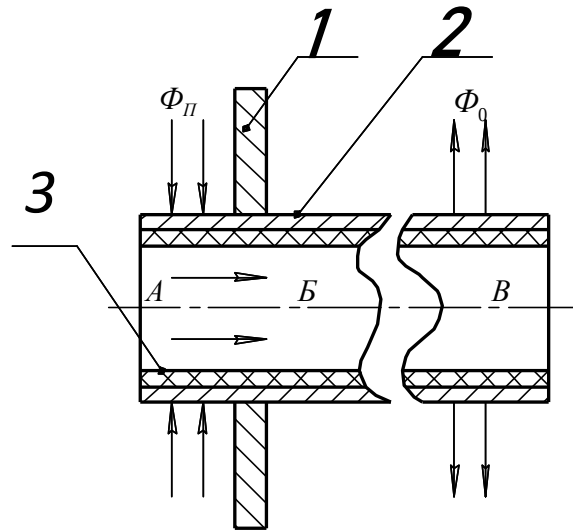


Рис. 3.14. Теплова труба:

1 – корпус приладу; 2 – корпус теплової труби; 3 – капілярна пориста структура

3.4. Герметизація та екранування оптичних приладів

Метою герметизації оптичних приладів є забезпечення непроникності корпусу для рідин, газів, пилу, піску, пліснявілих грибків і т. ін. Розрізняють герметизацію індивідуальну, часткову і повну. Індивідуальна герметизація передбачає можливість заміни компонентів приладу. При загальній герметизації, яка простіше і дешевше індивідуальної, заміна окремих компонентів можлива лише, якщо демонтувати корпус. При частковій герметизації застосовують просочення, обволаківання і заливку компонентів приладів лаками, пластмасами, компаундами. Інколи при повній герметизації використовують роз'ємний корпус. Недоліки такого способу такі:

- а) підвищена вимога до міцності корпусу;
- б) складність виконання і контролю надійності герметизації.

Перевагами повної герметизації з роз'ємним корпусом є відносно легкий доступ до вузлів приладу. Цей метод герметизації застосовується тоді, коли потрібне періодичне юстування, налаштування приладу або ремонт його елементів. Герметичність роз'ємного корпусу досягається за допомогою прокладок ущільнювачів, представлених на рис. 3.15.

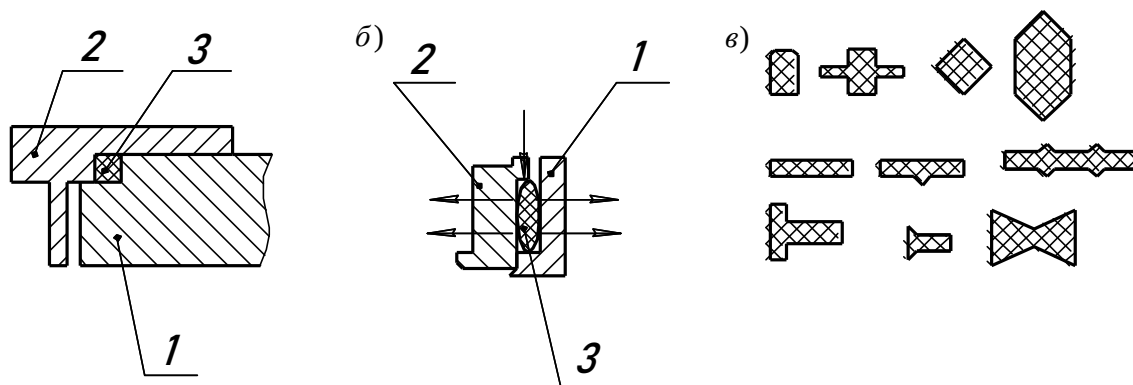


Рис. 3.15. Прокладки ущільнювачів:

а – еластичні з примусовим ущільненням; б – еластичні з самоущільненням; в – металеві прокладки

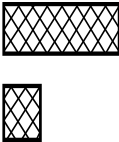
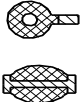
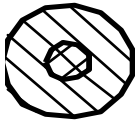
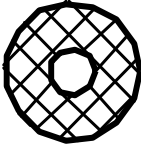
Металеві прокладки ущільнювачів (рис. 3.15, в) виготовляють з алюмінію ($T = 600^{\circ}\text{K}$), міді ($T = 350^{\circ}\text{K}$), нікелю, індію, свинцю. Недолік металевих прокладок полягає в тому, що при повторному використанні вони зминаються і потребують заміни. Гумові прокладки допускають повторні використання. Для їх установки в корпусі роблять спеціальні канавки. Перерізи гумових прокладок приведні в табл. 3.2.

Внаслідок пластичних деформацій металева прокладка ущільнює з'єднання, але повторне використання її не завжди ефективно оскільки виникає усадка (наклепання) прокладки. Для ущільнення роз'ємних з'єднань застосовуються гумові тороїдальні прокладки. Для таких прокладок застосовуються два види гнізд:

- а) клиноподібні (для вузлів, що працюють в агресивних середовищах);
- б) прямокутні (для вузлів, що працюють в звичайних умовах).

Виглядати такі гнізда можуть так, як показано на рис. 3.16.

Перерізи гумових прокладок

Вигляд гумової прокладки	Коротка характеристика
	Використовується при тривалій експлуатації в широкому діапазоні тисків і при незначній деформації
	Круглі і напівкруглі прокладки найбільш прості у виготовленні, витримують широкий діапазон тисків
	Не вимагають стискання, використовуються при низьких тисках
	Для приладів з великим терміном служби
	Резинометалеві прокладки, встановлюються між площинами; канавок для них не вимагається
	Гумова прокладка, армована пластмасою застосовуються для приладів, що працюють в агресивних середовищах
	Прокладка, всередину якої подається газ під тиском 2 – 3 атмосфери, застосовується для ущільнення люків і входних вікон приладів

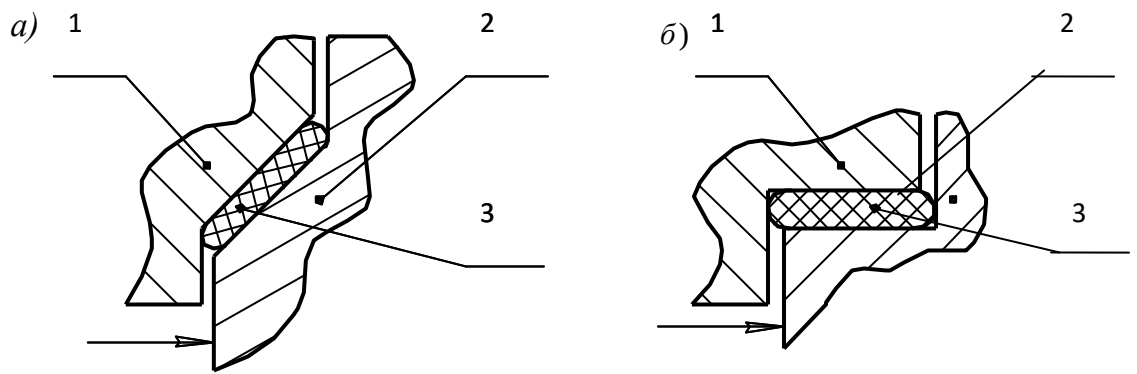


Рис. 3.16. Гнізда під гумові тороїдальні прокладки:

а) клиновидні; б) прямокутні

На рис. 3.16 показані: 1 – кришка; 2 – корпус; 3 – гумова прокладка ущільнювача. Рекомендації по використанню гумових прокладок:

- при $D = 4 - 10$ мм, діаметр перерізу прокладки складає $d = 1,8$ мм;
- при $D = 150 - 300$ мм, діаметр перерізу прокладки складає $d = 4,5$ мм;
- при $D = 400 - 500$ мм, діаметр перерізу прокладки складає $d = 7,0$ мм.

Недоліком гумових прокладок є зниження герметизації при низьких і високих температурах. При нероз'ємній герметизації вузол або прилад містять у рідиннонепроникний і газонепроникний корпус. В цьому випадку не застосовують компаунди і клей, оскільки лінійний температурний коефіцієнт розширення цих матеріалів не відповідає тим же показникам для деталей корпусу. Герметизацію при цьому забезпечують використанням зварювання і паяння. При зварюванні використовують з'єднання встик, при паянні – з'єднання внахлест.

При паянні деталей з матеріалів з різними коефіцієнтами лінійного температурного розширення зовнішня деталь має мати більший коефіцієнт, аби забезпечити стискування припою при охолодженні.

Ефективною мірою захисту приладів від електромагнітних полів є екранування, яке зменшує енергію зовнішнього електромагнітного поля, що потрапляє в оптичний прилад. Залежно від частоти і амплітуди розрізняють поля низьких (до 100 Гц), середніх (до 1000 Гц) і високих частот ($10^4 - 10^9$ Гц). При екрануванні частина електромагнітної енергії відбивається від поверхні екрана, частина проникає в екран і поглинається в ньому, а частина

відбивається від внутрішньої стінки екрана. Ослаблення електромагнітного поля, що досягається при цьому, називається коефіцієнтом екранування, позначається E і обчислюється відповідно до співвідношення:

$$E = \frac{H'}{H},$$

де H і H' – напруженість електромагнітного поля перед екраном і за ним.

Логарифм величини, зворотної коефіцієнту екранування, називають екраним загасанням. Його виражають через натуральний і десятичний логарифми:

$$B = \ln \frac{H'}{H} \text{ і } B = 10 \lg \frac{H'}{H}.$$

Для екранування низькочастотних полів використовують матеріали з високою магнітною проникністю. До них відноситься листова сталь, пермоллой, Му-металл, хайперник.

Загасання електромагнітних полів залежить від товщини і форми екрана. Для екрана у формі порожнистої сфери, товщина якої значно менше радіусу, екранне загасання визначається співвідношенням:

$$B = 10 \lg \left(1 + \mu_r \cdot \frac{d}{2r} \right),$$

де $\mu_r = \mu / \mu_0$ – відносна магнітна проникність матеріалу; μ – магнітна проникність екрана; $\mu = 1,256 \times 10^{-8}$ Гн/см – магнітна стала; d – товщина стінки екрана; r – радіус корпусу екрана.

Для екрана у формі порожнистого циліндра при d значно меншим r екранне загасання визначається із співвідношення:

$$B = 10 \lg \left(1 + 2\mu_r \cdot \frac{d}{3r} \right).$$

Екранування магнітного поля середніх і високих частот здійснюється за рахунок індукції в екрані вихрових струмів, екрануюча дія яких визначається такими чинниками:

- а) зворотнім полем, що створюється цими струмами;
- б) поверхневим ефектом в матеріалі екрана (скін-ефект).

На високих частотах діють обидва чинники і коефіцієнт екранування визначається співвідношенням:

$$\mathcal{E} \approx \left(0,5 + \frac{D}{2,8m \cdot \mu \cdot \delta} \right) e^{\frac{d}{\delta}},$$

де D – діаметр екрана; m – коефіцієнт форми екрана ($m = 1$ – екран прямокутний; $m = 2$ – циліндричний; $m = 3$ – сферичний); δ – показник проникності матеріалу екрана, що має назву глибини проникнення, на якій напруженість падає в e -разів в порівнянні з напруженістю на поверхні.

Величина δ може бути розрахована відповідно до співвідношення:

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi \cdot \mu \cdot f \cdot \sigma}},$$

де f – частота електромагнітного поля; σ – електрична провідність матеріалу екрана.

Для екранування високочастотних полів товщину екрана вибирають відповідно до співвідношення:

$$d \geq 3\delta.$$

Для середніх частот коефіцієнт екранування розраховують за формулою:

$$\mathcal{E} = \sqrt{1 + \mu \cdot \sigma \cdot D \cdot d \cdot \pi \cdot f \cdot (m)^{-1}}.$$

Значення δ для деяких матеріалів приведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Значення δ для деяких матеріалів

Частота f , $\Gamma\text{ц}$	δ , мм		
	Мідь	Алюміній	Листова сталь
50	9,44	12,2	1,8
10^3	2,11	2,75	0,41
10^5	0,211	0,275	0,36

Необхідно враховувати, що в діапазоні середніх частот екранування електромагнітних полів не завжди ефективно. Тому при конструюванні приладів вузли, що створюють перешкоди на цих частотах (наприклад, трансформатори) прагнуть виносити за межі корпусу. Однією з умов, при якій

забезпечується висока ефективність екрана, є наявність неокислених стиків в цьому екрані. Екран має з усіх боків закривати вузол і бути заземленим. Часто для екранування застосовують перфоровані екрани. Якщо отвір перфорації має діаметр менше довжини хвилі поля, що екранується, то вони не роблять жодного впливу на коефіцієнт екранування. В разі широких отворів розміром, значно більшим, ніж відстань між отворами, коефіцієнт екранування циліндричного екрана визначається із співвідношення:

$$E = \frac{K_n}{2r},$$

де K_n – коефіцієнт перфорування.

При конструюванні екрани прагнуть розміщувати як можна ближче до вузлів, що екрануються.

3.5. Захист оптичних приладів від вібрацій

В процесі експлуатації і транспортування оптичні прилади піддаються різним динамічним навантаженням: вібраціям, трясінням і т. ін. Причина цих навантажень може знаходитися у середині приладу у вигляді незбалансованих елементів деталей, що обертаються. В результаті це може привести до поломок приладів або повного їх руйнування. Для попередньої оцінки захищеності оптичного приладу від динамічних дій їх вузли і елементи можна представити як прості коливальні елементи, що характеризуються резонансною частотою колювання. Для таких систем одним з параметрів є коефіцієнт динамічності або віброізоляції, який визначається таким співвідношенням:

$$\gamma = \frac{1}{1 - \frac{f^2}{f_0^2}},$$

де f – частота вимушених колювань або зовнішніх дій на прилад; f_0 – резонансна частота.

Для забезпечення комфортних умов роботи приладу або вузла необхідно щоб $f_0 \gg f$, тобто $\gamma \rightarrow 1$. Власну резонансну частоту вузла можна підвищити такими конструктивними методами:

- а) збільшенням поперечних розмірів кронштейна, що кріпить;
- б) скороченням лінійних розмірів або довжини кронштейна, що кріпить;
- в) використанням матеріалів з великим модулем пружності;
- г) зміною способу кріплення вузла (наприклад, кріпленням підстави вузла в декількох місцях);
- д) зменшенням маси.

Якщо в приладі є деталі або вузли, жорсткість яких з економічних або технічних причин збільшити не можна, то на такі елементи встановлюються амортизатори. Дійство такого захисту полягає в тому, що резонансна частота амортизатора відрізняється від частоти зовнішніх дій. Ця резонансна частота визначається співвідношенням:

$$f_0 \approx 15,8 \sqrt{\frac{1}{z_0}},$$

де z_0 – величина деформації амортизатора при впливі зовнішнього навантаження.

На практиці між частотою зовнішніх дій f і резонансною частотою амортизатора f_0 повинне виконуватися співвідношення:

$$\frac{f}{f_0} \approx 2 - 5.$$

Однією з важливих характеристик амортизаторів є їх жорсткість, що визначається таким співвідношенням:

$$C = \frac{P}{Z_0}, \quad (3.2)$$

де P – навантаження на амортизатор.

Із співвідношення (3.2) виходить, що чим більше C , тим при одному і тому ж навантаженні менше Z_0 . А це, у свою чергу, приводить до збільшення f_0 і зниження віброзахисту. Як правило, в приладі або вузлі використовують

декілька амортизаторів, розташованих симетрично відносно центру мас. При використанні декількох амортизаторів навантаження на кожен з них становить:

$$P_i = \frac{P}{n},$$

де n – кількість амортизаторів.

Із зменшенням P_i зменшується і Z_0 , а це приведе до збільшення f_0 і до зниження віброзахисту. Окрім вібраційних навантажень вузол або прилад може отримувати ударні навантаження. Для захисту від них необхідно застосовувати жорсткі амортизатори. Для вирішення цього завдання, як правило, застосовують комбіновані амортизатори, що складаються з двох частин: м'якої і жорсткої.

У приладах використовують два типи резинометалевих амортизаторів: пластинчасті (АП) і чашкові (АЧ). Основні характеристики амортизаторів такі:

а) віброміцність забезпечується на протязі 40 – 50 годин при прискоренні 100g (g – прискорення вільного падіння) і частоті зовнішніх коливань 50 Гц;

б) ударна міцність – 10000 ударів при прискоренні 30 – 50 g;

в) середнє значення деформації $Z_0 = 1,6$ мм.

Для захиста приладу або вузла від коливальних навантажень за допомогою спеціальних амортизаторів кутові коливання треба переводити в лінійні. Одним з таких амортизаторів є механізм паралелограма.

Окрім регулярних вібрацій на прилад можуть впливати випадкові вібрації. Розрізняють широкосмугові і вузькосмугові випадкові вібрації. Вузькосмугові вібрації ділять на вібрації з постійною частотою і змінною амплітудою, і на вібрації із змінними частотою і амплітудою. Для захисту приладів від цих вібрацій використовують спеціальні амортизатори, основними характеристиками яких є:

а) граничне середньквдратичне переміщення;

б) гранична середньквдратична швидкість;

в) граничне середньквдратичне прискорення.

Ці характеристики визначаються, виходячи з параметрів зовнішніх дій.

Контрольні запитання

1. Які переваги і недоліки різних способів компонування оптичних приладів?
2. В чому полягають загальні принципи компонування оптичних приладів?
3. Які способи компонування оптико-механічних вузлів оптичних приладів?
4. Яка мета стабілізації температури при конструюванні оптичних приладів?
5. Які особливості охолодження оптичного приладу за допомогою конвекції і термостату?
6. Які способи охолодження фотоприймачів можуть бути застосовані при конструюванні оптико-електронних вузлів?
7. Які фактори треба враховувати при виборі способу охолодження елементів конструкції оптичних приладів?
8. В чому полягають особливості дросельного методу охолодження фотоприймачів?
9. Як працює теплова труба?
10. Які переваги має метод охолодження фотоприймачів за допомогою елементів Пельтьє?
11. Коли може бути використаний радіаційний метод охолодження оптичних приладів?
12. Яке призначення герметизації оптичного приладу?
13. Як вирішуються питання герметизації оптичного приладу?
14. Які типи і характеристики прокладок для герметизації оптичного приладу?
15. Які типи електромагнітних полів можуть діяти на оптичний прилад?
16. Як вирішуються питання захисту оптичного приладу від електромагнітних полів?

17. Від яких факторів залежать коефіцієнт екранування та екранне загасання?
18. Які вимоги слід враховувати при конструюванні екранів від дії електромагнітного випромінювання?
19. Як визначити коефіцієнт динамічності або віброізоляції?
20. Які конструктивні методи можна використати для підвищення резонансної частоти приладу або вузла?
21. Як визначається жорсткість амортизатора і як вона впливає на віброзахист оптичного приладу?
22. Які типи резинометалевих амортизаторів вібрацій використовують в оптичних приладах?
23. Які основні характеристики резинометалевих амортизаторів вібрацій?
24. Які випадкові вібрації можуть діяти на оптичний прилад?

РОЗДІЛ 4

КРЕСЛЕННЯ ОПТИЧНИХ СХЕМ І ДЕТАЛЕЙ

Вимоги до оформлення креслень оптичних схем і оптичних деталей розглянемо скориставшись міжнародним стандартом ISO 10110, що був розроблений Технічним Комітетом ISO/TC172, Optics and optical instruments «Оптика і оптичні прилади», Підкомітетом SC1, Fundamental standards «Основні стандарти» [13]. Метою цього стандарту є створення універсальних креслень, що розуміються усіма користувачами, і вимог, як основи для міжнародного виробництва й контролю оптичної продукції, виробленої в усьому світі.

4.1. Правила позначення оптичних елементів і осей

Оптичні елементи переважно слід зображувати на кресленні по ходу променя, що йде зліва направо. Оптична вісь, по можливості, має бути горизонтальною. Кращим є вид, коли елемент накреслений у поперечному перерізі і заштрихований коротким-довгим-коротким штрихами. Задні сторони і сховані лінії звичайно пропускаються (рис. 4.1). Іноді може бути необхідним включення таких ліній у випадку елементів, що не мають симетрією обертання.

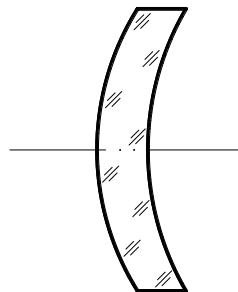


Рис. 4.1. Поперечний переріз лінзи зі штрихуванням

Складальні вузли, такі як склеєні компоненти, треба штрихувати в напрямках, що чергуються.

З метою спрощення оптичні деталі можуть бути накреслені без штрихування (рис. 4.2). У одному кресленні не може бути використане зображення зі штрихуванням і без штрихування.

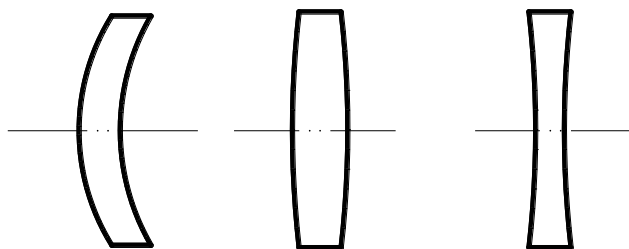


Рис. 4.2. Зображення оптичних елементів без штрихування

Лінзові елементи з поверхнями, що мають два напрями симетрії, такі як циліндричні й торичні поверхні, повинні бути накреслені у двох поперечних перерізах, відповідно до цих напрямків (рис. 4.3, а і б).

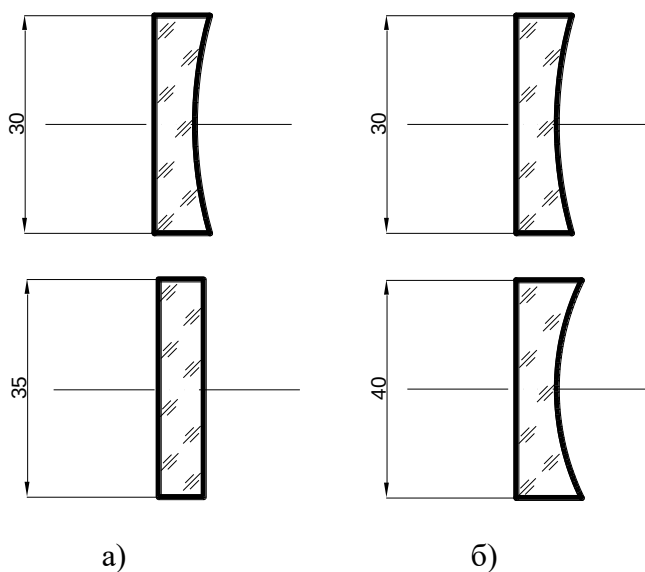


Рис. 4.3. Прямокутні циліндричні (а) і торичні (б) лінзові елементи

В ISO осі обертання й центральні лінії позначаються лінією типу G.ISO 128, а оптичні осі лінією типу K.ISO 128 (рис. 4.4).

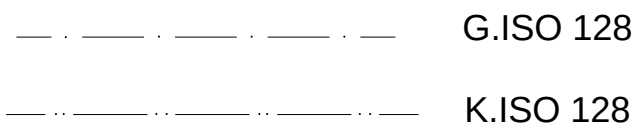


Рис. 4.4. Типи ліній для осей

Якщо оптична вісь збігається з віссю обертання або центральною лінією, то має бути використана лінія типа К. Оптична вісь використовується також, якщо в елементі немає осі симетрії, наприклад, для позначення проходження променя в призмі (рис. 4.5). При розбіжності осі симетрії оптичного елемента з оптичною віссю необхідно вказати й проставити розмір зсуву або нахилу осей, причому зсуви повинні бути накреслені не в масштабі з метою перебільшеного показу зсуву або нахилу (рис. 4.6).

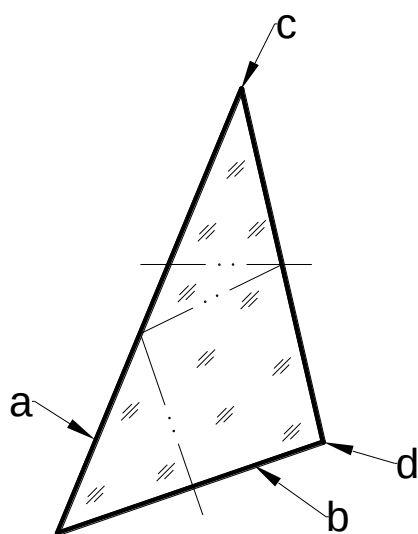


Рис. 4.5. Осі в призмах і виносні лінії до кутів і поверхонь



Рис. 4.6. Розбіжність осей

Лінії, що виносяться, повинні мати крапку на кінці лінії-винесення, що закінчується усередині контуру деталі (рис. 4.7) і розмірну стрілку для лінії-винесення, що закінчується на контурній лінії (рис. 4.5).

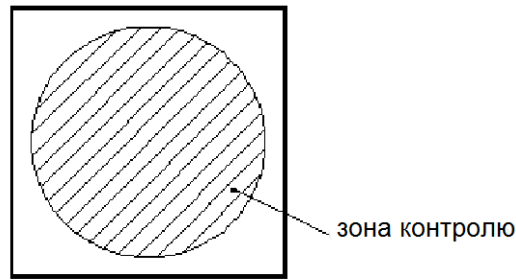


Рис. 4.7. Лінія, що виноситься до зони контролю

Якщо контролю усієї поверхні або площі не потрібно, то на кресленнях повинні бути показані зони контролю або оптично діючі поверхні. Діаметр круглої області контролю – «діючий діаметр», має бути позначений символом $\varnothing_e$ (рис. 4.6 і рис. 4.8). Він визначає область поверхні деталі, яка є оптично важливою.

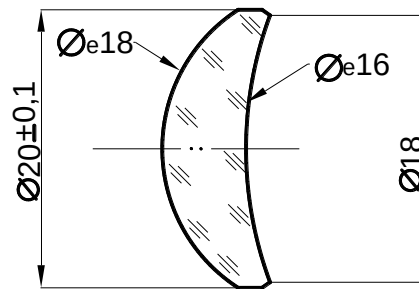


Рис. 4.8. Области контролю

Межі областей контролю повинні бути накреслені суцільними тонкими лініями (лінія типа В, ISO 128), а самі області повинні бути заштриховані суцільними лініями того ж типа. Якщо потрібно, то вони можуть бути підрозділені на зони, до яких застосовуються різні допуски. У таких випадках зони повинні бути пронумеровані для чіткого їхнього співвідношення. Номер зони має бути позначений на виносній лінії до відповідної області (рис. 4.9).

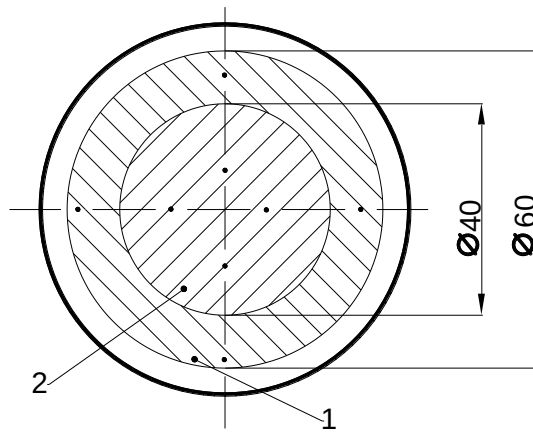


Рис. 4.9. Креслення, що показує області контролю

Де необхідно, можуть бути додані спеціальні види, які озаглавлюються «області контролю», що показують оптично діючі області й позначені відповідними розмірними величинами. Якщо симетричні компоненти мають різні області контролю (наприклад, завдяки проходженню променів, що мають розбіжність або збіжність), то тоді області, при наявності сумнівів, повинні бути відповідно позначені для запобігання помилкового сприймання.

Така ж сама вимога застосовується, якщо різні контрольні характеристики повинні бути застосовані до однакових областей контролю. Спосіб ідентифікації має бути показаний на кресленні (рис. 4.10). Якщо області контролю не вказані, то областю контролю вважають поверхні, що відповідають їх повному розміру.

Кругле поле зони контролю може бути показане в будь-якому місці усередині області контролю у вигляді області, що визначена розмірами та обмежена вузькою суцільною лінією. Вимоги, що вказуються на виносній лінії до поля контролю, повинні застосовуватися до всіх можливих положень поля контролю в середині області контролю. У цьому випадку діаметр поля контролю має бути доданий до відповідного позначення допуску в спосіб показаний на рис. 4.11.

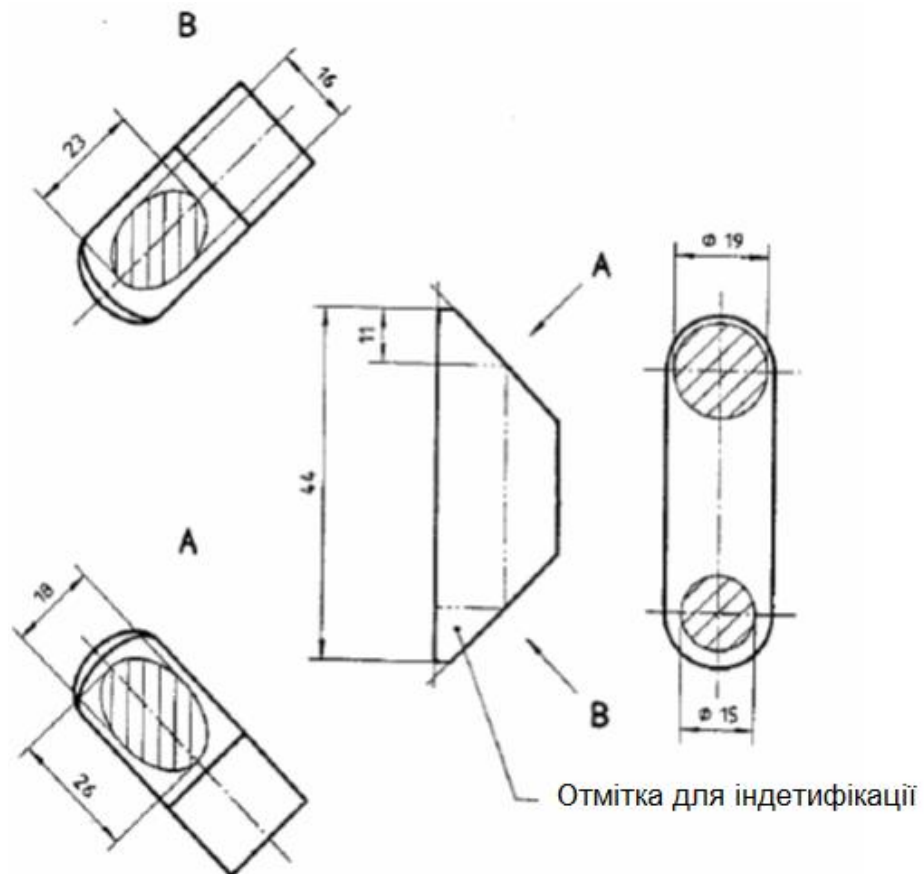


Рис. 4.10. Різні області контролю для призми

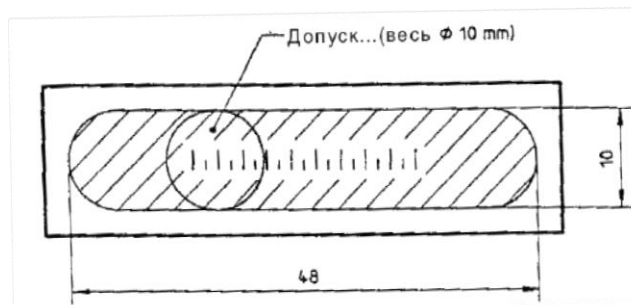


Рис. 4.11. Поле контролю усередині області контролю

Об'єм, що контролюється, має бути позначений, якщо об'єм певного розміру має задовільняти більш високим вимогам, чим інший об'єм оптичного елемента (рис. 4.12).

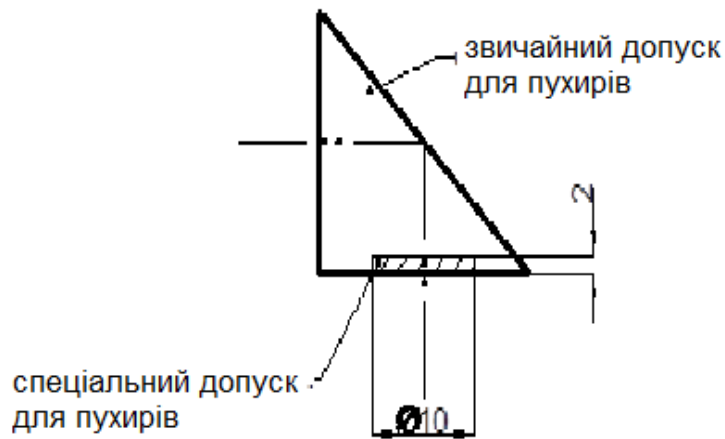


Рис. 4.12. Контрольний об'єм

4.2. Розміри оптичних елементів та характеристики матеріалу

Розміри оптичних елементів, зазначені на кресленні, ставляться до повністю виготовленої деталі після механічної обробки й нанесення покриття. Якщо необхідно вказати певні розміри до поверхневої обробки, то в цих випадках необхідно вказувати на кресленні, що ці розміри ставляться до неопрацьованої деталі.

Сферичні поверхні визначаються проставлянням радіусів кривизни з допусками на розмір (рис. 4.13). Цей допуск визначає область, у середині якої має бути розміщена реальна поверхня.

Альтернативно допуск на радіус кривизни може бути зазначений повністю або частково в термінах інтерферометрії, як визначається в ISO 10110-5. Якщо сумарна припустима зміна радіуса кривизни вказується в термінах інтерферометрії, то допуск на розмір радіуса дорівнює нулю й немає необхідності включати його в позначення радіуса кривизни.

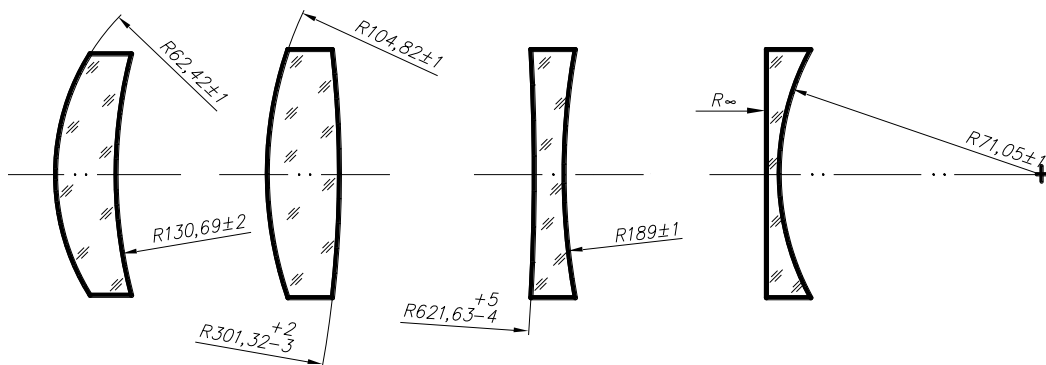


Рис. 4.13. Позначення радіусів кривизни й допусків на них

Плоскі поверхні (тобто нескінченний радіус кривизни) повинні бути позначені символом R (рис. 4.14). Допуск на площинність має бути зазначений у термінах інтерферометрії (див. ISO 10110-5).

Для відмінності між опуклою й увігнутою поверхнею, особливо у випадку малої кривизни, стрілка до лінії винесення для позначення радіуса завжди має вказуватися такою, що виходить із центру кривизни. Альтернативно опукла поверхня може бути позначена буквами CX , що пишуться за позначенням радіуса кривизни, а угнута поверхня буквами CC .

Для торичних і циліндричних поверхонь застосовуються вимоги, зазначені в п. 4.1, тобто вказується радіус із допусками на двох видах. Для циліндричних поверхонь радіус позначається терміном " R_{cyl} " (рис. 4.14). Для асферичних і торичних поверхонь позначення відповідно до ISO 10110-12.

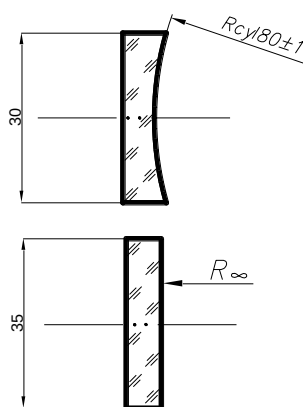


Рис. 4.14. Позначення радіусів кривизни на циліндричних поверхнях

Товщина має бути позначена як номінальний розмір з допуском (переважно симетричним). У випадку лінзових елементів, що мають увігнуті

поверхні, має бути зазначена в дужках на додаток до осьової товщини повна товщина (рис. 4.15).

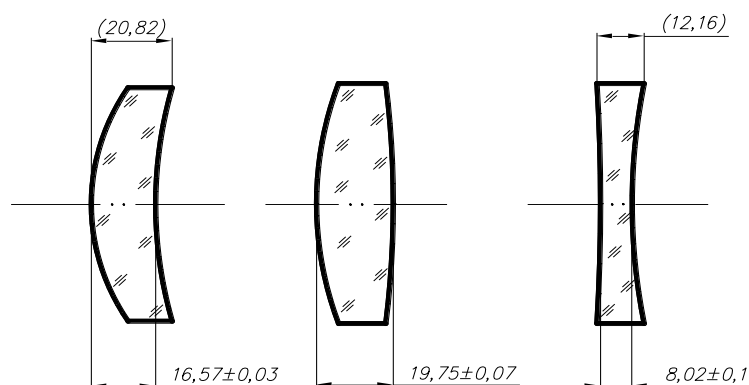


Рис. 4.15. Позначення товщини лінз

Діаметр оптичних деталей має бути визначений разом з допусками таким же самим чином, як і для механічних деталей. Для позначення світлового діаметра має бути доданий оптично діючий діаметр Φ_e (рис. 4.6; рис. 4.8. і рис. 4.16).

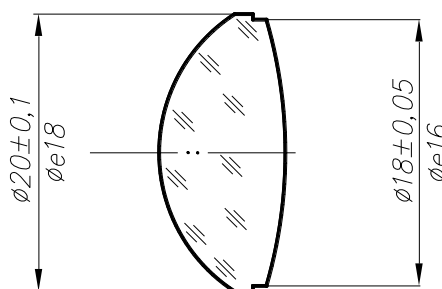


Рис. 4.16. Діаметри й оптично діючі діаметри лінзи

Профіль крайок, скосів і фасок визначається або з конструктивних (функціональних) міркувань, або з метою запобігання виколювання гострих крайок і кутів у процесі виготовлення й експлуатації. Для крайки, яка має зберігати профіль (гострий край) по функціональних ознаках, має бути використаний символ «0» (рис. 4.17, а).

Захисна фаска є малою поверхнею, що заміняє крайку або кут, приблизно однаково нахилена до поверхонь, що формують крайку або кут. Ця поверхня окремо не має креслитися. Вказівка «захисні фаски» має бути включена в якості примітки до креслення для охопту усіх крайок і кутів, які не

характеризуються окремо. Ширина W фаски показана на рис. 4.17, б. Мінімально й максимально припустимий розмір фасок має бути зазначений у примітці, а виключення повинні бути зазначені на кресленні (рис. 4.17, б).

Скіс є функціональною поверхнею, що заміняє гостру крайку, і має бути повністю охарактеризований відносно розміру, допуску, нахилу й, якщо необхідно, центрування (рис. 4.18).



Рис. 4.17. Позначення гострих крайок і захисних фасок

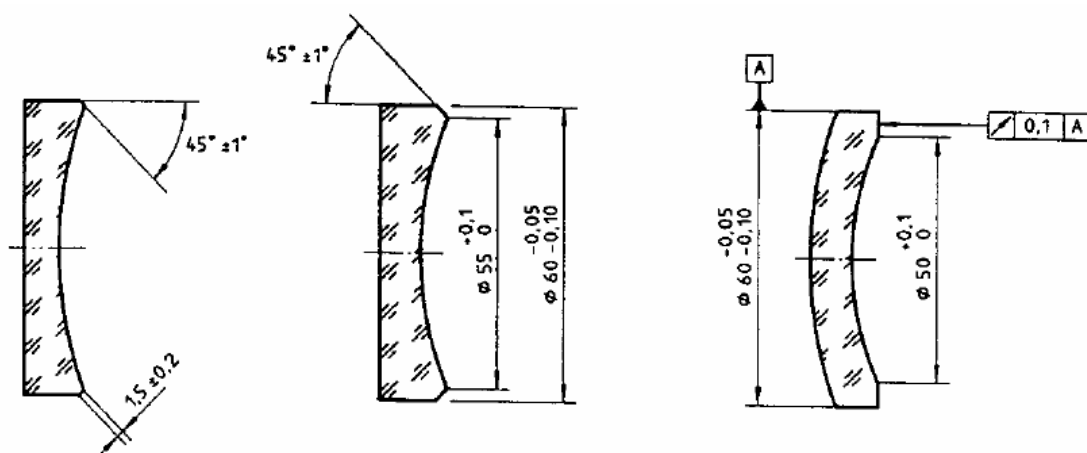


Рис. 4.18. Проставляння розмірів скосів

Оскільки зовсім гостру внутрішню крайку виготовити не можливо, то часто змушені визначати максимально (і іноді мінімально) припустиму ширину поверхні крайки W (рис. 4.19). Якщо вказується тільки одна величина, то вона має бути інтерпретована як максимально припустима ширина.

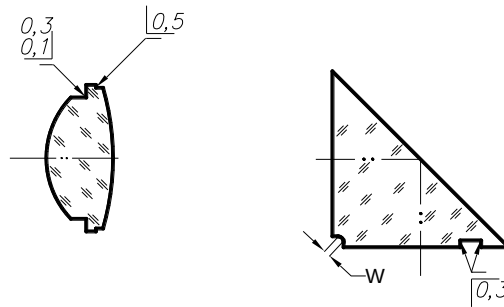


Рис. 4.19. Внутрішні країки уступів і пазів

Номінальні розміри довжини, ширини й висоти (діаметра й товщини) деталі повинні бути проставлені з допусками, що дозволяються.

Деталі, що характеризуються наявністю захисних фасок або невеликих скосів, повинні бути з розмірами без врахування фасок або невеликих скосів, тобто лінійні розміри ставляться до теоретичної лінії перетинання поверхонь (умова гострої крайки). Такі лінійні розміри повинні бути ідентифіковані додаванням слова «theor» («теор») до позначення (рис. 4.20).

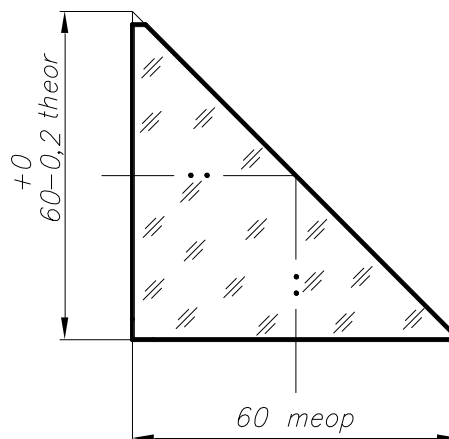


Рис. 4.20. Лінійні розміри призм

На кресленні мають проставлятися номінальні величини кутів з допусками. Поверхні для їх ідентифікації повинні бути позначені заголовними римськими буквами (рис. 4.21). Рис. 4.21 показує приклад позначення кутів і допусків на них. Кути між поверхнею Е і поверхнями А, В, С і D називаються пірамідальними кутами. Для призм має бути показаний оптичний шлях променя і кут відхилення. Кут відхилення дорівнює куту між напрямками падаючого і вихідного променів. Якщо не обумовлюється інше, то падаючий

промінь має бути перпендикулярний до вхідної поверхні. Кут відхилення має додаватися з допуском $\pm$ (рис. 4.22).

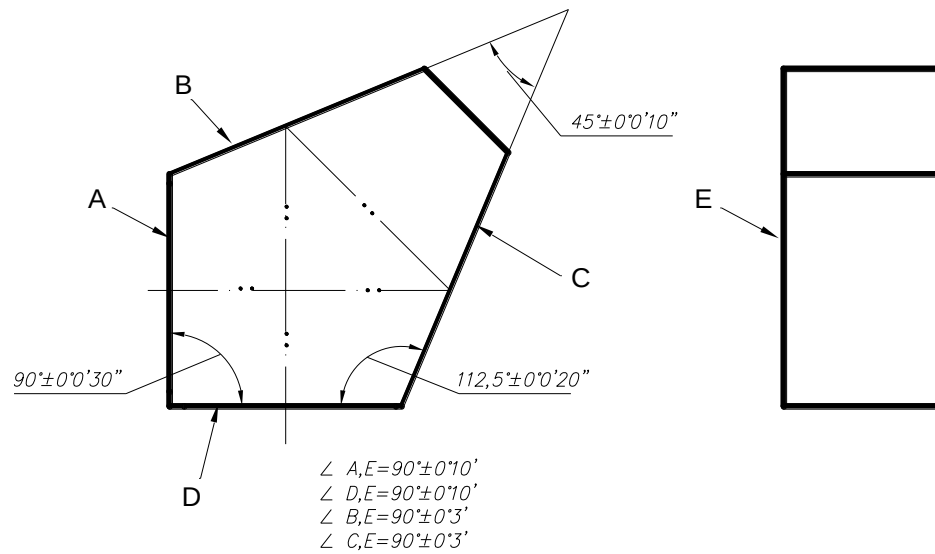


Рис. 4.21. Кути з допусками

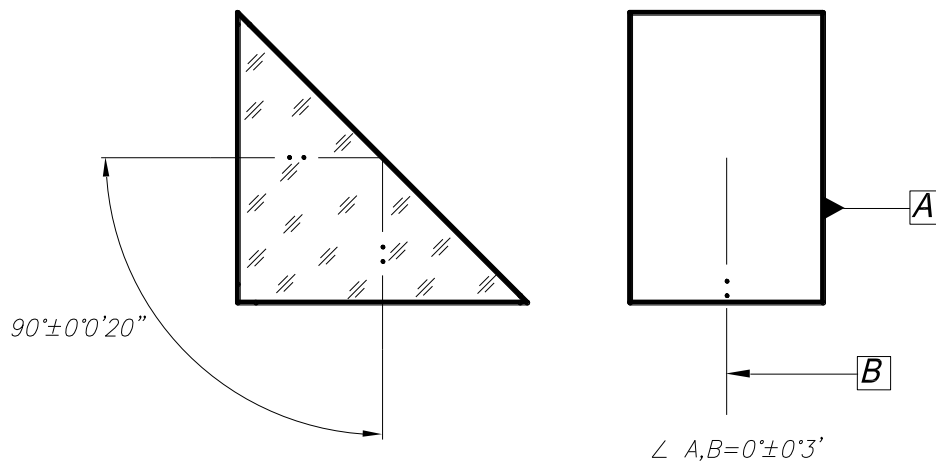


Рис. 4.22. Кути відхилення призми

Характеристики матеріалу записуються в рамці на кресленні.

Позначення матеріалу повинно містити одну з вимог:

- а) марка скла або міжнародний кодовий номер скла;
- б) показник заломлення й число Аббе, включаючи вказівку про еталонну довжину хвилі;

в) хімічний опис (наприклад, для кристалічного матеріалу).

Треба позначати такі особливі характеристик матеріалу:

- а) допуски на показник заломлення;

- б) дисперсію;
- в) коефіцієнт світлопропускання;
- г) клас однорідності;
- д) клас безсвільності;
- е) властивості кристала (наприклад, моно - або полікристалічний).

Характеристики матеріалу й допуски, які ставляться до окремого оптичного елемента, повинні бути позначені відповідно до ISO 10110-2, ISO10110-3 і ISO 10110-4.

4.3. Оптичні складальні вузли і оптичні схеми

Креслення оптичного складального вузла повинно включати такі позначення (рис. 4.23):

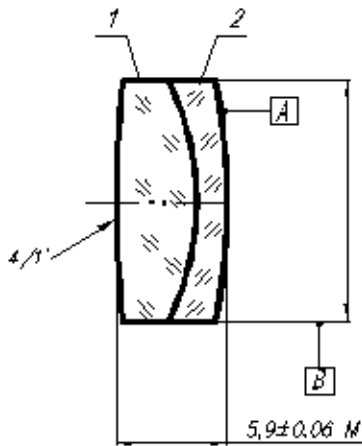
- а) номери окремих деталей (або перелік деталей, перерахованих у специфікації);
- б) подробиці склеювання або іншого методу з'єднання;
- в) розміри й допуски, які вказуються додатково до розмірів і допусків, що приводяться на кресленнях деталей (наприклад, центрування);
- г) фокусна відстань і/або інші вимоги;
- д) спеціальні примітки, що ставляться до методів складання й контролю.

Креслення деталей складальних вузлів повинні містити посилання на методи складання, наприклад, «буде склеєна».

Якщо креслення складального вузла не включає допусків на форму поверхні (відповідно до ISO 10110-5), або дефекти поверхні (відповідно до ISO 10110-7), то допуски, задані на кресленнях відповідних елементів, використовуються й після склейки (або з'єднання методом оптичного контакту).

Якщо допуск на товщину зібраного (наприклад, склеєного) складального вузла менше, чим сума допусків на товщини елементів, що формують

складальний вузол, то елементи повинні бути підібрані, а допуск на товщину складального вузла має бути позначений заголовною буквою «М».



Примітка:

1. Склеїти клеєм ОК-72 ФТ ДСТУ 4887-80.
2. Фокусна відстань 35,35 +3,5 мм.

Рис. 4.23. Оптичний складальний вузол

Примітки, інструкції і додаткова інформація повинні бути завжди згруповані разом на одному полі креслення. Кожна примітка має мати номер для зручності посилання на нього.

Креслення оптичної схеми повинно показувати відносні положення усіх компонентів остаточної оптичної системи і повинно містити в якості необхідних такі пункти (рис. 4.24):

- а) посилальний номер (або перелік деталей, перерахованих у специфікації);
- б) базову (еталонну) вісь (див. ISO 10110-6);
- в) повітряні проміжки, включаючи допуски;
- г) збільшення (повне й/або часткове);
- д) відстань до об'єкта, або область відстаней до об'єкта;
- е) повне поле зору в просторі об'єкта;
- ж) числову апертуру, або f -число (діафрагмене число);
- к) положення й розміри польових діафрагм;
- л) положення й розмір зіниць;
- м) розмір вільних апертур і фізичні розміри деталей;
- н) розмір і формат фокальної площини;
- п) спектральну смугу світлопропускання;

- р) переміщення, необхідні для юстування збільшення й фокусування;
- с) дані по установці поверхні розподілу;
- т) дані по центруванню (див. ISO10110-6);
- у) спеціальні примітки, що ставляться до методів складання й контролю;
- ф) інші експлуатаційні вимоги.

Якщо базова вісь для допуску на центрування (див. ISO 10110-6) не позначена на кресленні схеми, то всі допуски на центрування ставляться до теоретичної оптичної осі.

Для більшої інформативності іноді корисний запис деяких даних у табличній формі. У випадку, коли оптичні системи є складними, з уявним ходом шляху, може бути необхідним показ ізометричних видів.

Повітряні проміжки між елементами повинні бути зазначені уздовж базової осі. Для систем з осьовою симетрією цією віссю є вісь симетрії.

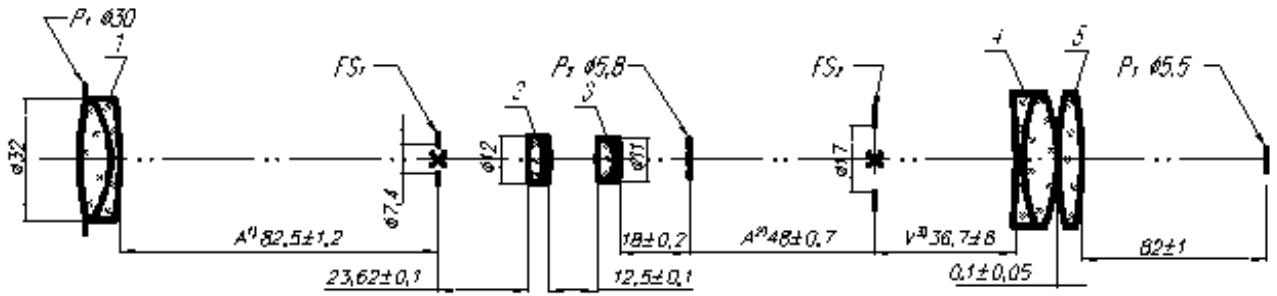
Відстані, які юстуються в процесі складання, або змінюються в ході використання, повинні бути зазначені на кресленні оптичної схеми разом з короткою пояснювальною приміткою, що вказує причини юстування або зміни. Постійні повітряні проміжки треба показувати при номінальних конструктивних розмірах з допуском.

У процесі складання деякі повітряні проміжки по осі можуть змінюватися усередині заздалегідь обумовлених границь із метою досягнення необхідного стану або вимоги. Такі відстані, що юстуються, повинні бути позначені заголовною буквою «А», а причина юстування має бути зазначена у примітці. Якщо необхідно, має бути зазначена також необхідна точність юстування. Розмірна інформація показується на кресленні у такому порядку (рис. 4.25):

- а) буква «А» для позначення того, що відстань є такою, яка юстується;
- б) номінальна відстань;
- в) припустимі границі юстування від номінальної величини.

Приціл оптичний 4х30

Позн. у відп. з ISO10110



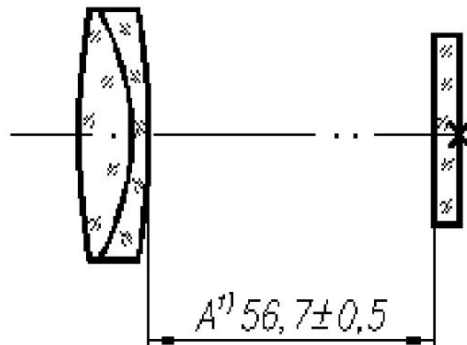
1. Сфокусувати перехрестя на нескінченність, точність юстування $\pm 0,02$.
2. Сфокусувати перехрестя в площину польової діафрагми.
3. Фокусування окуляра - зміна ± 3 діоптр.

- 1 - Об'єктив $f=86,6$.
 2-3 - Обертальна система $f=24,7$.
 4-5 - Окуляр $f=45,8$.

Допуск на центрировку

1	4/1' (0,1)
2	4/5' (0,05)
3	4/5' (0,05)
4	4/10' (0,2)
5	4/10' (0,2)
2-3	4/5' (0,05)
4-5	4/10' (0,2)

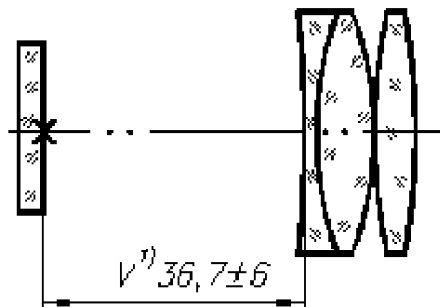
Рис. 4.24. Оптична схема



- 1) Сфокусувати сітку на нескінченність, точність фокусування $\pm 0,02$.

Рис. 4.25. Повітряний проміжок, що юстується

Деякі відстані по осі може знадобитися змінювати при експлуатації зібраної системи. Їх треба позначати буквою «V». Величина зміни разом із причиною зміни має бути показана на кресленні. Якщо необхідно, має бути наведена також необхідна точність (рис. 4.26).



1) Фокусування окуляра, зміна ± 3 діоптр.

Рис. 4.26. Змінний повітряний проміжок

Положення і розміри площин зображення, зіниць, польових діафрагм і інших отворів на кресленнях оптичних схем повинні бути накреслені в такий спосіб:

а) положення площини зображення повинне бути накреслене у вигляді перехрестя (тобто « $\times$ ») на оптичній осі (рис. 4.24; рис. 4.25 і рис. 4.26);

б) положення зіниці повинне бути накреслене у вигляді короткої суцільної лінії (лінія А, ISO 128) поперек оптичної осі (рис. 4.24 і рис. 4.27);

в) фізичні отвори повинні бути накреслені у вигляді суцільних товстих ліній (лінії типу А, ISO 128), що визначають положення;

г) розміри повинні бути накреслені у вигляді суцільних тонких ліній (лінії типу В, ISO 128) паралельних осі (рис. 4.28);

д) інші отвори повинні бути накреслені аналогічно, але штриховими товстими лініями (лінії типу Е, ISO 128), як показано на рис. 4.29.

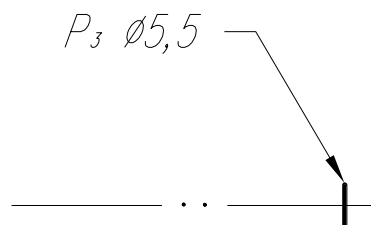


Рис. 4.27. Положення зіниці

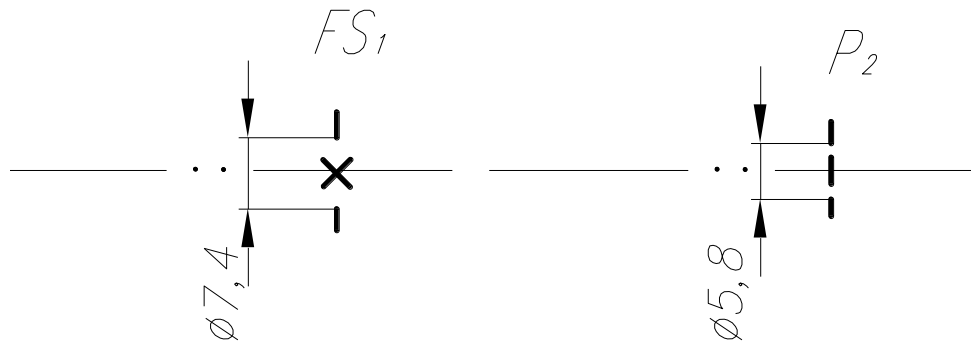


Рис. 4.28. Польова діафрагма і апертурна діафрагма

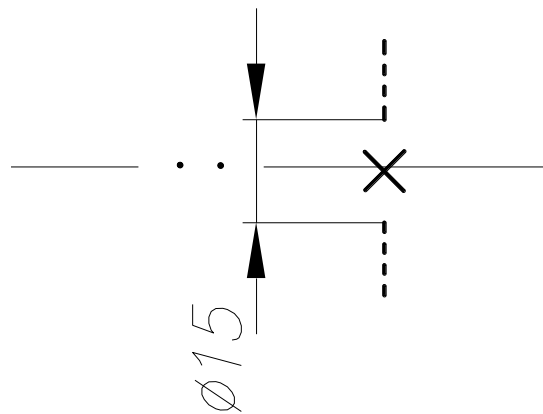


Рис. 4.29. Площина зображення без фізичного отвору

Коли потрібно, то польові діафрагми повинні бути позначені буквами FS1, FS2 і т. ін., зіниці повинні бути позначені буквами P1, P2 і т. ін., послідовно з шляхом падаючого світла (рис. 4.24, рис. 4.27 і рис. 4.28). Розміри польових діафрагм, зіниць і площин зображення повинні бути показані поруч із діафрагмою, зіницею або площиною зображення (рис. 4.24, рис. 4.27, рис. 4.28 і рис. 4.29).

4.4. Дефекти матеріалу

Подвійне променезаломлення, викликане напругою, є результатом напруг усередині скляної заготовки, в наслідок різної швидкості охолодження в процесі формування, процесі відпалу, або деякими процесами виготовлення, що впливають на оптичний елемент ззовні. Подвійне променезаломлення

створюється різницею показників заломлення в склі для світла, поляризованого паралельно або перпендикулярно до залишкової напруги. Це може впливати на якість хвильового фронту або на різницю оптичних шляхів світла, що пропускається оптичним елементом.

Різниця оптичних шляхів (OPD – Optical Path Difference) ΔS між ортогональними поляризаціями світла, що проходить через товщу зразка, є наслідком подвійного променезаломлення. Вона визначається в нанометрах формулою:

$$\Delta S = a\sigma K,$$

де a – довжина шляху в зразку, (см); σ – залишкова напруга (Н/мм^2); K – різниця між фотопружними сталими ($10^{-7} \text{ мм}^2\text{Н}^{-1}$).

Викликане залишковою напругою подвійне променезаломлення характеризується в термінах різниці оптичних шляхів на одиницю довжини шляху, (нм/см). Запізнювання більш ніж на 20 нм/см на еталонній товщині, загалом, відповідає «сирому» відпаленому склу, у той час як запізнювання менше ніж на 10 нм/см на еталонній товщині відноситься до «тонкого» відпалу й звичайно характерно для точних оптичних елементів.

Характеристика допуску на подвійне променезаломлення, викликане напругою, визначається кодовим номером і величиною максимально припустимої OPD на одиницю довжини шляху. Кодовим номером подвійного променезаломлення, викликаного напругою, є число 0 (нуль). Позначення вказується у вигляді: 0/A, де $A = \frac{\Delta S}{a}$ представляє максимально припустиме подвійне променезаломлення, викликане напругою, у нанометрах на сантиметр оптичної довжини шляху.

Позначення повинне бути записане поблизу оптичного елемента, до якого воно ставиться. Якщо необхідно, то позначення може бути з'єднане з елементом за допомогою лінії винесення (див. рис. 4.30). Краще його поєднувати з іншими позначеннями дефектів матеріалу (пузирністю, неоднорідністю й звилинами).

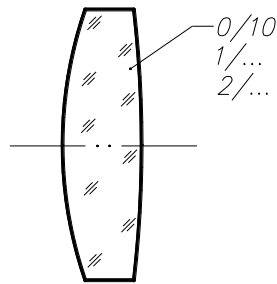


Рис. 4.30. Позначення допуску на подвійне променезаломлення

Альтернативно, для лінзових елементів, позначення може приводитися у таблиці відповідно до ISO 10110-10. На рис. 4.30 показане позначення максимально припустимого подвійного променезаломлення, викликаного напругою, 10 нм/см для лінзового елемента.

У табл. 4.1 наведені приклади допусків на подвійне променезаломлення з відповідними областями застосування по ISO 10110, а в табл. 4.2 по ДСТУ 23136-93.

Таблиця 4.1

Приклади допусків на подвійне променезаломлення по ISO 10110

А, нм/см	Позначення	Області застосування
< 2	0/2	Поляризаційні прилади Інтерференційні прилади
5	0/5	Точна оптика Астрономічна оптика
10	0/10	Фотографічна оптика Оптика мікроскопів
20	0/20	Лупи Оптика відіюшукачів
Без вимог	0/-	Освітлювальна оптика

Приклади допусків на подвійне променезаломлення по ДСТУ 23136-93

Категорія	Подвійне променезаломлення, нм/см, не більш у стеклах з оптичним коефіцієнтом напруги А			Області застосування
	до 2,0	від 2,0 до 2,8	більше 2,8	
1	1,5	3,0	3,0	Поляризаційні, інтерференційні, астрономічні, дифракційно - обмежені прилади, дзеркала лазерів
2	4,0	3,0	8,0	Фотографічні й кінознімальні об'єктиви, обертальні системи, телевізійні прилади
3	7,0	10,0	13,0	
4	10,0	15,0	20,0	Освітлювальні системи, конденсори, лупи
5	35,0	50,0	65,0	

Пузири й включення регламентуються стандартом ISO 10110-3, який обумовлює позначення припустимого рівня пазирів і інших включень в оптичних елементах. Газові порожнечі в об'ємі матеріалу, звичайно круглого поперечного перерізу, які іноді з'являються в склі як результат процесу виготовлення. Усі локалізовані в об'ємі матеріалу дефекти в основному круглого поперечного перерізу, включаючи вузлові звилі, невеликі камені, піщини й кристали.

Після процесу плавки скла і термообробки, у склі виявляються пузири й інші включення, розподілені приблизно в постійній кількості на одиниці об'єму скла. Їхнє число залежить від марки скла й методу виготовлення.

Шкідливий вплив пазирів і включень на якість оптичного зображення приблизно пропорційний їх площі проекції поперечного перерізу і впливає на:

- а) пузири й інші включення розсіюють світло пропорційно їх площі;
- б) поблизу площини зображення пузири й інші включення небажані через їхню видимість у полі зору.

Із цих причин скло традиційно класифікується по класу пузирності в термінах видимої площі поперечного перерізу пузирів і інших включень на одиниці об'єму скла. Проте, ця частина ISO 10110 застосовується до окремих оптичних елементів. Характеристика пузирів і інших включень, які припустимі в елементі, вказується у вигляді:

$$N \times A,$$

де N – число пузирів і включень максимально припустимого розміру, що приймається до розрахунку; A – градаційне число, яке представляє величину їх розміру.

Градаційне число дорівнює квадратному кореню зі спроектованої площі найбільшого припустимого пузиря або включення, вираженого в міліметрах. Величини A зазначені в першому стовпці табл. 4.3. Більше число пузирів і інших включень із меншим градаційним числом є можливим, якщо сума спроектованих площ пузирів і включень не перевершує $N \times A^2$ (максимальної сумарної площі). Градаційні числа зазначені в колонках табл. 4.3, а відповідні коефіцієнти множення наведені в першому рядку таблиці. Таблиця показує, наприклад, що шість пузирів градаційного числа 0,10 мають ту ж саму площу, як і один пузир градаційного числа 0,25.

При визначенні числа припустимих пузирів, пузирі й інші включення із градаційним числом $0,16A$ або менше не враховуються. Загальне число припустимих пузирів визначається відповідно до виразу:

$$\frac{N_0}{1} + \frac{N_1}{2,5} + \frac{N_2}{6,3} + \frac{N_3}{16} \leq N ,$$

де N – число пузирів і включень максимально припустимого розміру, що приймається до розрахунку; N_0 , N_1 , N_2 і N_3 – припустиме число пузирів із градацією з відповідного рядка.

Скупчення пузирів і інших включень не допускаються. Скупчення зустрічаються тоді, коли більш ніж 20 % із числа пузирів і інших включень перебувають у будь-яких 5 % контрольованої області. Якщо сумарне число

пузирів і інших включень менше ніж 10, то тоді 2 або більше пузирів або інших включень, що перебувають в 5 % підобласті, утворюють скупчення.

Позначення пузирів і інших включень, які припустимі в елементі, визначається кодовим номером і числовим виразом. Кодовим номером пузирів і інших включень є число 1. Запис проводиться у вигляді $1/N \times A$. Позначення повинне бути записане поблизу оптичного елемента, якого воно стосується. Якщо необхідно, то позначення може бути з'єднане з елементом за допомогою лінії винесення (рис. 4.31). Бажано його поєднувати з іншими позначеннями дефектів матеріала: подвійним променезаломленням, викликаним напругою, неоднорідністю й звиланами (див. ISO 10110-2 і ISO 10110-4). Альтернативно, для лінзових елементів, позначення може приводитися у таблиці відповідно до ISO 10110-10.

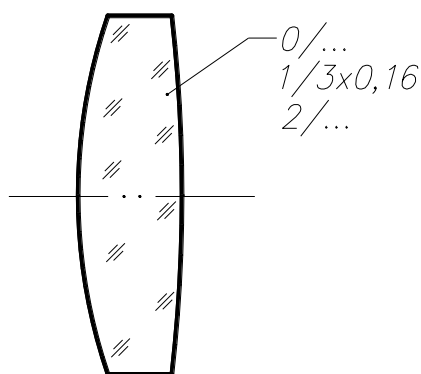


Рис. 4.31. Позначення допуску на пузирі й включення

На рис. 4.31 позначено, що в даному оптичному елементі допускаються не більше трьох пузирів і включень розміром 0,16 мм.

У табл. 4.3 наведені градаційні числа на пузирі і включення по ISO 10110, а у табл. 4.4 розміри пузирів і включень залежно від категорії по ДСТУ 23136-93. Скло категорій 1, 1a і 2 використовуються для деталей, розташованих поблизу або безпосередньо в площині зображення. Пузирність категорій 3 – 5 призначається в аматорських фотоапаратах, біноклях, зорових трубах, тому що пузирі в об'єктивах не дають значного впливу на зображення.

Градаційні числа на пузирі й включення по ISO 10110

Градаційні числа A, мм			
Коефіцієнти множення			
1 кращі величини	2,5	6,3	16
0,006	—	—	—
0,010	0,006	—	—
0,016	0,010	0,006	—
0,025	0,016	0,010	0,006
0,040	0,025	0,016	0,010
0,063	0,040	0,025	0,016
0,10	0,063	0,040	0,025
0,16	0,10	0,063	0,040
0,25	0,16	0,10	0,063
0,40	0,25	0,16	0,10
0,63	0,40	0,25	0,16
1,0	0,63	0,40	0,25
1,6	1,0	0,63	0,40
2,5	1,6	1,0	0,63
4,0	2,5	1,6	1,0

Частина ISO 10110 обумовлює правила позначення припустимих неоднорідностей і звилин в оптичних елементах. Поступова зміна показника заломлення усередині оптичного елемента, визначена у вигляді різниці між максимальною й мінімальною величинами показника заломлення усередині елемента. Неоднорідність викликається зміною хімічного складу й іншими ефектами усередині маси матеріалу. Неоднорідності, що мають малі просторові розміри мають назву звилин. Звилина може виглядати у формі різко обмежених ниткоподібних областей, особливо, коли скло виготовляється методом плавки в глиняному горщику. Метод плавлення у ванні, який може викликати стрічкоподібну структуру звилин, є більш прийнятим при виробництві оптичного скла.

Розміри пузирів і включень по ДСТУ 23136-93

Пузирність				Включення	
Категорія	Діаметр пузиря, мм	Клас	Середнє число пузирів в 1кг скла	Категорія	Розмір включення, мм
1	0,002	А	3	—	—
1a	0,05	Б	10	—	—
2	0,1	В	30	—	—
3	0,2	Г	100	1	0,2
4	0,3	Д	300	—	—
5	0,5	Е	1000	2	0,5
6	0,7	Ж	3000	—	—
7	1,0	—	—	3	1,0
8	2,0	—	—	4	2,0
9	3,0	—	—	5	3,0
10	5,0	—	—	—	—

Безконтактне вимірювання неоднорідності усередині оптичного елемента, як правило, є дуже важким завданням. Тому характеристика класу однорідності оптичного елемента дуже корисна при виборі сировинного матеріалу. Для характеристики неоднорідності встановлюється шість класів. Їм відповідають припустимі зміни показника заломлення у середині оптичного елемента. Їх величини приводяться в табл. 4.5.

Звилини розділяються на п'ять характерних класів. Для класів 1 – 4 звили враховуються тільки, якщо вони викликають різницю оптичних шляхів ΔS не менш 30 нм. При цій умові звилини можуть контролюватися й класифікуватися по їхній площі, спроектованій перпендикулярно оптичному шляху, що проходить через елемент. Клас 5 допускає також характеристику допусків на звили, що викликають різницю оптичних шляхів меншу, чим 30 нм.

Класи неоднорідності

Клас	Максимально припустима зміна показника заломлення усередині деталі $\times 10^{-6}$
0	± 50
1	± 20
2	± 5
3	± 2
4	± 1
5	$\pm 0,5$

Класи 1 – 4 відносяться до щільності звинин, яка визначається у вигляді відносини ефективної спроектованої площі звинин до площі контрольованої області. Величини приводяться у табл. 4.6. Клас 5 застосовується до оптичних елементів з дуже високими вимогами по якості. Обмеження звининами, що перевищують 30 нм різниці оптичних шляхів, у цьому випадку не застосовується. Слід зазначити, що для дуже слабких звинин характеристика максимальної щільності не годиться.

Таблиця 4.6

Клас звинин

Клас	Щільність звинин, що викликають різницю оптичних шляхів не менш 30 нм, (%)
1	≤ 10
2	≤ 5
3	≤ 2
4	≤ 1
5	Екстремально вільний від звинин. Обмеження для звинин, що перевершують 30 нм, не застосовується. Додаткова інформація приводиться в примітці до креслення.

Ці дефекти матеріалу позначаються на кресленнях кодовим номером, косим штрихом, номерами класів неоднорідності і звилин. Кодовим номером неоднорідностей і звилин є число 2. Позначення записується в такий спосіб 2/A; B, де A представляє номер класу неоднорідності, відповідний до табл. 4.6, а B представляє номер класу звилин, відповідний до табл. 4.7. Якщо характеристика однорідності не потрібна, то замість A застосовується риска. Якщо характеристика звилин не потрібна, то замість B застосовується риска.

Позначення повинне записуватися поблизу оптичного елемента, до якого воно відноситься (рис. 4.32). Якщо необхідно, то позначення може з'єднуватися з елементом за допомогою лінії винесення. Бажано поєднувати його з іншими позначеннями дефектів матеріалу (подвійне променезаломлення, викликане напругою, і пухирі, див. ISO 10110-2 і ISO 10110-3).

Альтернативно, для лінзових елементів позначення може приводитися у таблиці відповідно до ISO 10110-10.

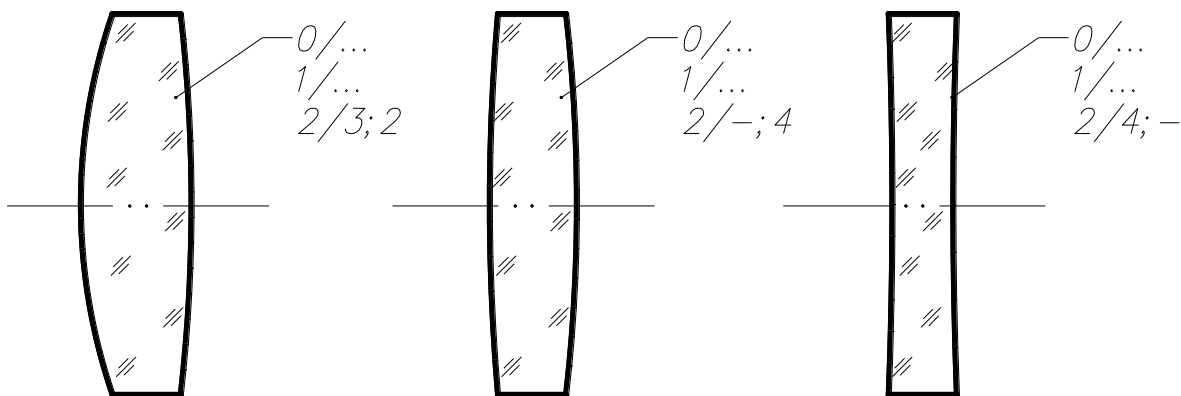


Рис. 4.32. Позначення допуску на неоднорідність і звилин

Під однорідністю партії по показнику заломлення й середньої дисперсії в ДСТУ 23136-93 розуміють однаковість їх значень у всіх заготовках партії. Встановлено чотири класи однорідності партії заготовок по показнику заломлення n_e і два класи однорідності партії по середній дисперсії $n_F' - n_C'$ (див. табл. 4.7).

Відповідно до ДСТУ 23136-93 для оптичного безбарвного скла встановлено дві категорії звильності (див. табл. 4.8). Залежно від числа напрямків контролю, у яких заготовка скла має відповідати зазначеній категорії, встановлено два класи звильності (див. табл. 4.9).

Таблиця 4.7

Класи однорідності по показнику заломлення й середній дисперсії

Нормований параметр	Найбільша різниця в партії			
	Класи			
	А	Б	В	Г
Показник заломлення $n_e \times 10^{-4}$	0,2	0,5	1,0	У межах категорії
Середня дисперсія $(n_{F'} - n_C) \times 10^{-5}$	—	—	1,0	

Таблиця 4.8

Категорії звильності оптичного скла по ДСТУ 23136-93

Категорія	Характеристика звильності
1	Не допускаються звилини, що виявляються при перегляді на установках, градуйованих по контрольному зразкові порівняння 1-ої категорії за ГСТ3521-81, або за зразком порівняння для інфрачервоної області.
2	Не допускаються звилини, що виявляються при перегляді на установках, градуйованих по контрольному зразкові порівняння 2-ої категорії за ГСТ3521-81, або за зразком порівняння для інфрачервоної області.

Таблиця 4.9

Класи звильності оптичного скла по ДСТУ 23136-93

Клас	Число напрямків для перегляду
А	Два взаємно перпендикулярні
Б	Одне

4.5. Допуски на форму поверхні

Ця частина ISO 10110-5 обумовлює правила позначення допусків на форму поверхні. Для характеристики допусків використовується термінологія інтерферометрії. Частина ISO 10110 застосовується до поверхонь як сферичної так і асферичної форми.

Відхилення форми поверхні це відстань між контрольованою оптичною поверхнею й номінальною теоретичною поверхнею, вимірювана перпендикулярно до теоретичної поверхні, яка паралельна поверхні, що контролюється. Для цілей контролю необхідна теоретична поверхня може бути представлена за допомогою контрольного скла, інтерферометричної еталонної поверхні або іншого способу, що вимірює відхилення з достатньою точністю.

Розмах (PV) різниці «peak-to-valley (PV) difference» (між двома поверхнями) це максимальна відстань мінус мінімальна відстань між поверхнями. У випадку, коли мінімальна відстань між поверхнями є від'ємним числом, знак має бути врахований при підрахунку PV різниці.

Одиниця інтервалу інтерференційної смуги це відхилення форми поверхні, що дорівнює половині довжини хвилі світла. Коли поверхня контролюється інтерферометричним методом, відхилення форми поверхні в половину довжини хвилі світла викликає інтерференційну картину, у якій інтенсивність змінюється від однієї яскравої інтерференційної смуги до слідуючої, або від однієї темної інтерференційної смуги до слідуючої, тобто спостерігається один «інтервал інтерференційної смуги».

Функція сумарного відхилення поверхні це теоретична поверхня, яка визначається по різниці між реальною поверхнею й бажаною теоретичною поверхнею. Найближча сферична поверхня це сферична поверхня, для якої середньоквадратична (rms) різниця для функції сумарного відхилення поверхні є мінімальною. Похибка стрілки «sagitta error» це розмах різниці між найближчою сферичною поверхнею й площиною.

Функція нерегулярності це теоретична поверхня, яка визначається по різниці між функцією сумарного відхилення поверхні й найближчою

сферичною поверхнею. Нерегулярність це розмах (PV) різниці між функцією нерегулярності й площиною, яка найкраще наближається до неї. Для номінальних сферичних поверхонь нерегулярність представляє відхилення поверхні від сферичності. Для асферичних поверхонь нерегулярність представляє сферичну частину функції сумарного відхилення поверхні.

Найближча асферична поверхня це поверхня, що має симетрію обертання, для якої середньоквадратична (rms) різниця функції нерегулярності мінімальна. Нерегулярність, що має симетрію обертання це розмах (PV) різниці між найближчою асферичною поверхнею й площиною, яка найбільше наближається до неї.

Сумарне середньоквадратичне (rms) відхилення $RMSt$ це середньоквадратична різниця між контрольованою оптичною поверхнею й бажаною теоретичною поверхнею, без врахування будь-якого типу відхилення форми поверхні. Середньоквадратична (rms) нерегулярність, $RMSi$ це середньоквадратична величина функції нерегулярності, обумовлена функцією нерегулярності.

Середньоквадратична (rms) асиметрія, $RMSa$ це середньоквадратична величина різниці між функцією нерегулярності й найближчою асферичною поверхнею.

Допуск на форму поверхні позначається кодовим номером і позначеннями допусків для похибки стрілки нерегулярності, що має симетрію обертання, і типів середньоквадратичного (rms) відхилення, відповідно.

Кодовим номером допуску на форму поверхні є число 3.

Позначення повинне мати одну із трьох форм:

- а) $3/A(B/C)$;
- б) $3/A(B/C) RMSx < D$ (де x є однієї з букв t , i або a);
- в) $3/- RMSx < D$ (де x є однієї з букв t , i або a).

Величина A є:

- 1) максимально припустимою похибкою стрілки вираженою в інтервалах інтерференційних смуг;

2) рискою (-), що означає, що сумарний допуск на радіус кривизни показаний на розмірі радіуса кривизни (для плоских поверхонь не застосовується).

Величина В є:

1) максимально припустимою величиною нерегулярності, яка визначається в інтервалах інтерференційних смуг;

2) рискою (-), що означає, що точний допуск на нерегулярність не приводиться.

Величина С є припустимою нерегулярністю, що має симетрію обертання, яка виражається в інтервалах інтерференційних смуг. Якщо допуск не приводиться, то коса риска (/) замінюється кінцевою круглою дужкою, тобто 3/A(B). Якщо допуск не приводиться для всіх трьох типів відхилення, то тоді А, В, С, коса риска (/) і круглі дужки замінюються єдиною рискою (-), тобто 3/-.

Величина D є максимально припустимою величиною середньквдратичної (rms) величини, що характеризується знаком х, де знак х є однієї з букв t, і або а. Характеристика більш ніж одного типу середньквдратичного (rms) відхилення є припустимою. Ці характеристики повинні розділятися крапкою з комою, як показано в прикладі 5.

Позначення має бути показане з винесеною лінією до поверхні, до якої вона ставиться, і має поєднуватися з похибками центрування й дефектами поверхні. Альтернативно, для лінзових елементів позначення може приводитися в таблиці відповідно до ISO 10110-10.

Максимально припустиме число інтервалів інтерференційних кілець, що відповідає розміру допуску на радіус кривизни, з урахуванням того, що відношення $R/\Delta R$ є малим, встановлюється такою формулою:

$$N = \frac{2\Delta R}{\lambda} \left\{ 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{\varnothing}{2R} \right)^2} \right\},$$

де: R – радіус кривизни; ΔR – допуск на радіус кривизни; $\varnothing$ – світловий діаметр; λ – довжина хвилі (звичайно 546 нм).

Приклади позначення відхілень приведені нижче.

Приклад 1: 3/3 (1) – допуск на похибку стрілки дорівнює 3 інтервалам інтерференційних смуг. Нерегулярність не може перевершувати 1 інтервал інтерференційної смуги.

Приклад 2: 3/5 (-) RMS: < 0,05 – допуск на похибку стрілки дорівнює 5 інтервалам інтерференційних смуг. Відповідні допуски не приводяться для нерегулярності або нерегулярності симетрії, що має, обертання, але середньоквадратична (rms) величина нерегулярності не може перевищувати 0,05 інтервалу інтерференційної смуги.

Приклад 3: 3/3 (1/0,5) (усі $\varnothing$ 20) – допуск на похибку стрілки дорівнює 3 інтервалам інтерференційних смуг. Сумарна нерівність не може перевершувати 1 інтервал інтерференційної смуги. Нерегулярність, що має симетрію обертання, не може перевершувати 0,5 інтервалу інтерференційної смуги. Ці допуски застосовуються до всіх можливих зон контролю діаметром 20 мм у середині загальної області контролю.

Приклад 4: 3/ - (1) – характерний допуск на похибку стрілки не приводиться; допуск на радіус кривизни зазначений на позначенні радіуса кривизни. Сумарна нерегулярність не може перевершувати 1 інтервал інтерференційної смуги.

Приклад 5: 3/ - RMSt < 0,07; RMSa < 0,035 – характерний допуск на похибку стрілки, нерегулярність або нерегулярність, що має симетрію обертання, не приводиться. Допуск на радіус кривизни зазначений у позначенні радіуса кривизни, проте, коли поверхня порівнюється з бажаною теоретичною поверхнею, сумарне середньоквадратичне (rms) відхилення має бути менше, чим 0,07 інтервалу інтерференційної смуги, а середньоквадратична (rms) асиметрія – менше, чим 0,035 інтервалу інтерференційної смуги.

4.6. Допуски на центрування

Ця частина ISO 10110-6 обумовлює правила позначення допусків на центрування оптичних елементів, вузлів і складань. Ці правила застосовуються

тільки до оптичних систем, що мають симетрію обертання. Оптична вісь оптичної системи це теоретична вісь, навколо якої оптична система має номінально симетрію обертання. Виключеннями є відхиляючі елементи й системи, такі як плоскі дзеркала, призми та інші. Базова вісь це вісь з урахуванням специфічних особливостей оптичної системи. Базова крапка це характерна крапка на базовій осі.

Кут нахилу сферичної поверхні це кут між базовою віссю й нормаллю до поверхні в крапці перетинання її з базовою віссю (рис. 4.33).

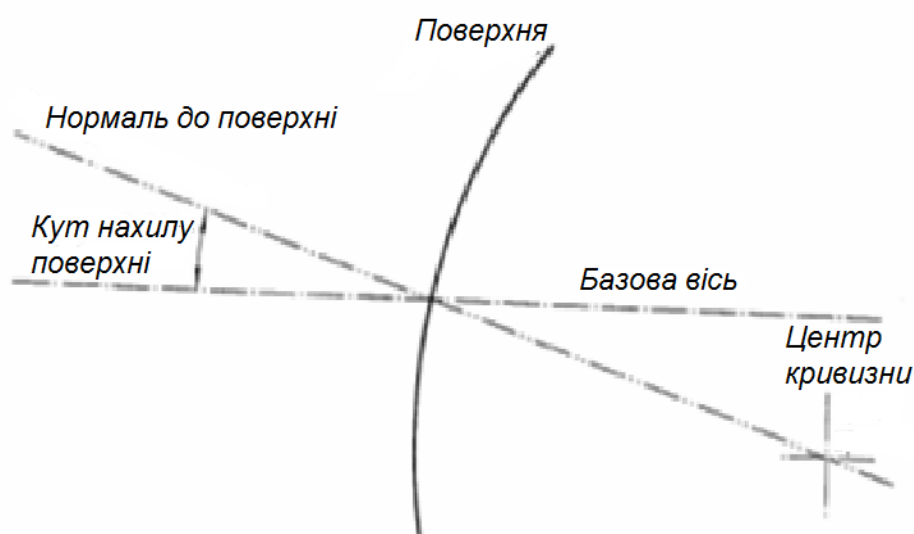


Рис. 4.33. Кут нахилу сферичної поверхні

Кут нахилу асферичної поверхні це кут між віссю обертання й базовою віссю деталі, вузла або системи, до якої відноситься асферична поверхня. Поперечний зсув асферичної поверхні це відстань від крапки симетрії обертання асферичної поверхні до базової осі.

Кут нахилу оптичного елемента або вузла це кут між базовою віссю елемента або вузла й базовою віссю системи, частиною якої є елемент або вузол (рис. 4.34). Поперечний зсув оптичного елемента або вузла це відстань між базовою віссю елемента або вузла й базовою віссю системи, частиною якої є елемент або вузол, вимірюваний від базової крапки вузла (рис. 4.34).

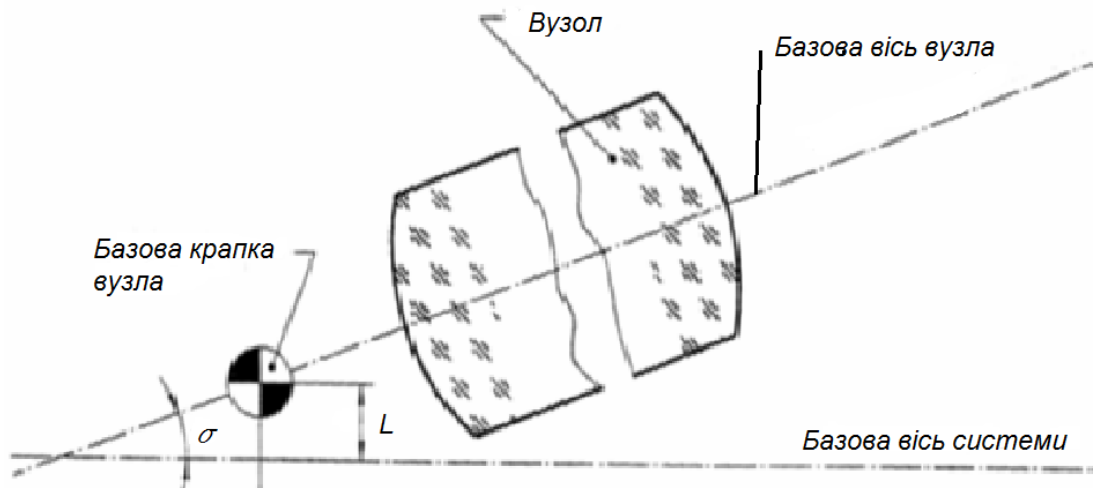


Рис. 4.34. Кут нахилу й поперечний зсув оптичного вузла:

σ – кут нахилу; L – поперечний зсув

Для окремих сферичних поверхонь має бути зазначений максимально припустимий кут нахилу (σ) що до базової осі. Для окремих асферичних поверхонь повинні бути визначені максимально допустимі величини кута нахилу σ і поперечного зсуву L . Якщо асферична дія поверхні є малою в порівнянні зі сферичною, тоді допуск на центрування може бути оговорено наче б то вона була сферичною поверхнею.

Для оптичних елементів і вузлів повинні бути зазначені максимально допустимі величини кута нахилу σ поперечний зсув L . Для склеєних оптичних вузлів можна точно визначити допуск на клиновий кут шару клею.

Допуски на центрування поверхонь оптичних елементів, які не мають оптичних функцій (такі як циліндричний край) повинні бути охарактеризовані відповідно до правил, викладених в ISO 1101 (рис. 4.46 і рис. 4.47).

Базова вісь вказується шляхом застосування базових трикутників до однієї або двох деталей відповідно до ISO 1101. Вони позначаються заголовними римськими буквами (рис. 4.35, а і рис. 4.36).

На кресленнях, на яких вказуються допуски на центрування окремих поверхонь, існують два випадки, при яких базову вісь нема необхідності вказувати:

- а) базова вісь визначається зовнішнім циліндром елемента (рис. 4.36, б);
- б) базова вісь визначається центром кривизни поверхні й розташованою у середині крапкою цієї поверхні (рис. 4.37, б).

Базова крапка має бути зазначена таким символом:



Базову крапку немає необхідності вказувати, якщо вона збігається із крапкою перетинання базової осі й першої (в напрямку світла) оптичної поверхні оптичної системи, до якої вона ставиться. Для одиночних асферичних поверхонь, що мають симетрією обертання, базова крапка збігається із крапкою симетрії поверхні, тому указувати її немає необхідності.

Позначення допусків на центрування складається з кодового номера, одного або двох величин допуску й, якщо необхідно, посилення на елементи базової осі (рис. 4.35). Для позначення кутового допуску клина клею трикутний дельта-символ (Δ) має передувати величині допуску.

Кодовим номером допусків на центрування є число 4. Структура позначення має мати одну з таких форм:

$$4/\sigma; 4/\sigma(L); 4/\Delta\tau,$$

де σ – максимально допустимий кут нахилу; L – максимально допустимий поперечний зсув; τ – (наступне за трикутним символом Δ) максимально допустимий кут клина клею.

Допуски на центрування ставляться до базової осі оптичного елемента або вузла. Якщо на кресленні вказується більш ніж одна базова вісь, то довідкові букви відповідної базової осі повинні бути добавлені до величин допусків (рис. 4.49).

Величини допусків повинні бути зазначені у кутових хвилинах (') або кутових секундах (") дуги для кутових розмірів і у міліметрах для лінійних розмірів. Позначення повинне бути показане в з'єднанні з лінією-винесенням до поверхні або оптичної системи, до якої ставиться (рис. 4.35 – рис. 4.39). Для поверхонь кращим методом є об'єднання позначення з позначеннями допусків на форму поверхні й допусками на дефекти поверхні.

На кресленнях оптичних схем допуски на центрування можуть бути вказані в таблиці. Якщо базова вісь не вказується, то всі допуски на центрування ставляться до теоретичної оптичної осі. Приклади одиночних

елементів показані на рис. 4.35 – рис. 4.39, рис. 4.46 і рис. 4.47. Для вузлів і складань на рис. 4.40 – рис. 4.45 і на рис. 4.48, рис. 4.49. На рис. 4.35, а базовою віссю є вісь зовнішнього циліндра (ця вісь рекомендується тільки тоді, коли товщина по краю елемента є достатньою). Якщо базова вісь не позначена і допуски на кут нахилу обох оптично діючих поверхонь є точно визначеними (рис. 4.35, б), то тоді базова вісь є віссю зовнішнього циліндра.

Базова вісь на рис. 4.36 є лінією, що з'єднує центр кривизни лівої поверхні й центральну точку поперечного перерізу В. На рис. 4.37, а базова вісь є лінією, що з'єднує центр кривизни й центральну точку лівої поверхні. Якщо базова вісь не позначена, а точно визначений тільки допуск на кут нахилу, як показано на рис. 4.37, б, то базова вісь позначається як показано на рис. 4.37, а.

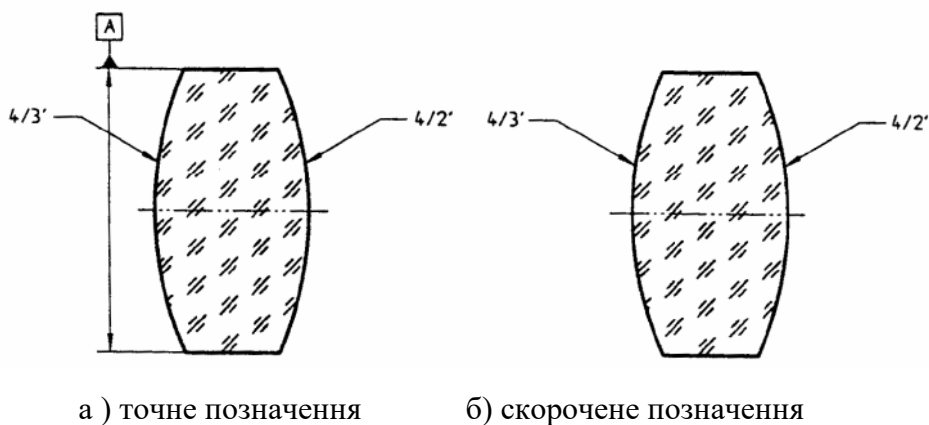


Рис. 4.35. Базова вісь обумовлена бічним циліндром

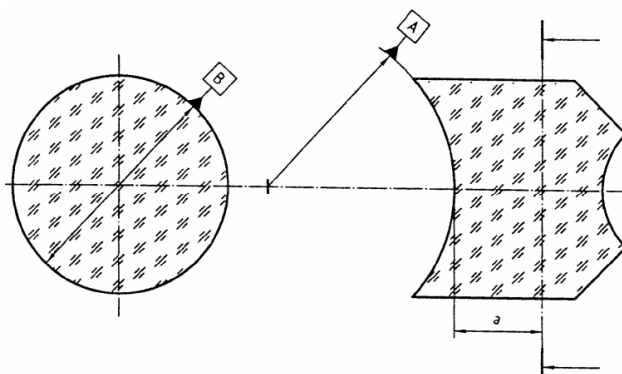


Рис. 4.36. Базова вісь обумовлена центром кривизни поверхні й центром позначеного поперечного перерізу

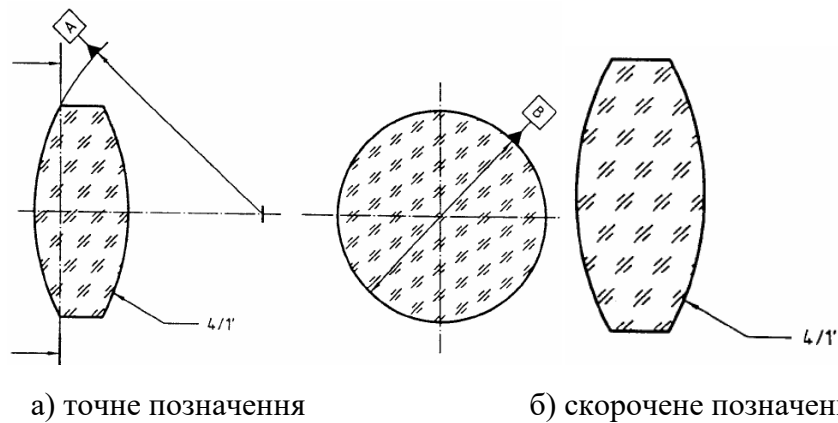


Рис. 4.37. Базова вісь обумовлена центром кривизни й центральною крапкою тієї ж самої поверхні

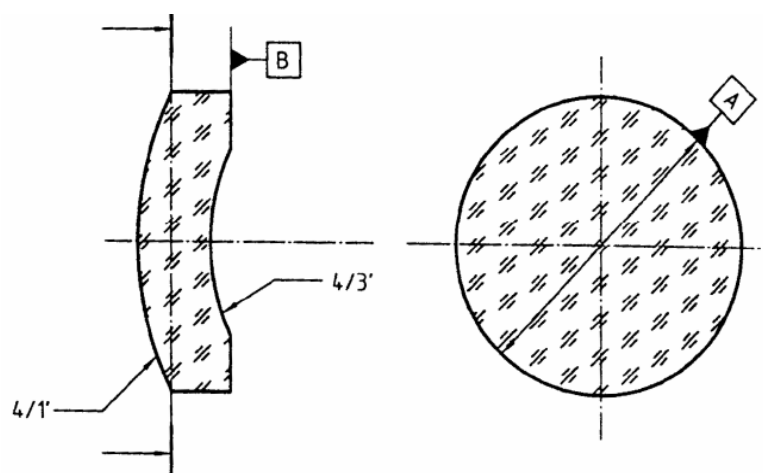


Рис. 4.38. Базова вісь обумовлена площиною й центральною крапкою оптично діючої поверхні

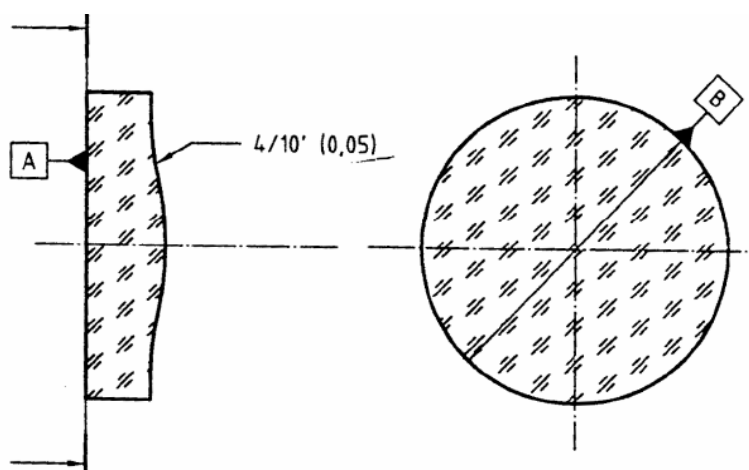


Рис. 4.39. Допуск на центрування асферичної поверхні

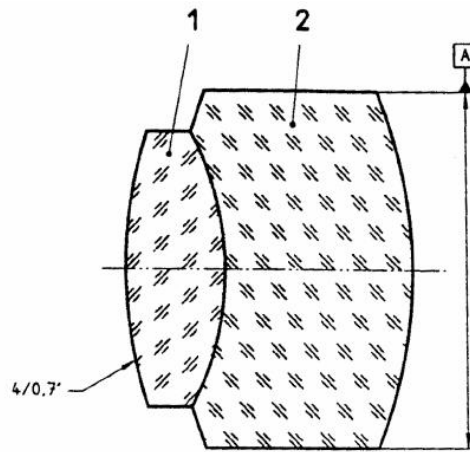


Рис. 4.40. Базова вісь обумовлена зовнішнім циліндром

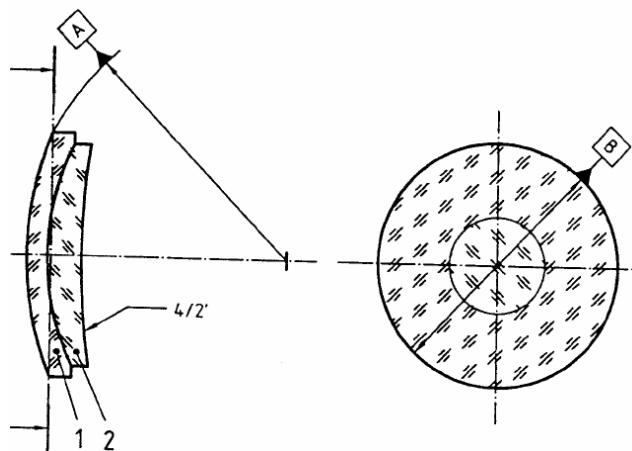


Рис. 4.41. Базова вісь обумовлена центром кривизни й центральною крапкою тієї ж самої поверхні

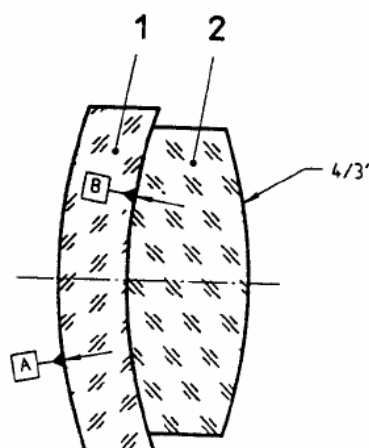


Рис. 4.42. Базова вісь обумовлена центрами кривизни двох поверхонь

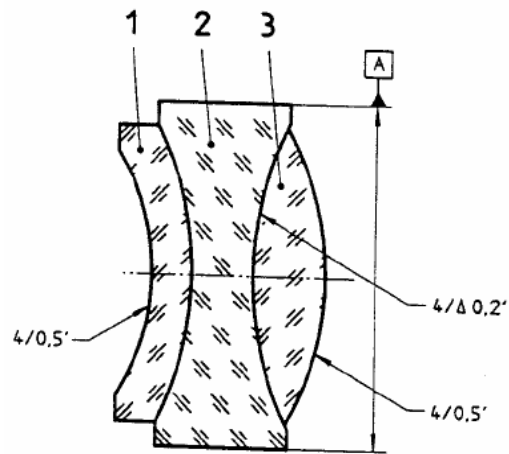


Рис. 4.43. Складальний вузол, що включає позначення допуску на клейовий клин, а базова вісь визначається зовнішнім циліндром

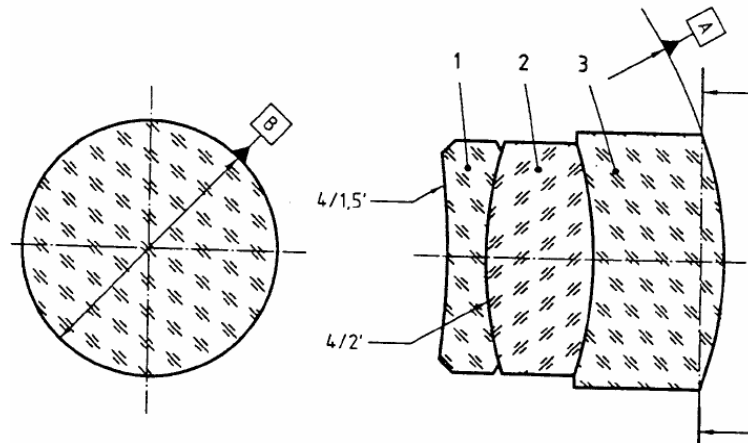


Рис. 4.44. Базова вісь обумовлена центром кривизни й центральною крапкою тієї ж самої поверхні

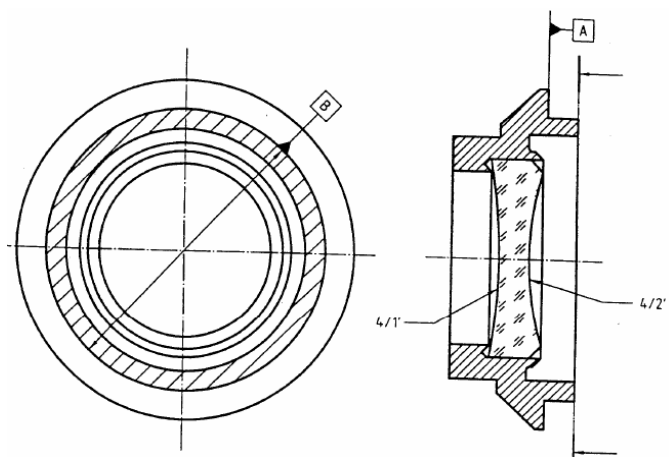
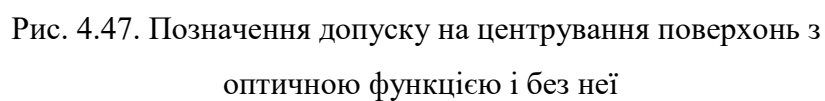
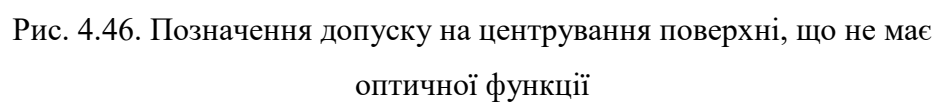


Рис. 4.45. Базова вісь обумовлена механічними елементами



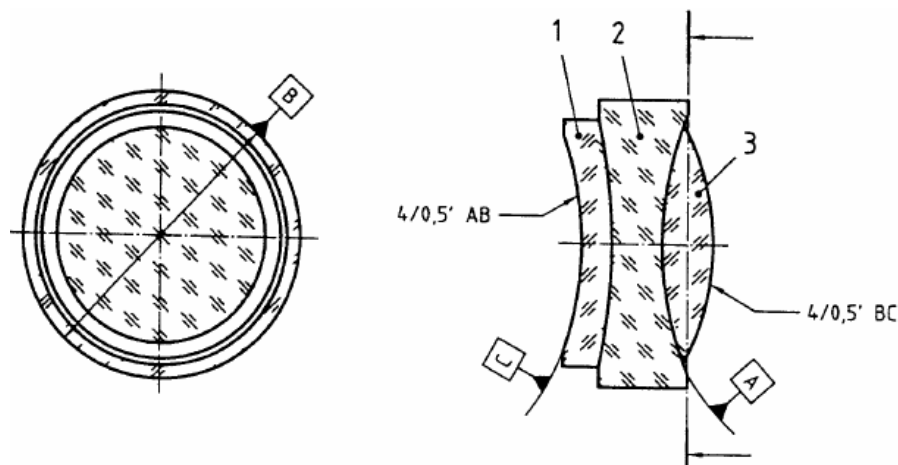


Рис. 4.49. Позначення допуску на центрування склеєного елемента, що до двох різних базових осей

4.7. Допуски на дефекти поверхні

Ця частина ISO 10110 обумовлює правила позначення припустимого рівня дефектів поверхні (подряпини, проколи, сліди затискача, зовнішні дефекти обробки і т. ін.) усередині світлового отвору присутніх на оптичних поверхнях окремих оптичних елементів. Вказується також і метод визначення розміру припустимих виколів.

Дефекти поверхні це дефекти, локалізовані усередині оптично діючого отвору поверхні, отримані в результаті некоректної обробки під час або після процесу виготовлення. Прикладами дефектів поверхні є подряпини, проколи, прополіровані бульбашки, прожилки, подряпини й сліди затискача. Сюди також включені й наявні зовнішні дефекти обробки, такі як сірі плями, зафарбовування, які поглинають або відбивають світло інакше, ніж решта покриття. Довгі подряпини це тонкі дефекти поверхні з довжиною більше 2 мм. Виколи це дефекти, зосереджені на периферії елемента.

Позначення припустимих дефектів поверхні визначається кодовим номером і числовим значенням. Кодовим номером дефектів поверхні є цифра 5. Числові значення залежать від методу, який використовується (Методу I або Методу II).

Метод І – метод, що затемнюється або створює враження затемненої зони. У Методі І позначення на кресленні припустимого числа й розміру основних дефектів поверхні в оптично діючому отворі поверхні, має вигляд:

$$5/N \times A,$$

де N – кількість припустимих дефектів поверхні максимально прийнятного розміру; A – еталонний клас, який дорівнює квадратному кореню із площі поверхні максимально припустимого дефекту, у міліметрах.

Рекомендовані значення A дані в першому стовпчику в табл. 4.10.

Якщо необхідно, можлива більш точна вказівка допустимого рівня зовнішніх дефектів обробки окремо від основних дефектів поверхні.

Продовженням позначення основних дефектів поверхні й відділених від них крапкою з комою позначеннями зовнішніх дефектів обробки, допустимих в оптично діючій отворі, може бути позначення:

$$CN' \times A',$$

де C – позначає зовнішні дефекти обробки; N' – число зовнішніх дефектів максимально допустимого розміру, що дозволяється; A' – еталонний клас.

Позначення дефектів поверхні, включаючи зовнішні дефекти обробки, має вигляд:

$$5/N \times A; CN' \times A'.$$

Якщо ніякого окремого позначення зовнішніх дефектів обробки не зазначене, то воно включене в прийняте позначення допустимих основних дефектів поверхні:

$$5/N \times A.$$

Продовженням позначення основних дефектів поверхні (і зовнішніх дефектів обробки) і відділеним від нього крапкою з комою є позначення довгих подряпин (з максимальною довжиною 2 мм), які допускаються в оптично діючій отворі поверхні:

$$LN'' \times A'',$$

де L – позначає довгі подряпини; N" – припустиме число довгих подряпин; A" – еталонний клас, що уточнює максимально можливу ширину подряпин, у міліметрах.

Таблиця 4.10

Рекомендовані значення й коефіцієнти підрозділів для дефектів
поверхні відповідно до Методу I

	Коефіцієнти множення			
	1 (рекомендовані значення)	2,5	6,3	16
Еталонні класи A, мм	0,006	–	–	–
	0,010	0,006	–	–
	0,016	0,010	0,006	–
	0,025	0,016	0,010	0,006
	0,040	0,025	0,016	0,010
	0,063	0,040	0,025	0,016
	0,10	0,063	0,040	0,025
	0,25	0,10	0,063	0,040
	0,40	0,25	0,10	0,063
	0,63	0,40	0,25	0,10
	1,0	0,63	0,40	0,25
	1,6	1,0	0,63	0,40
	2,5	1,6	1,0	0,63
	4,0	2,5	1,6	1,0

Позначення дефектів поверхні, включаючи зовнішні дефекти обробки й довгі подряпини, має вигляд:

$$5/N \times A; CN' \times A'; LN'' \times A''.$$

Продовженням позначення основних дефектів поверхні (зовнішніх дефектів обробки й/або довгих подряпин) і відділеним від нього крапкою з комою є позначення припустимих виколів у вигляді:

EA''',

де Е – позначає виколки; А''' – еталонний клас, що уточнює максимально допустиму довжину однієї виколки від фізичного краю поверхні вимірюваного елемента паралельно поверхні, у міліметрах.

Допускається будь-яке число виколок, аби тільки їхня довжина, починаючи від краю, не перевищувала інтервалу А'''.

Повне позначення дефектів поверхні, включаючи зовнішні дефекти обробки, довгі подряпини й виколки, має вигляд:

$$5/N \times A; CN' \times A'; LN' \times A'; EA'''.$$

Дозволяються набагато більше число основних дефектів поверхні (включаючи зовнішні дефекти обробки) при меншому еталонному класі, якщо сума їх площ не перевищує сумарну максимальну площу:

$$N \times A^2 \text{ – для основних дефектів поверхні;}$$

$$N' \times A'^2 \text{ – для зовнішніх дефектів обробки.}$$

Еталонні класи дані в стовпчиках табл. 4.10, а відповідні коефіцієнти множення – у першому рядку таблиці. Табл. 4.10. показує, наприклад, що шість дефектів поверхні еталонного класу 0,10 мають таку ж площу, що й один дефект поверхні еталонного класу 0,25.

При визначенні числа допустимих дефектів поверхні не враховуються ті з них, які мають еталонний клас 0,16А, або менший.

Допускаються більше число довгих подряпин за умови, що їх сумарна ширина не перевищує $N'' \cdot A''$. При обчисленні цієї суми не враховуються подряпини, ширина яких менш $0,3A''$.

Скупчення дефектів не допускаються. Скупченням вважається, коли більш 20 % числа допустимих дефектів перебуває в 5 % випробуваній зоні. Якщо загальне число дефектів поверхні менше 10, то два дефекти або більше, що перебувають в 5 %-ій зоні, вважаються скупченням.

Метод II – метод видимості. У Методі II контролюється весь оптичний елемент. Дефекти усіх використаних оптичних поверхонь, так само і дефекти матеріалів (пузири й інші включення) спостерігаються одночасно.

Позначення на кресленні видимості дефектів поверхні оптичного елемента, обумовлених Методом II, має вигляд:

$$5/TV, \text{ або } 5/RV,$$

де T або R – є позначеннями, що відповідають випробуванню на просвіт або відбиття; V – номер класу видимості, відповідно до табл. 4.11. і табл. 4.12.

Два позначення «T» і «R» застосовуються у випадку поверхні з подвійною дією, наприклад, як дільник променів. Число V є цілим числом і змінним від 1 до 5 у послідовності убудування (від 1 до 5) через дефекти поверхні елемента.

Продовженням позначення дефектів поверхні по методу видимості є позначення допустимих виколок, обумовлене як і в Методі I у вигляді

$$EA'',$$

де E – позначає виколки; A'' – еталонний клас, що уточнює максимально можливу довжину однієї виколки від фізичного краю поверхні вимірюваного елемента паралельно поверхні, у міліметрах.

Допускається будь-яке число виколок, аби тільки їхня довжина, починаючи від краю, не перевищувала A''.

Повне позначення дефектів поверхні, включаючи виколки, по Методу II має вигляд

$$5/TV \times EA'', \text{ або } 5/RV \times EA''.$$

Позначення повинне бути записане поблизу поверхні, до якої воно відноситься. Якщо необхідно, позначення може бути з'єднане з елементом виносною лінією. Бажано його об'єднати з іншими позначеннями допусків на поверхню (допуск на форму поверхні й допуск на центрування). Позначення може бути дане також у вигляді таблиці, відповідно до ISO 10110-10:1996.

Якщо два або більше оптичних елементів повинні бути склеєні (або з'єднані за рахунок оптичного контакту), то допуски на дефекти поверхонь, зазначені для окремих елементів, поширюються так само, за винятком протилежних вказівок, на поверхні оптичного склеювання, тобто після склеювання (або оптичного контакту).

Якщо позначення має вигляд $5/2 \times 0,25$ (тобто 2 дефекту поверхні еталонного класу 0,25), то тоді допускаються $2 \times 2,5 \approx 5$ дефектів поверхні, еталонний клас яких дорівнює 0,16, або $2 \times 6,3 \approx 12$ дефектів поверхні, еталонний клас яких дорівнює 0,1 або $2 \times 16 \approx 32$ дефекту поверхні, еталонний клас яких дорівнює 0,063. Будь яка комбінація, що відповідає тій, яка рівновелика першій, припустима за умови, що сумарна площа проекцій усіх дефектів поверхні, еталонний клас яких перевершує $0,16 \times 0,25 = 0,04$, не перевищуватиме $2 \times 0,252 = 0,125 \text{ мм}^2$.

Відповідно до ДСТУ 11141-84 число й розміри крапок і подряпин не повинні перевищувати значень, зазначених у табл. 4.13

Позначення $5/3 \times 0,63$; C $2 \times 1,6$; L $2 \times 0,01$; E 1,0 означає, що допускаються три дефекти поверхні еталонного класу $A=0,63$; два зовнішні дефекти обробки еталонного класу $A'=1,6$; дві довгі подряпини еталонного класу $A''=0,01$ і виколки протяжністю $A'''=1,0$. Еталонний клас $A=0,63$ еквівалентний площі $(0,63)^2 = 0,40 \text{ мм}^2$ на дефект.

Таблиця 4.11

Позначення класів відимості при контролі на просвіт по Методу II

Клас відимості	Освітленість зразка, що підлягає випробуванню з допуском $\pm 5 \%$	Фон еталону
T5	310 lux	Регульований
T4	625 lux	Регульований
T3	1250 lux	Регульований
T2	2500 lux	Регульований
T1	2500 lux	Чорний

Позначення $5/T3$; E 1,0 означає, що лінза не має мати видимих дефектів, коли вона спостерігається на просвіт через прилад випробування відимості, висвітлення якого відповідає класу відимості 3 (табл. 4.12). Крім того, не

допускаються ніякі виколки, якщо вони простираються більш ніж на 1,0 мм від краю елемента.

Таблиця 4.12

Позначення класів відимості при контролі на відбиття по Методу II

Клас видності	Освітленість зразка, що підвергається випробуванням з допуском $\pm 5\%$	Фон еталону
R5	310 lux	Регульований
R4	625 lux	Регульований
R3	1250 lux	Регульований
R2	2500 lux	Регульований
R1	2500 lux	Чорний

Таблиця 4.13

Розміри крапок і подряпин

Клас чистоти	Подряпини		Крапки		Скупчення дефектів	
	Ширина, мм, не більш	Сумарна довжина, мм, не більш	Діаметр, мм, не більш	Число, не більш	Діаметр обмеженої ділянки, мм	Сумарна площа дефектів, мм ²
I	0,004	2×O _∅	0,02	0,5×O _∅	1,0	0,004
II	0,006		0,05		1,2	0,006
III	0,010		0,10		2,0	0,020
IV	0,02		0,30		5,0	0,10
V	0,04		0,50		10,0	0,40
VI	0,06		0,70		25,0	3,0
VII	0,1		1,0		50,0	10,0
VIII	0,2	1,5×O _∅	2,0	0,4×O _∅	—	—
Viiiа	0,3				—	—

4.8. Текстура поверхні

Ця частина ISO 10110-8 обумовлює правила позначення текстури поверхонь оптичних елементів. Текстура поверхні це загальновизнана статистична характеристика, що ставиться до профілю оптичної поверхні. Матова поверхня це оптична поверхня, для якої зміна висоти текстури поверхні незначно менше, чим довжина хвилі видимого світла. Матові поверхні виготовляються шляхом грубого шліфування скла або іншого діелектричного матеріалу, або шляхом травлення. Дзеркальна (оптично гладка) поверхня це оптична поверхня, для якої зміна висоти текстури поверхні значно менше, чим довжина хвилі видимого світла. Мікродефект це мала нерівність (звичайно розміром менше, ніж $1\text{ }\mu\text{m}$) на полірованій поверхні.

Матові поверхні треба характеризувати позначенням середньоквадратичної (r.m.s.) зміни висоти R_q . Ця величина залежить від еталонної довжини. З цієї причини може бути необхідним точне визначення нижньої межі або, якщо потрібно, нижньої й верхньої меж еталонної довжини.

Є три методи опису полірованих поверхонь:

- а) за допомогою середньоквадратичної (r.m.s.) шорсткості поверхні R_q ;
- б) за допомогою вказівки щільності мікродефектів;
- в) за допомогою функції питомої спектральної щільності (PSD).

Поліровані поверхні звичайно характеризуються вказівкою середньоквадратичної (r.m.s.) шорсткості поверхні R_q . Якщо зміни висоти поверхні підпорядковуються певним властивостям статистичного розподілу, то середньоквадратична (r.m.s.) величина R_q , може бути пов'язана з величиною оптичного розсіювання. Відмітимо, що середньоквадратичний (r.m.s.) опис є неповним без вказівки нижньої й верхньої меж еталонної довжини.

Під мікродефектами можуть розумітися існуючі дуже локалізовані поглиблення на «гладкій» поверхні. Вони підраховуються шляхом легкого волочіння гострої голки механічного профілометра поперек поверхні, одночасно вимірюючи й відзначаючи число разів N , коли голка помітно

відхиляється від звичайно «гладкої» поверхні на довжині сканування 10 мм. Для підрахунку мікродефектів також можуть бути використані оптичний профілометр, мікроскоп, або компаратор оптичних зображень.

Функція PSD представляє частотний спектр шорсткості поверхні, виміряний у зворотніх одиницях довжини. Вона дає повний опис характеристик текстури поверхні й особливо корисна для характеристики супергладких поверхонь, використовуваних у високотехнологічних областях застосування. Опис за допомогою функції PSD не ставить обмежень до природи, або статичних властивостей, вимірюваної поверхні.

В одномірному випадку (тобто коли текстура поверхні може бути визначена шляхом проведення виміру уздовж лінії на поверхні) PSD, що виражається в кубічних мікрометрах, може бути промодельована виразом

$$PSD = \frac{A}{f^B} \quad \text{для} \quad \frac{1}{1000 \cdot D} < f < \frac{1}{1000 \cdot C},$$

де f – просторова частота шорсткості (μm^{-1}); B – ступінь, до якого просторова частота зводиться; C і D – мінімальний і максимальний просторові періоди (еталонні довжини) вимірів, у міліметрах; A – постійна, виражена в μm^{3-B} .

Величина B має бути більше нуля (для багатьох поверхонь $1 < B < 3$). Таким чином, вимоги по текстурі поверхні можуть бути встановлені позначенням чотирьох величин A , B , C і D .

Текстура матової поверхні позначається з додаванням букви G (для шліфування «for Ground») над горизонтальною лінією, як видно на рис. 4.50. Максимально припустима середньоквадратична (r.m.s.) шорсткість поверхні $Rq_{\max}$ у мікрометрах вказується над трикутником. Коли зазначене єдине значення Rq , то воно представляє верхню межу параметра шорсткості поверхні. Якщо, крім того, шорсткість не припустима нижче деякої величини, то має бути позначена мінімальна середньоквадратична (r.m.s.) величина шорсткості поверхні $Rq_{\min}$. Ця величина має бути зазначена нижче максимальної величини.

Якщо потрібно, може бути зазначена під горизонтальною лінією нижня межа еталонної довжини, як показано на рис. 4.50. Якщо також має бути

визначена верхня межа, то вона має бути відділена від нижньої межі косою рисою. Еталонні довжини повинні бути виміряні в міліметрах.

Буква «G» використовується для позначення усіх матових поверхонь, включаючи поверхні, що не виготовляються механічним шліфуванням, наприклад травленням.

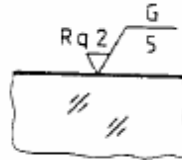


Рис. 4.50. Позначення шліфованої поверхні з $Rq = 2\mu\text{m}$ і мінімальною еталонною довжиною 5 mm

Позначення текстури полірованої поверхні повинне включати букву Р (для полірування «for Polished») над горизонтальною лінією, як показано на рис. 4.51. Застосування однієї букви Р позначає, що кількісного підрахунку мікродефектів не потрібно, однак поверхня має бути полірованою. Кількісний аспект текстури поверхні має бути заданий у термінах середньоквадратичної (r.m.s.) шорсткості Rq , у термінах припустимих мікродефектов, або в термінах PSD.

Буква «Р» використовується для позначення усіх полірованих поверхонь, включаючи поверхні, що не виготовляються поліруванням, наприклад литтям, або поверхні плавленого скла.

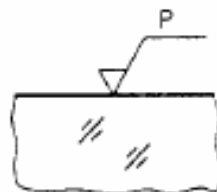


Рис. 4.51. Позначення полірованої поверхні без кількісних визначень

Число припустимих мікродефектів визначається вказівкою номера класу в межах від 1 до 4 праворуч від букви Р, як показано на рис. 4.52. Перелік відповідних допустимих чисел мікродефектів визначається класом у табл. 4.14.

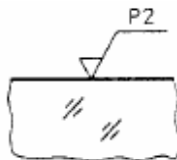


Рис. 4.52. Позначення полірованої поверхні з < 80 мікродефектами на 10 мм лінійного сканування поверхні

Таблиця 4.14

Характеристика текстури дзеркальних поверхонь у термінах мікродефектів

Позначення класу полірування	Число N мікродефектів на 10 мм еталонної довжини
P1	$80 \leq N < 400$
P2	$16 \leq N < 80$
P3	$3 \leq N < 16$
P4	$N < 3$

Середньоквадратична (r.m.s.) шорсткість поверхні R_q вказується введенням максимально припустимої величини середньоквадратичної (r.m.s.) шорсткості, що вимірюється в мікрометрах, над трикутником, як показано на рис. 4.53.

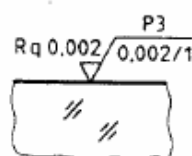


Рис. 4.53. Позначення полірованої поверхні з < 16 мікродефектами на 10 мм сканування і $R_q \leq 0,002 \mu\text{m}$ між еталонними довжинами 0,002 мм і 1 мм

Це позначення може бути доповнене вказівкою класу полірування в термінах мікродефектів. Максимально припустима величина функції PSD вказується введенням букв PSD і величин A і B , поділених косою рисою, над трикутником символу текстури, як показано на рис. 4.54. Мінімальний і максимальний просторові періоди (еталонні довжини) C і D , що виражаються в міліметрах, розміщаються під горизонтальною лінією, поділеною косою рисою, як на рис. 4.54.

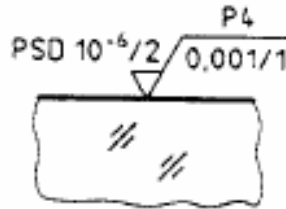


Рис. 4.54. Позначення полірованої поверхні з < 3 мікрodefектами на 10 мм скануванні й $PSD \leq 10^{-6}/f_2$ (μm^3) між еталонними довжинами 0,001 мм і 1 мм

Це позначення може бути доповнене позначенням класу полірування в термінах мікрodefектів. Більшість полірованих поверхонь розсіює світло за статистичним законом. Подібним чином було отримано теоретичний зв'язок між двомірною питомою спектральною щільністю (PSD) шорсткості поверхні або текстури й диференціальним кутовим розсіюванням.

Вістря символу текстури повинно перебувати в контактi з лінією, що представляє поверхню, або з відповідною додатковою лінією (рис. 4.50 і рис. 4.54). Так само, якщо дані представляються в табличній формі, символ текстури має використовуватися на відповідному кресленні.

4.9. Поверхнева обробка й покриття

Ця частина ISO 10110-9 обумовлює правила позначення обробки й покриттів, застосовуваних для функціональних і/або захисних цілей до оптичних поверхонь.

Функціональне покриття це тонка плівка, що осаджується для впливу на коефіцієнт відбиття поверхні, для поділу спектральних областей довжин хвиль, і/або для створення певної поляризації або інших спеціальних цілей. Звичайними типами функціональних покриттів є відбивні, просвітлюючі, спектральні і провідні покриття. Докладна інформація про покриття включена в ISO 9211-1– ISO 9211-4.

Фарбування або захисне покриття, застосовується до оптичних поверхонь, особливо задньої поверхні дзеркал, для запобігання ушкоджень, що

виникають при експлуатації, впливах навколишнього середовища й з інших причин.

Вимоги до характеристик покриття звичайно є комплексними і описуються в окремих технічних документах, які повинні вказуватися на кресленнях. Якщо технічна вимога є простою, то вона може наводитися прямо на кресленні. У цьому випадку повинні бути використані такі символи:

а) τ (грецька буква тау) для коефіцієнта світлопропускання променистого потоку;

б) ρ (грецька буква ро) для коефіцієнта відбиття променистого потоку;

в) α (грецька буква альфа) для коефіцієнта поглинання променистого потоку.

Довжини хвиль приводяться в нанометрах. Якщо еталонна довжина хвилі не зазначена, то має застосовуватися довжина хвилі зеленої лінії «e» ртуті ($\lambda = 546,07 \text{ nm}$).

Функціональні покриття повинні позначатися кружком, що містить грецьку букву лямбда (λ). Цей кружок має бути розташований із зовнішньої сторони елемента й торкатися тієї поверхні, що покривається, або торкатися продовженої лінії (рис. 4.55 і рис. 4.56), якщо необхідно. Виключеннями є елементи, у яких покриття захищається захисним шаром. У цьому випадку символ покриття має бути розміщений із внутрішньої сторони оптичного елемента (рис. 4.60).

Якщо на кресленнях складальних вузлів покриття вказується на поверхні, що поєднує два елементи, то цього не досить для точного визначення, яка з поверхонь, що з'єднуються, призначена для нанесення покриття. Якщо потрібно, ця інформація може наводитися у примітці до креслення або на кресленні окремого елемента з відповідної сторони.

Символ покриття має мати виносну лінію до прямокутника, який включає посилання на технічні умови або технічні вимоги. Приклади наведено на рис. 4.55 – рис. 4.58 і на рис. 4.60.

Призначення покриття повинне переважно вказуватися в прямокутнику. Якщо не записане інше, то технічні вимоги повинні ставитися тільки до поверхні, що вказується. У випадку функціональних покриттів на поверхнях, які склеюються, повинне бути зазначене, чи застосовуються технічні умови перед або після операції склейки (рис. 4.56).

Якщо не зазначене інше, то покриття повинне простиратися, принаймні, на оптично діючу поверхню. Якщо необхідно, повинні зазначатися припустимі розміри області нанесення покриття. У випадках, при яких різні області однієї й тієї ж поверхні повинні мати різні покриття, області повинні бути зазначені шляхом нанесення розмірів (рис. 4.58).

Для лінзового елемента вимоги можуть наводитися в табличній формі. Якщо технічні вимоги на покриття є занадто довгими для включення у відповіднім полі таблиці, то вони повинні наводитися на полі креслення в прямокутнику, як вказувалося вище.

Захисні обробки повинні бути зазначені у вигляді товстої «ланцюгової» лінії (лінія типу J, ISO 128), пов'язаною з поверхнею. Довжина цієї лінії позначає область, що зазнає обробки. Якщо необхідно, повинні бути наведені для цієї області розміри.

Технічні вимоги поверхневої обробки надаються в прямокутнику, який зв'язується з товстою «ланцюговою» лінією виносною лінією. Приклади приводяться на рис. 4.59 і рис. 4.60.

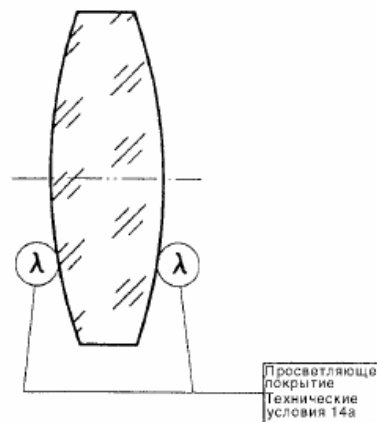


Рис. 4.55. Позначення функціонального покриття, що ставиться до окремої деталі

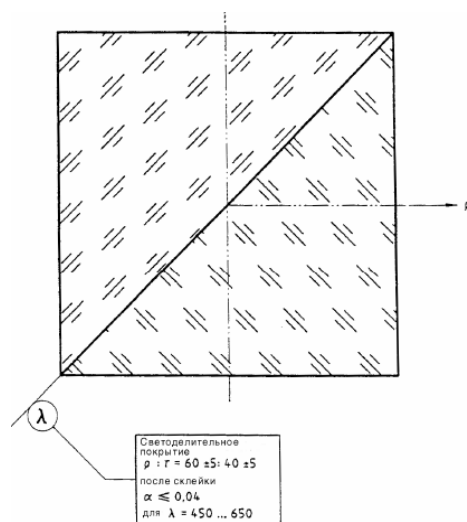


Рис. 4.56. Позначення функціонального покриття із вказівкою оптичних характеристик

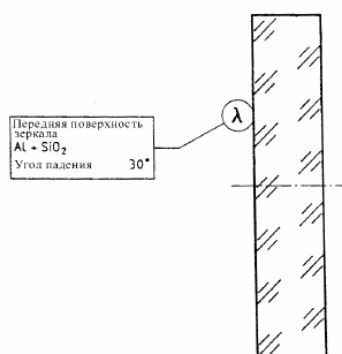


Рис. 4. 57. Позначення функціонального покриття із вказівкою матеріалу

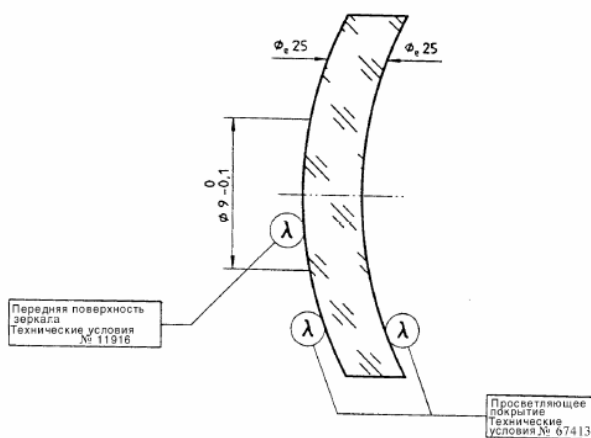


Рис. 4.58. Позначення функціонального покриття, що демонструє два різні покриття на одній і тій же поверхні

Частина ISO 10110-10 обумовлює форму позначення розмірів, припустимих відхилень і дефектів матеріалу лінзового елемента в табличній формі. Креслення повинно бути розділено на три поля.

У полі креслення повинно бути представлено схематичне креслення лінзового елемента, разом з усією інформацією, що не приводиться в полі таблиці. Нема необхідності, щоб креслення було вірним по масштабу. Якщо вказується масштаб креслення, то воно повинно відповідати масштабу технічного креслення.

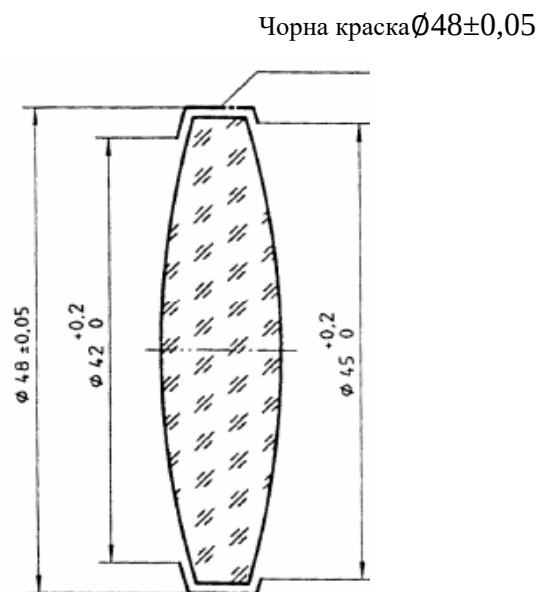


Рис. 4.59. Позначення захисної поверхневої обробки ($\varnothing 48 \pm 0,05$ ставиться до деталі після фарбування)

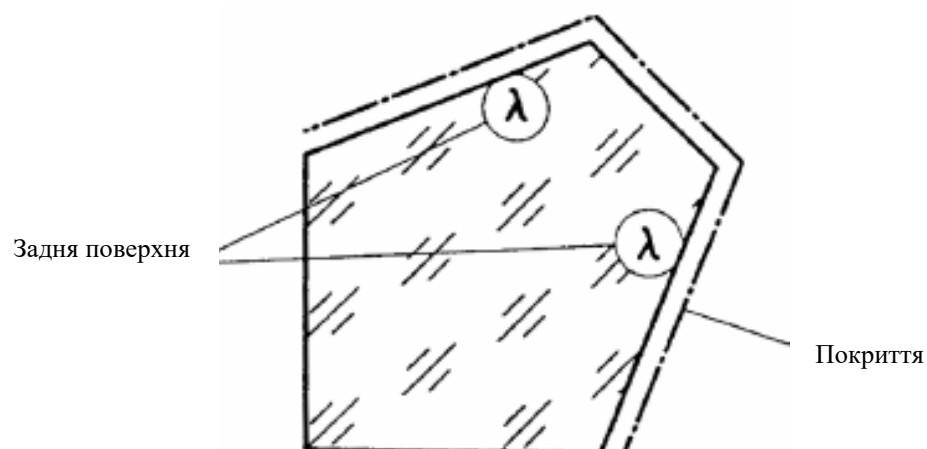


Рис. 4.60. Позначення захисної поверхневої обробки, скомбінованої з функціональним покриттям

Табл. 4.15. докладно описує характеристики, які можуть бути зазначені.

Таблиця 4.15

Характеристики, які можуть бути зазначені

Пункти	Опис
Матеріал	Марка, назва, розпізнавальний номер матеріалу
N	Якщо підходить, показник заломлення й число Аббе (і допуски) відповідно до ISO 7944
ν	
R	Радіус кривизни з допуском, якщо потрібно. Напрямок кривизни повинний бути зазначено в такий спосіб: опукла поверхня: CX увігнута поверхня: CC
$\varnothing e$	Оптично діючий діаметр
Захисна фаска	Мінімально й максимально припустима ширина захисної фаски
	Поверхнева обробка й покриття відповідно до ISO 10110-9
0/	Допуск на двупроменезаломлення, викликане напругою, відповідно до ISO 10110-2
1/	Позначення припустимих пазирів і інших включень відповідно до ISO 10110-3
2/	Класи неоднорідності й звинин відповідно до ISO 10110-4
3/	Допуск на форму поверхні відповідно до ISO 10110-5
4/	Допуск на центрування відповідно до ISO 10110-6
5/	Допуск на дефекти поверхні відповідно до ISO 10110-7
6/	Позначення порога руйнування лазерним опроміненням відповідно до ISO 10110-13

Табличне поле включає розміри, допуски й допустимі дефекти матеріалу лінзового елемента. Воно підрозділяється на три поля:

- а) ліве поле ставиться до лівої поверхні лінзового елемента;
- б) центральне поле ставиться до характеристик матеріалу;
- в) праве поле ставиться до правої поверхні лінзового елемента.

Якщо необхідно, повинні бути додані слова «склеюється». Заголовне поле передбачене для загальних позначень, таких як назва, тип і/або посилальний номер лінзового елемента, номер деталі, масштаб креслення і посилання на ISO 10110. Усі характеристики, які точно не визначені ні в полі креслення, ні в табличному полі, охоплюються ISO 10110-11.

На рис. 4.61 і рис. 4.62 наведені приклади даних лінзового елемента.

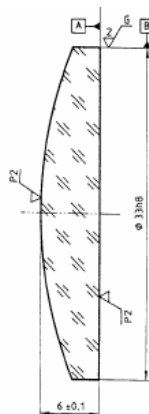


Рис. 4. 61. Приклад вказівки даних лінзового елемента

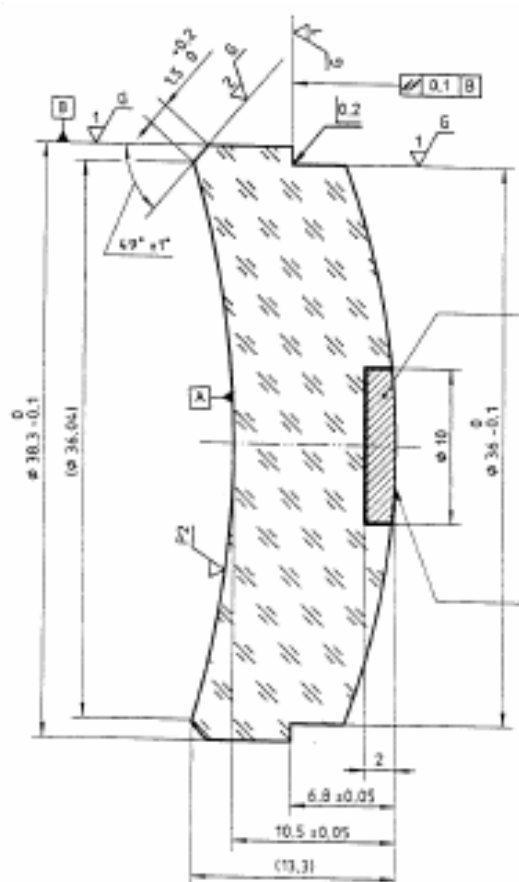


Рис. 4.62. Приклад вказівки даних лінзового елемента

Частина ISO 10110-11 обумовлює припустимі відхилення й дефекти матеріалу, коли вони не зазначені. Остаточні функціональні характеристики оптичного елемента, розміри й допуски, як також і характеристики матеріалу у випадку відсутності точних вказівок повинні бути зазначені на оптичних кресленнях. Допустимі відхилення і допуски на дефекти матеріалу, які застосовуються наведено в табл. 4.16. У випадках, при яких величини, що приводяться в табл. 4.16, є прийнятними, креслення може бути спрощене завдяки пропуску цих вказівок. Ці допуски не позначають абсолютні межі. Можуть бути використані навіть більш широкі допуски, однак вони тоді повинні бути зазначені на кресленні.

Таблиця 4.16

Припустимі відхилення й дефекти матеріалу у випадку відсутності
точних вказівок

Характеристика	Область максимальних розмірів деталі, мм			
	до 10	10 – 30	30 – 100	100 – 300
Довжина сторони (діаметр), мм	±0,2	±0,5	±1,0	±1,5
Товщина, мм	±0,1	±0,2	±0,4	±0,8
Відхилення кутів призм і пластин	±0°30'	±0°30'	±0°30'	±0°30'
Ширина захисної фаски, мм	0,1 – 0,3	0,2 – 0,5	0,3 – 0,8	0,5 – 1,6
Двупроменезаломлення, викликане напругою, відповідно до ISO10110-2 (nm/cm)	0/20	0/20	–	–
Міхури й вклучення відповідно до ISO10110-3	1/3×0,16	1/5×0,25	1/5×0,4	1/5×0,63
Неоднорідності й звили відповідно до ISO10110-4	2/1; 1	2/1; 1	–	–
Допуски на форму поверхні відповідно до ISO10110-5	3/5(1)	3/10(2)	3/10(2) (усі (30))	3/10(2) (усі (60))
Допуски на центрування відповідно до ISO10110-6	4/30'	4/20'	4/10'	4/10'

Якщо креслення оптичної деталі не включає вказівок про дані, що згадуються в різних частинах ISO 10110, то слід застосовувати величини вказані в табл. 4.16.

4.10. Асферичні поверхні

Частина ISO 10110-12 обумовлює правила подавання, позначення розмірів й призначення допусків на оптично діючі поверхні асферичної форми. Асферичні поверхні описуються в правобічній ортогональній системі координат, у якій вісь Z є оптичною віссю. Якщо не вказується інше, то вісь Z перебуває в площині креслення й проходить зліва направо. Якщо креслиться тільки один перетин, то вісь Y перебуває в площині креслення й орієнтована вгору. Якщо кресляться два поперечні перерізи, то поперечний переріз XZ має перебувати нижче поперечного переріза YZ (рис. 4.63). Для ясності можуть показуватися на кресленні осі X і Y . Початок системи координат перебуває у вершині асферичної поверхні (рис. 4.63).

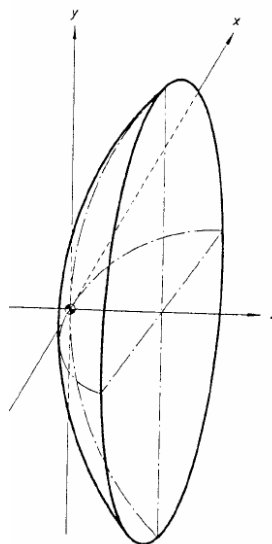


Рис. 4.63. Система координат асферичної поверхні

У системі координат, наведеній вище, рівняння поверхонь другого порядку, які попадають у сферу дії цієї частини ISO 10110, має вигляд

$$zf(x, y) = f \frac{\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2}}{1 + \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2}}},$$

де $\frac{a^2}{c} = R_x$ – радіус кривизни в площині xz для $z = 0$; $c = R_y$ – радіус кривизни в площині yz для $z = 0$; $k_x = \frac{k}{c^2} - 1$ і $k_y = \frac{b^2}{c^2} - 1$ – конічні сталі.

Рівняння поверхонь другого порядку можна записати у вигляді:

$$zf(x, y) = \frac{\frac{x^2}{R_x} + \frac{y^2}{R_y}}{1 + \sqrt{1 - (1 + k_x) \left(\frac{x}{R_x}\right)^2 - (1 + k_y) \left(\frac{y}{R_y}\right)^2}}.$$

Якщо поверхня, що відповідає рівнянню, перетинається із площиною $x = 0$ (або $y = 0$), то тоді, залежно від величини k_y (або k_x), створюються лінії перетинання таких типів:

- а) $k > 0$ сплющений еліпс;
- б) $k = 0$ коло;
- в) $-1 < k < 0$ витягнутий еліпс;
- г) $k = -1$ парабола;
- д) $k < -1$ гіпербола.

Можуть бути такі спеціальні випадки рівняння:

а) рівняння описує поверхню, яка має симетрію обертання навколо осі z тоді $R = R_x = R_y$, $k = k_x = k_y$ і $h^2 = x^2 + y^2$ дають

$$zf(h) = \frac{h^2}{R + \sqrt{R^2 - (1 + k)h^2}};$$

б) рівняння описує циліндр (не обов'язково круглого поперечного переріза), вісь якого для $u = x$ перпендикулярна площини xz , і вісь якого для $u = y$ перпендикулярна площини yz

$$zf(u) = \frac{u^2}{R_u + \sqrt{R_u^2 - (1 + k)u^2}};$$

в) рівняння описує конус зі своєю вершиною на початку системи координат з еліптичним поперечним перерізом (якщо $a \neq b$) або із круглим

поперечним перерізом (якщо $a = b$)

$$z = f(x, y) = c \sqrt{\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2}}.$$

Асферичні лінза або дзеркало представляються таким же самим чином як і сферичний компонент (див. ISO 10110-1), позначення радіуса на кресленні в цьому випадку замінюється словом «асферика», якщо $f(x, y) \neq 0$ або типом асферики (наприклад, «тороїд», «параболоїд» і т. ін.). Рівняння, що описує асферичну поверхню, повинно бути наведене в примітці, за винятком циліндричних поверхонь із круглим поперечним перерізом. Для ясності форма асферичного профілю може бути наведена на кресленні в перебільшеному виді.

Допуски на форму поверхні повинні бути зазначено одним з таких способів:

а) відповідно до ISO 1101;

б) відповідно до ISO 10110-5;

в) таблицею, що характеризує припустимі відхилення z , тобто різниці між номінальними величинами z , відповідними до рівняння й дійсними величинами обробленої деталі.

У кожному з цих трьох випадків може бути додатково застережене допустиме відхилення нахилу (тобто місцеве відхилення нормалі до поверхні від номінальної величини). Якщо оговорено допуск на нахил, то має бути наведена на кресленні так само еталонна довжина нахилу. Еталонна довжина нахилу є поперечним проміжком на поверхні, на котрому вимірюється нахил. Помітимо, що відхилення нахилу ставиться до різниці нахилів між дійсною поверхнею й номінальною асферичною поверхнею, що обчислюється відповідно до означеного рівняння. Для поверхонь, що не володіють симетрією обертання, допуск на нахил може бути різним у різних перетинах.

Допуски на центрування повинні позначатися відповідно до або ISO 1101 або ISO 10110-6.

Допуски на дефекти поверхні й характеристики текстури поверхні повинні позначатися відповідно до ISO 10110-7 і ISO 10110-8.

На рис. 4.64 базова вісь проходить через центр кривизни сферичної поверхні й центральну крапку відповідної асферичної поверхні (відповідно до ISO 10110-6).

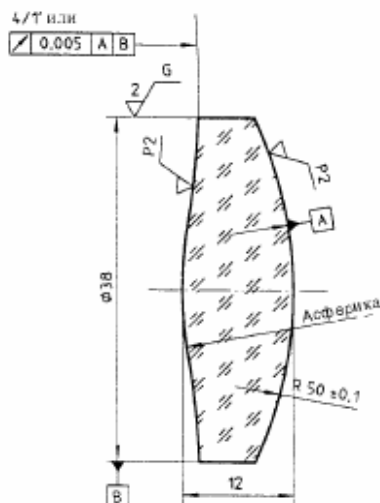


Рис. 4.64. Лінза з асферичною поверхнею, що має симетрію обертання

На рис. 4.65 показаний позаосьовий параболоїд із прямокутним поперечним перерізом.

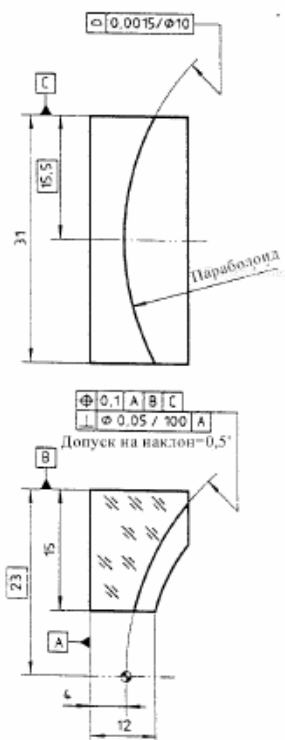
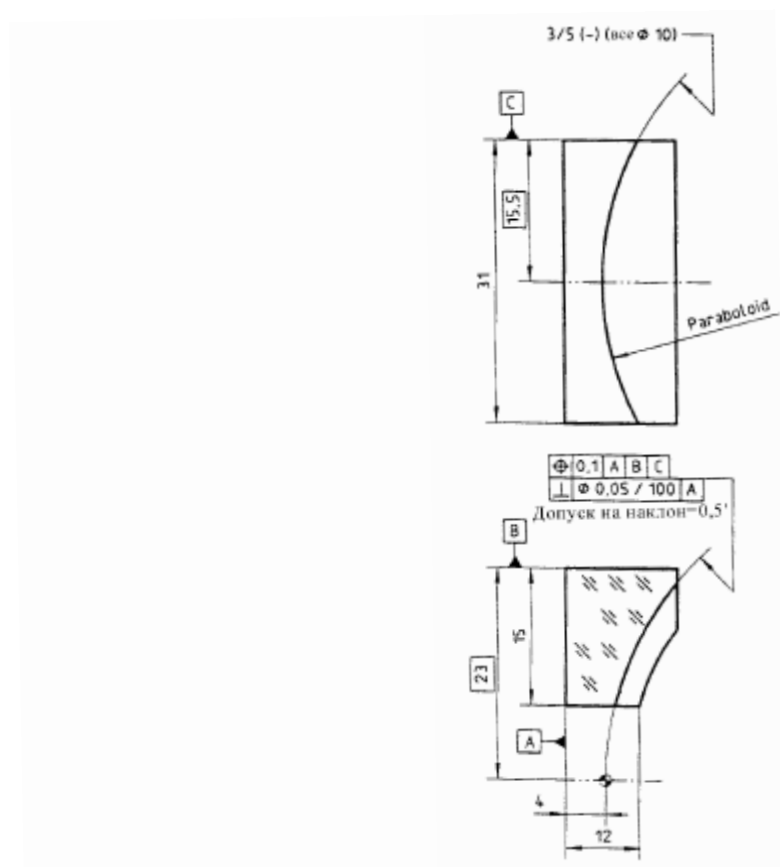


Рис. 4.65. Позначення допуску на форму поверхні у відповідності до ISO 1101

Різні допуски для кутів нахилу поверхні дані у двох перетинах. Також допуски (місцеві) на кут нахилу є різними у двох перетинах.



190

Контрольні запитання

1. Які правила позначення осей, виносних ліній, розмірних ліній на кресленнях оптичних деталей?
2. Які правила позначення радіусів кривизни, товщин та діаметрів оптичних деталей?
3. Які правила позначень гострих крайок, захисних фасок, скосів і пазів на кресленнях оптичних деталей?
4. Як проставляються розміри призм?
5. Як проставляються характеристики матеріалу?
6. Які позначення повинні включати креслення оптичного вузла?
7. Які пункти повинно мати креслення оптичної схеми?
8. Які характеристики матеріалу записуються в рамці на кресленні?
9. Які правила позначення допусків на подвійне променезаломлення, пузирі та інші включення?
10. Які правила простановки допусків на форму поверхні?
11. Який кодний номер допуску на форму поверхні?
12. Які правила простановки допусків на децентрування?
13. Чим різняться Метод I від Методу II при визначенні дефектів оптичної поверхні?
14. Що повинно містити табличне поле матеріалу лінзового елемента?
15. Які правила простановки допусків на подряпини, проколи, сліди затискача, зовнішні дефекти обробки?
16. Як позначається текстура поверхні?
17. Як позначається характеристика текстури дзеркальних поверхонь у термінах мікродефектів?
18. Які символи використовуються для коефіцієнта світлопропускання променистого потоку, коефіцієнта відбиття променистого потоку, коефіцієнта поглинання променистого потоку?

19. Які правила позначення обробки й покриттів, що застосовуються для функціональних і/або захисних цілей до оптичних поверхонь?

20. Які правила позначення розмірів й призначення допусків на оптично діючі поверхні асферичної форми?

21. Які параметри асферичної поверхні можна проставляти на кресленні в табличній формі?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Справочник конструктора оптико-механических приборов / [Панов В. А., Кругер М. Я., Кулагин В. В., Погарев Г. В. и др.]; под ред. В. А. Панова. – [3-е изд.]. – Л. : Машиностроение, 1980. – 742 с.
2. Справочник технолога-оптика / [Окатов М. А., Антонов Е. А., Бакаев М. И. и др.]; под ред. М. А. Окатова. – [2-е изд.]. – СПб. : Политехника, 2004. – 679 с.
3. Кучеренко О. К. Розрахунок і конструювання оптичних приладів. Частина 1. Принципи конструювання і точність оптичних приладів: підручник / О. К. Кучеренко; уклад. О. Кучеренко; за наук. ред. проф. В. Г. Колобродова .– Київ :КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 25,3 Мб), 2018. – 157 с.
4. Ключникова Л. В. Проектирование оптико-механических приборов / Л. Ключникова, В. Ключников. – СПб.: Политехника, 1995. – 206 с.
5. Турыгин И. А. Прикладная оптика / И. А. Турыгин.– М.: Машиностроение, 1966. – 431 с.
6. Кулагин В. В. Основы конструирования оптических приборов / В. В. Кулагин. – Л. : Машиностроение, 1982. – 312 с.
7. Явленский К. Н. Справочник конструктора точного приборостроения / К. Н. Явленский. – Л.: Машиностроение, 1989. – 792 с.
8. Латыев С. М. Компенсация погрешностей в оптических приборах / С. М. Латыев. – Л. : Машиностроение, 1985. – 248 с.
9. Латыев С. М. Конструирование точных (оптических) приборов / С. М. Латыев. – СПб.: Политехника, 2007. – 579 с.
10. Парвулюсов Ю.Д. Проектирование оптико-электронных приборов / Ю. Д. Парвулюсов, Ю. Г. Якушенков, Н.И. Солдатов / – М. : Машиностроение, 1992. – 421 с.
11. Погарев Г. В. Юстировка оптических приборов / Г. В. Погарев. – Л. : Машиностроение, 1982. – 237 с.

12. Плотников В. С. Расчет и конструирование оптико-механических приборов / В. С. Плотников, Д. И. Варфоломеев, В. Е. Пустовалов / – М. : Машиностроение, 1983. – 256 с.

13. Брусков А.М. Конструирование зеркально-призмных оптико-механических узлов / А. Брусков, В. Брусков. – М.: Машиностроение, 1987. – 139 с.

14. Міжнародний стандарт ISO 10110-1: 2019 Optics and photonics - Preparation of drawings for optical elements and systems - Part 1: General / – Технічний комітет ISO / TC 172 / SC 1, 2019. – 198 с.
