

**Міністерство освіти і науки України
Луцький національний технічний університет
Факультет робототехніки та штучного інтелекту
Кафедра автоматизації та безпілотних систем**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»**

ОКУЛЯРНИЙ ДІОПТРИМЕТР ДО-3

OCULAR DIOPTRER METER DO-3

спеціальність 153 Мікро- та наносистемна техніка
(шифр і назва спеціальності)

освітня програма «Мікро- та наносистемна техніка»
(назва освітньої програми)

Виконала: здобувач вищої освіти
групи МНТ-41
**КЕРЕБ Володимир
Володимирович**

(підпис)

Керівник:
К.т.н., доцент
ЛАПЧЕНКО Юрій Сергійович

(підпис)

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту
«__» _____ 2026 р.
К.т.н., доцент
Гарант освітньої програми:
ПТАШЕНЧУК Віталій Віталійович

(підпис)

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: комп'ютерних та інформаційних технологій

Кафедра: автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Ступінь вищої освіти: бакалавр

Галузь знань: 15 Авт омат изація т а приладобудування

Спеціальність: 153 Мікро- та наносистемна техніка

Освітня програма: «Мікро- та наносистемна техніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АКІТ

д.т.н., професор Повстяной О. Ю.

«__» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Керебу Володимиру Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи Окулярний діоптриметр ДО-3

Керівник роботи: *к.т.н., доцент Лапченко Юрій Сергійович*

затверджені наказом закладу вищої освіти від «31» грудня 2025 р. № 307/01-04

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи «25» травня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: 1. Діапазон вимірювання задньої вершинної рефракції очкових лінз, дптр – від +25 до -30. 2. Ціна поділок діоптрійної шкали, дптр – 0,25. 3. Ціна поділок ноніуса діоптрійної шкали, дптр – 0,05. 4. Діапазон вимірювання призматичної дії, срад – від 0 до 6. 5. Ціна поділок шкали призматичної дії, срад – 0,1. 6. Метрологічні характеристики діоптриметра ДО-3. При вимірюванні задньої вершинної рефракції очкових лінз від 0 до 6 дптр похибка не перевищує $\pm 0,06$ дптр; понад 6 до 12 дптр – не більш $\pm 0,12$ дптр; понад 12 до 15 дптр – не більше $0,18$ дптр, а понад 15 – $\pm 0,25$ дптр.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що потрібно розробити):

Анотація. Вступ. 1. Загально-технічна частина. 2. Розрахунково-конструкторська частина.

3. Спеціальна частина. Висновки. Список використаних джерел.

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

1. Загальний вигляд діоптриметра ДО-3 (1 лист формату А1). 2. Оптична схема діоптриметра ДО-3 (1 лист формату А1). 3. Складальне креслення діоптриметра ДО-3 (1 лист формату А1). 4. Схеми проведення вимірювань діоптриметром ДО-3 (1 лист формату А1). 5. Робочі креслення деталей діоптриметра ДО-3 (4 листи формату А3).

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Розділ 1 Загально-технічна частина</i>	<i>Лапченко Ю.С.</i>		
<i>Розділ 2 Розрахунково-конструкторська частина</i>	<i>Лапченко Ю.С.</i>		
<i>Розділ 3 Спеціальна частина</i>	<i>Лапченко Ю.С.</i>		
<i>Висновки</i>	<i>Лапченко Ю.С.</i>		
<i>Нормоконтроль</i>	<i>Лапченко Ю. С.</i>		
<i>Гарант ОП</i>	<i>Пташенчук В. В.</i>		
<i>Показник запозичень тексту</i>			
<i>Академічна доброчесність</i>	<i>Лапченко Ю. С.</i>		

7. Дата видачі завдання «05» січня 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Обґрунтування теми</i>	До 20.01.2026 р.	
2.	<i>Огляд літератури із досліджуваної проблеми</i>	До 25.01.2026 р.	
3.	<i>Розділ 1 Загально-технічна частина</i>	До 01.02.2026 р.	
4.	<i>Розділ 2 Розрахунково-конструкторська частина</i>	До 15.02.2026 р.	
5.	<i>Розділ 3 Спеціальна частина</i>	До 25.02.2026 р.	
6.	<i>Висновки</i>	До 10.03.2026 р.	
7.	<i>Формування списку використаних джерел</i>	До 20.03.2026 р.	
8.	<i>Креслення загального вигляду діоптриметра ДО-3</i>	До 01.04.2026 р.	
9.	<i>Креслення оптичної схеми діоптриметра ДО-3</i>	До 10.04.2026 р.	
10.	<i>Складальне креслення діоптриметра ДО-3</i>	До 20.04.2026 р.	
11.	<i>Робочі креслення деталей діоптриметра ДО-3</i>	До 01.05.2026 р.	
12.	<i>Схеми проведення вимірювань діоптриметром ДО-3</i>	До 05.05.2026 р.	
13.	<i>Формування додатків (специфікації)</i>	До 10.05.2026 р.	
14.	<i>Нормоконтроль</i>	До 15.05.2026 р.	
15.	<i>Інструментальна перевірка на академічний плагіат</i>	До 20.05.2026 р.	
16.	<i>Представлення кваліфікаційної роботи бакалавра до захисту</i>	До 25.05.2026 р.	

Здобувач вищої освіти

_____ (Кереб В.В.)
 (підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

_____ (Лапченко Ю.С.)
 (підпис) (прізвище, ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кереб В. В. Окулярний діоптриметр ДО-3. Рукопис.

Кваліфікаційна робота бакалавра ОП «Мікро- та наносистемна техніка» спеціальності 153 Мікро- та наносистемна техніка. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2026.

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків.

У загальнотехнічній частині описано технічну характеристику та службове призначення окулярного діоптриметра ДО-3. Проведено аналіз існуючих аналогів, описано принцип роботи та фізичні перетворення, які покладено в основу роботи окулярного діоптриметра ДО-3.

В розрахунково-конструкторській частині описано оптичну схему окулярного діоптриметра ДО-3, його будову та принцип роботи, призначення окремих елементів та їх взаємодію. Описано методику вимірювання очкових лінз різних типів за допомогою діоптриметра ДО-3. Проведено розрахунок візирного каналу діоптриметра ДО-3.

У спеціальній частині проведено аналіз похибки вимірювання рефракції очкових лінз за допомогою окулярного діоптриметра.

Ключові слова: діоптриметр, рефракція, окулярна лінза, фокусна відстань, лінза, окуляр, об'єктив, конденсор.

					ВР 485.00.00.000 ПЗ			
Вим.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата				
Розробив	Кереб				Окулярний діоптриметр ДО-3	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевірів	Лапченко						4	66
Н. Контр.	Лапченко					ЛНТУ, кафедра АКІТ, гр. МНТ – 41		
Затвердив	Гуменюк							

ABSTRACT

Kereb V. Ocular diopter meter DO-3. Manuscript.

Bachelor's qualification work OP "Micro- and nanosystem technology" specialty 153 Micro- and nanosystem technology. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2026.

The bachelor's qualification work consists of an introduction, three sections, conclusions, a list of sources used, and appendices.

The general technical part describes the technical characteristics and service purpose of the DO-3 ocular diopter meter. An analysis of existing analogues is carried out, the principle of operation and physical transformations that are the basis for the operation of the DO-3 ocular diopter meter are described.

The calculation and design part describes the optical scheme of the DO-3 ocular diopter meter, its structure and principle of operation, the purpose of individual elements and their interaction. The method of measuring eyeglass lenses of different types using the DO-3 diopter meter is described. The sighting channel of the DO-3 diopter meter is calculated.

In the special part, an analysis of the error in measuring the refraction of spectacle lenses using an ocular diopter meter is carried out.

Keywords: diopter meter, refraction, ocular lens, focal length, lens, ocular, objective, condenser.

					ВР 485.00.00.000 ПЗ	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА.....	9
1.1 Технічна характеристика та службове призначення діоптриметра ДО-3.....	9
1.2 Аналіз існуючих аналогів діоптриметра ДО-3.....	11
1.3 Функціональні особливості та фізичні перетворення, які покладено в основу діоптриметра ДО-3.....	17
РОЗДІЛ 2 РОЗРАХУНКОВО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА.....	27
2.1 Будова діоптриметра ДО-3.....	27
2.2 Методика вимірювання очкових лінз різних типів за допомогою діоптриметра ДО-3.....	31
2.3 Розрахунок візирного каналу діоптриметра ДО-3.....	39
2.4 Порядок перевірки діоптриметра ДО-3.....	49
РОЗДІЛ 3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....	52
3.1 Аналіз похибки вимірювання рефракції очкових лінз за допомогою окулярного діоптриметра.....	52
ВИСНОВКИ.....	63
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	64
ДОДАТКИ.....	66

					ВР 485.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

ВСТУП

Приходить час, коли людина в силу віку або якихось негативних процесів в організмі, що викликали погіршення зору, просто змушений носити окуляри, щоб елементарно бачити. Окуляри необхідні і для того, щоб бачити добре. Наприклад, літня людина починає погано розрізняти дрібний шрифт.

Носіння окулярів зір не покращує. Але буває, без них – ніяк. І ось коли без окулярів ніяк не обійтися, носити окуляри, безсумнівно, варто. Виходить так, що окуляри, навіть найкращі, підтримують аномалію зору. Адже замість м'язів ока їх роботу виконують окуляри.

Звичайно, люди носять окуляри з двох дуже різних причин: через короткозорість і із-за далекозорості. Далекозорість часто пов'язана з віковими змінами. Багато людей в 40-50 років починають помічати, що їм важко читати при слабкому освітленні. З віком кришталик ока стає менш еластичним, а це ускладнює перефокусування при зміні відстані до об'єкта. Коли доходить до того, що книгу або меню хочеться відсунути від очей далі, ніж дозволяють руки, ми заводимо окуляри для читання.

Дивно, але довгостроковий ефект носіння окулярів слабо вивчений. Наявні дані не підтверджують, що носіння окулярів для читання впливає на зір. Звідки ж взялося стільки людей, переконаних, що окуляри шкідливі?

Нам здається, що з часом ми все більше залежимо від окулярів, тому що з віком кришталик продовжує деградувати. Окуляри доводиться використовувати все частіше, а з цього легко зробити висновок, що саме з-за них зір стало гірше, хоча насправді тут немає причинно-наслідкового зв'язку.

У довгостроковій перспективі неважливо, що ви носите окуляри або ні (правда, якщо вам доводиться напружувати очі під час читання, це може викликати головний біль і дискомфорт в очах).

Актуальність теми. Багато людей, купуючи окуляри, велику увагу приділяють вибору оправы, вважаючи, що вона є найбільш важливою

					ВР 485.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

частиною. Оптичні властивості окулярів залежать виключно від якості лінз, тому вибирати їх слід ретельно з розумом. Для того, щоб правильно вибрати лінзи для окулярів, необхідно знати основні їхні параметри: оптичні показники, коефіцієнт заломлення, матеріал, властивості покриття.

До основних оптичних показників відносять відстань між центрами зіниць очей і діоптрії. Ці характеристики визначаються під час офтальмологічного огляду. При виборі лінз їх слід дотримуватися, щоб не погіршити і без того поганий зір. Для впевненості у тому, що обрані лінзи будуть точно відповідати цими показниками, купувати їх краще в спеціалізованому салоні оптики.

Об'єкт дослідження. Об'єктом дослідження кваліфікаційної роботи виступає окулярний діоптриметр ДО-3.

Предмет дослідження. Предметом дослідження є визначення параметрів аберації та астигматизму окулярних лінз.

Мета та задачі дослідження. Метою даної кваліфікаційної роботи є розроблення методики повірки та аналіз похибки вимірювання рефракції очкових лінз за допомогою окулярного діоптриметра окулярного діоптриметра ДО-3. Для досягнення мети необхідно виконати наступні завдання:

- описати призначення та технічні характеристики окулярного діоптриметра ДО-3;
- провести огляд аналогів окулярного діоптриметра ДО-3;
- описати фізичні перетворення, які відбуваються при роботі з окулярним діоптриметром ДО-3;
- описати роботу окулярного діоптриметра на основі оптичної схеми;
- провести розрахунок візирного каналу діоптриметра ДО-3;
- розробити методику повірки вимірювача діоптриметра ДО-3;
- виконати аналіз похибки вимірювання рефракції очкових лінз за допомогою окулярного діоптриметра.

					ВР 485.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Технічна характеристика та службове призначення діоптриметра ДО-3

Діоптриметр ДО-3 (рис. 1.1) призначений для вимірювання задньої вершинної рефракції, призматичної дії очкових лінз, а також для визначення головних перетинів астигматичних і призматичних лінз і відмітки оптичного або номінального центру лінз [1]. Принцип дії діоптриметра заснований на компенсації рефракції вимірюваної лінзи в оптичній системі шляхом переміщення уздовж осі марки коліматора і отримання її різкого зображення в поле зору окуляра. Технічні характеристики наведені в таблиці 1.1.



Рисунок 1.1 – Діоптриметр ДО-3 [1]

					ВР 485.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики діоптриметра «ДО-3»

Діапазон вимірювання задньої вершинної рефракції очкових лінз, дптр	від +25 до -30
Ціна поділок діоптрійної шкали, дптр	0,25
Ціна поділок ноніуса діоптрійної шкали, дптр	0,05
Діапазон вимірювання призматичної дії, срад	від 0 до 6
Ціна поділок шкали призматичної дії, срад	0,1
Діапазон показів кутової шкали, градуси	від 0 до 180
Ціна поділок кутової шкали, градуси	1
Діапазон вимірювання відстані від оптичного центру очкової лінзи до її краю або до краю очкової оправы, мм	від 17 до 37,5
Напруга живлення, В	220
Споживана потужність, Вт	не більше 32
Габарити, мм	325x255x150
Маса, кг	не більше 5

Метрологічні характеристики діоптриметра ДО-3. При вимірюванні задньої вершинної рефракції очкових лінз від 0 до 6 дптр похибка не перевищує $\pm 0,06$ дптр; понад 6 до 12 дптр – не більш $\pm 0,12$ дптр; понад 12 до 15 дптр – не більше 0,18 дптр, а понад 15 – $\pm 0,25$ дптр.

Оцінка середньоквадратичного відхилення результату вимірювання не перевищує 1/3 значення похибки.

При вимірюванні призматичної дії очкових лінз до 3 срад похибка не перевищує $\pm 0,1$ срад, а понад 3 срад – не більш $\pm 0,15$ срад.

При нанесенні пристосуванням відмітки оптичного центру очкових лінз з рефракцією до 0,5 дптр похибка не перевищує $\pm 0,2$ мм, для лінз з рефракцією від 0,5 до 1 дптр – не більш ± 1 мм, а понад 1 дптр – $\pm 0,5$ мм.

При нанесенні пристосуванням відмітки положення головного

					ВР 485.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

перетину астигматичних і напряду головного перетину призматичних лінз до 0,5 дптр (срад) похибка не перевищує $\pm 3'$; від 0,5 до 3 дптр (срад) – не більш $\pm 2'$; а понад 3 дптр (срад) – $\pm 1'$ (похибка показів кутової шкали $\pm 10'$).

При вимірюванні відстані від оптичного центру лінзи до її краю похибка не перевищує $\pm 0,5$ мм.

1.2 Аналіз існуючих аналогів діоптриметра ДО-3

Діоптриметр Shin-Nippon LM-15 (рис. 1.2) призначений для вимірювання задньої вершинної рефракції та призматичної дії лінз, для нанесення положення головних перетинів у астигматичних лінз і напрямки лінії «вершина – основа» у призматичних лінз [2].



Рисунок 1.2 – Діоптриметр Shin-Nippon LM-15 [2]

Особливості діоптриметр Shin-Nippon LM-15 та його характеристики (табл. 1.2).

1. Ергономічний дизайн приладу забезпечує максимальну зручність використання.

					ВР 485.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

2. Для вибору найбільш зручної позиції кут нахилу діоптриметр можна змінювати від 45 до 90 градусів.

3. Для комфортного вимірювання контактних лінз можлива установка приладу у вертикальне положення.

4. Як освітлювач замість звичайних ламп, що вимагають періодичної заміни, використовується світлодіод.

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики діоптриметр Shin-Nippon LM-15

Вимірювання сфери/циліндра	Діапазон	від -25 дптр до +25 дптр
	Крок	0,125 дптр в діапазоні ± 3 дптр
		0,25 дптр в діапазоні більше ± 3 дптр
Вимірювання призми	Діапазон	5 дптр
	Крок	1 дптр
	Діапазон с призмo-компенсатором	до 20 дптр
Нахил осі циліндра	Діапазон	$0^{\circ} - 180^{\circ}$
	Крок	1°
Мітка фокусування	Хрестоподібна	
Розмір вимірюваної лінзи	Діапазон	24 – 90 мм
Кут нахилу до основи	$45^{\circ} - 90^{\circ}$	
Джерело світла	LED (світлодіод)	
Електроживлення	2 батарейки AA (або додатковий блок живлення)	
Габарити	355x340x170 мм	
Вага	3,6 кг	

Діоптриметр Shin-Nippon LM-25 (рис. 1.3) призначений для вимірювання задньої вершинної рефракції та призматичної дії стигматичних і астигматичних лінз, для нанесення положення оптичного центру у стигматичних лінз, напрямки головних перетинів у астигматичних лінз [3].



Рисунок 1.3 – Діоптриметр Shin-Nippon LM-25 [3]

Особливості діоптриметра Shin-Nippon LM-25 та технічні характеристики (табл. 1.3):

1. Необмежений кут нахилу дозволяє проводити вимірювання в комфортному для оператора положенні.
2. Для комфортного вимірювання контактних лінз є можливість установки приладу у вертикальне положення.
3. Діоптриметри дозволяє вимірювати лінзи діаметром до 90 мм.
4. Застосовується хрестоподібна мітка фокусування.
5. Є можливість установки призматичного компенсатора.
6. Наявність в комплекті тримачів контактних та біфокальних лінз.

					ВР 485.00.00.000 ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7. Наявність в комплекті призматичного компенсатора (діапазон 15 дптр, крок дптр, вісь $0^{\circ} - 180^{\circ}$, крок 5°).

Таблиця 1.3 – Технічні характеристики діоптриметра Shin-Nippon LM-25

Вимірювання сфери/циліндра	Діапазон	від -25 дптр до +25дптр
	Крок	0,125 дптр в діапазоні ± 3 дптр
		0,25 дптр в діапазоні більше ± 3 дптр
Вимірювання призми	Діапазон	5 дптр
	Крок	0,5 дптр в діапазоні до 2 дптр
		1 дптр в діапазоні більше 2 дптр
Нахил осі циліндра	Діапазон	$0^{\circ} - 180^{\circ}$
	Крок	1°
Мітка фокусування	Хрестоподібна	
Розмір вимірюваної лінзи	Діапазон	24 – 90 мм
	Крок	2 мм
Тримач лінзи	Крок	16 мм
Кут нахилу до основи	$30^{\circ} - 90^{\circ}$	
Корекція окуляра	+7 дптр – -10 дптр	
Лампа	15Вт, 220В	
Габарити	475x130x330 мм	
Вага	4,9 кг	

Діоптриметр Торсон LM-8 (рис. 1.4) дозволяє з високою точністю вимірювати оптичну силу лінз (в тому числі і контактних), за рахунок використання оптики з високою роздільною здатністю [4].

На вибір користувача пропонується три типи міток наведення:

1. Оригінальна мішень Торсон. Це комбінація мішеней у вигляді корони і перехрестя забезпечує найбільш різке зображення. Центральні точки, об'єднані в квадратну область, дозволяють з високою точністю проводити виявлення лінії циліндричної осі.



Рис. 1.4. Діоптриметр Торсон LM-8 [4]

2. Традиційна мішень. Користувачі, які звикли до використання традиційної для діоптриметрів мішені АТ, можуть продовжувати нею користуватися.

3. Мішень у вигляді корони. Проста, але від того не менш поширена мішень у вигляді корони, також забезпечує відмінні результати.

Новий тип картриджа і маркерів забезпечує довговічність обох, що в свою чергу гарантує чіткі мітки на лінзах протягом тривалого періоду експлуатації пристрою. Однак, якщо картридж закінчився, то зробити його заміну зможе будь-який співробітник оптики. Опціонально доступна система традиційного маркування. Розроблений компанією Торсон новий тип окуляра мінімізує ефект затінення, має місце в діоптриметрах інших виробників. Оптика, використовувана в LM-8, забезпечує чіткість внутрішньої шкали,

					ВР 485.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

дозволяючи проводити вимірювання навіть в темній кімнаті. Використовуване в якості підсвічування LED-джерело, чий ресурс становить десятки років, позбавляє користувачів від необхідності періодичної заміни ламп. Крім того, подібна конструкція, що живиться від двох батарей, забезпечує мобільність пристрою, оскільки воно не обмежене довжиною проводів. Останнім часом особливої актуальності набули вимірювання не тільки звичних очкових лінз, а й контактних. Конструкція LM-8 дозволяє проводити вимірювання як гнучких, так і жорстких лінз. Призменний компенсатор, доступний опціонально, дозволяє виконувати вимірювання призматичних лінз з оптичною силою від 5 призматичних діоптрій до 14 призматичних діоптрій з кроком в 1 діоптрію.

Технічні характеристики діоптриметра наведені в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Технічні характеристики діоптриметра Topcon LM-8

Мішень	Оригінальна мішень Topcon
Вимірювальна шкала	Вбудована
Діапазон вимірювання сфери	0 до ± 25 діоптрій
Градування	0,125 дптр до ± 5 дптр / 0,25 дптр більше ± 5
Діапазон вимірювання призми	0 до 6 призматичних 1 срад
Регулювання окулярів	+3 до -5 діоптрій
Діаметр вимірюваної лінзи	24 мм до 90 мм
Кут повороту приладу	0 до 90 градусів, регулюється
Освітлювач	LED 570 нм
Розміри	160 (ширина) x 420 (глибина) x 310 (висота) мм
Вага	4,0 кг
Джерело живлення	2 батареї типу D (1,5V), автоматичне виключення через 5 хвилин простою

1.3 Функціональні особливості та фізичні перетворення, які покладено в основу діоптриметра ДО-3

Очкова лінза – лінза, призначена для корекції зору. Для визначення оптичної сили очкової оптики застосовується термін «рефракція» [5].

Рефракція – величина, зворотна фокусній відстані очкової лінзи, виміряна в метрах, розраховується за формулою (1.1):

$$F' = \frac{1}{f'}. \quad (1.1)$$

Одиницею рефракції є діоптрія (скорочено дптр). У деяких країнах для позначення рефракції використовують символ d .

Для характеристики лінзи використовуються також дві вершинні рефракції.

Передня вершинна рефракція – це величина, зворотна передньому фокальному відрізку очкової лінзи, виміряному в метрах, розраховується за формулою (1.2):

$$F_V = \frac{1}{S_F}. \quad (1.2)$$

Задня вершинна рефракція – це величина, зворотна задньому фокальному відрізку очкової лінзи, виміряна в метрах, розраховується за формулою (1.3):

$$F'_V = \frac{1}{S'_F}. \quad (1.3)$$

У рецептах на коригуючі окуляри з трьох вище перерахованих

					ВР 485.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

рефракцій вказується саме величина F'_V . Саме задня вершинна рефракція вимірюється на діоптриметрах, саме для цього параметра відповідно до технічних вимог призначаються відхилення, що допускаються.

У очковій оптиці для визначення положення предмету або зображення щодо очкової лінзи в діоптрійній мірі користуються поняттям збіжності. При цьому величина, зворотна відстані в метрах від передньої головної точки очкової лінзи до осьової точки предмету, називається передньою збіжністю очкової лінзи. А величина, зворотна відстані в метрах від задньої головної точки очкової лінзи до осьової точки зображення предмету, називається задньою збіжністю очкової лінзи.

Перетини лінзи, що містять оптичну вісь і в яких задня вершинна рефракція приймає максимальне і мінімальне значення, називаються головними меридіональними перетинами астигматичної лінзи. Якщо на лінзу падає циліндричний пучок паралельних променів, то замість точок і утворюються фокальні лінії, орієнтовані взаємно-перпендикулярно. Для визначеності розрізняють перший і другий головні перетини астигматичної лінзи.

Перший головний меридіональний перетин астигматичної лінзи – головний перетин, в якому задня вершинна рефракція приймає найменше по величині алгебраїчне значення.

Другий головний меридіональний перетин астигматичної лінзи – головний перетин, в якому задня вершинна рефракція приймає найбільше алгебраїчне значення.

Абсолютна величина різниці значень задніх вершинних рефракцій в головних перетинах астигматичної лінзи називається астигматичною різницею рефракцій.

Під додатковою задньою вершинною рефракцією зони для близької трансфокальної очкової лінзи розуміється алгебраїчна різниця задніх вершинних рефракцій зон для близької і для далекої трансфокальної очкової лінзи.

					ВР 485.00.00.000 ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Під додатковою задньою вершинною рефракцією проміжної зони трансфокальної очкової лінзи розуміється алгебраїчна різниця задніх вершинних рефракцій проміжної зони і зони для далечині багатфокальної очкової лінзи.

У очкових лінзах розрізняють три центри: оптичний, геометричний і номінальний.

Оптичний центр – точка на якій-небудь поверхні лінзи, через яку світловий промінь, падаючий нормально на дану поверхню, проходить через лінзу, не випробовуючи яких-небудь відхилень, тобто це точка перетину оптичної осі з поверхнею лінзи.

Геометричний центр – точка перетину діагоналей прямокутника, в який вписана лінза.

Номінальний центр – точка на одній з поверхонь лінзи, в якій повинна бути досягнута задана величина призматичної дії.

У очкових лінзах традиційно виділяють сферичну, циліндрову і призматичну дію. При цьому під сферичною дією розуміється дія очкової лінзи, визначувана рефракцією сферичної лінзи або сферичного компоненту астигматичної лінзи. Під циліндровою дією очкової лінзи розуміється рефракція циліндрової лінзи або астигматична різниця рефракцій астигматичної лінзи. Під призматичною дією очкової лінзи розуміється кут відхилення світлового променя, що проходить через задану точку на лінзі, від його первинного напрямку.

Одиницею вимірювання призматичної дії є сантирадиан (срад), або призматична діоптрія (прдптр). Призматична дія в 1 срад чисельно рівна відхиленню світлового променя на 1 см на екрані, розташованому перпендикулярно падаючому променю на відстані 1 м від вершини кута відхилення.

Головний перетин призматичної лінзи – перетин лінзи, що проходить через її геометричний центр і співпадаючий з площиною, в якій знаходяться падаючі промені, що виходять. База призматичної лінзи – площина, що

					ВР 485.00.00.000 ПЗ	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

проходить перпендикулярно головному перетину, в якій лінза має максимальну товщину по краю.

Децентраційна лінза також володіє призматичною дією в своєму геометричному центрі, величина якого залежить від децентрації.

Під децентрацією очкової лінзи розуміється відстань між її оптичним (номінальним) і геометричним центрами. Лінза, що має задану децентрацію, називається децентраційною очковою лінзою.

Номінальний діаметр лінзи – це діаметр, вказаний в нормативному документі на лінзу.

Ефективний діаметр лінзи (далі – діаметр) – фактично зміряний діаметр заготовки.

Корисний діаметр лінзи – максимальний діаметр кола, усередині якого знаходяться допустимі дефекти (сколи, подряпини, крапки, міхури).

Пряма, яка проходить через номінальний центр і що визначає нульове положення головних перетинів астигматичної очкової лінзи і бази призматичної очкової лінзи, носить назву горизонталі очкової лінзи.

Під горизонтальним зсувом зони для близької багатофокальної очкової лінзи розуміється відстань між віссю симетрії зони для близької і паралельної лінії, що проходить через номінальний центр зони для далечіні. Вертикальний зсув лінії розділу – це відстань між дотичною, що проходить через лінію розділу зон близької далі, і паралельною нею лінією, що проходить через номінальний центр зони для далечіні і перпендикулярної осі симетрії зони для близької. Кут повороту зони для близької біфокальної очкової лінзи – кут між горизонталлю очкової лінзи і перпендикуляром до лінії, що зв'язує номінальні центри зон для далечіні і для близької біфокальної очкової лінзи.

Для позначення очкової лінзи, яка має оптично оброблені поверхні і яка не обрізає до остаточних розмірів і форми, відповідних якій-небудь оправі, використовується термін нефацетирована лінза.

Оскільки при великій величині рефракції очкової лінзи і її великому

					ВР 485.00.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

встановити вимірювану очкову лінзу, то зображення марки коліматора представлятиметься спостерігачеві нерізким, і для відновлення різкості зображення марку необхідно перемістити уздовж оптичної осі коліматора. Величина переміщення марки визначається величиною задньої вершинної рефракції F'_V очкової лінзи. Знайдемо залежність переміщення z_1 марки коліматора і F'_V вимірюваної очкової лінзи.

Хай для визначеності між коліматором і телескопічною системою встановлена очкова лінза, і її передній фокус знаходиться в точці $F_{Д}$, а вершина лінзи співпадає з точкою A . Позначимо відстань між точками A і $F_{Д}$ через b . При цьому отримаємо (1.4):

$$\bar{S}_F = z'_1 + b. \quad (1.4)$$

Очевидно, що відрізки z_1 і z'_1 пов'язані між собою відповідно до формули Ньютона таким чином отримаємо (1.5):

$$z_1 \cdot z'_1 = -f_1'^2, \quad (1.5)$$

де f_1' – фокусна відстань коліматора.

Вираз (1.4), з урахуванням формули (1.5), прийме наступний вигляд (1.6):

$$\bar{S}_F = -\frac{f_1'^2}{z_1} + b. \quad (1.6)$$

Оскільки положення вимірюваної очкової лінзи на рисунку 1.5 таке, що вона розглядається в зворотному ході променів в порівнянні з її положенням при корекції аметропії ока, то при її повороті на 180° , в прямому ході

					ВР 485.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

променів, матиме місце очевидна рівність (1.7):

$$S'_{F'} = -\bar{S}_F. \quad (1.7)$$

Отже, задня вершинна рефракція F'_V очкової лінзи визначатиметься з урахуванням формул (1.6) і (1.7) за формулою (1.8):

$$F'_V = \frac{1000 \cdot z_1}{f_1'^2 - bz_1}. \quad (1.8)$$

У формулу (1.8) величини z_1 , f_1' і b підставляються в міліметрах.

З останнього виразу виходить формула для розрахунку шкали рефракцій (1.9):

$$z_1 = \frac{F'_V \cdot f_1'^2}{1000 + F'_V \cdot b}. \quad (1.9)$$

Простий аналіз формули (1.9) показує, що шкала рефракцій буде лінійною тільки в тому випадку, якщо $b = 0$. При цьому положення вершини вимірюваної очкової лінзи повинне співпадати із заднім фокусом коліматора. Тому в конструкції коліматора необхідно забезпечити таку фіксацію вимірюваної очкової лінзи, при якій вершина поверхні очкової лінзи, що обертається до коригованого ока, співпадає при вимірюванні на діоптриметрі із заднім фокусом коліматора. Отже, при $b = 0$ формули (1.8) і (1.9) спрощуються до виразів (1.10 та 1.11):

$$F'_V = \frac{1000 \cdot z_1}{f_1'^2}, \quad (1.10)$$

					ВР 485.00.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$z_1 = \frac{F'_V \cdot f_1'^2}{1000}. \quad (1.11)$$

За останньою формулою і проводиться розрахунок шкали рефракцій діоптриметра. Найбільш поширеною в діоптриметрах є світлова марка у вигляді світлих точок, розташованих по колу. Оскільки діоптриметр є вимірювальним приладом, то, кажучи про принцип дії, необхідно зупинитися і на основній похибці вимірювання задньої вершинної рефракції очкових лінз даним способом. Проаналізуємо принципову (схемну) похибку вимірювання задньої вершинної рефракції по схемі, представленій на рисунку 1.5. Вона буде обумовлена чутливістю ока спостерігача до поздовжніх переміщень. Ця чутливість визначається по формулі Захар'євського, і стосовно даної схеми може бути визначена таким чином (1.12):

$$\Delta z'_2 = \frac{0,2}{\sigma_{A'2}'^2} [\text{мкм}], \text{ або } \Delta z'_2 = \frac{0,2 \cdot 10^{-3}}{\sigma_{A'2}'^2} [\text{мм}], \quad (1.12)$$

де $\Delta z'_2$ – похибка поздовжніх установок, віднесена до простору зображень об'єктиву 2 телескопічної системи;

$\sigma_{A'2}'$ – апертурний кут в просторі зображень об'єктиву 2 телескопічної системи.

Величина останнього, у свою чергу, залежить від відносного отвору об'єктиву телескопічної системи (1.13):

$$\text{tg } \sigma_{A'2}' = \frac{D_{P2}}{2f_2'}, \quad (1.13)$$

де D_{P2} – діаметр вхідної зіниці телескопічної системи;

f_2' – фокусна відстань об'єктиву 2 телескопічної системи.

					ВР 485.00.00.000 ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Обумовлена чутливістю ока до поздовжніх установок похибка переміщення марки коліматора, а отже, і похибка зняття відліку за шкалою рефракцій визначається з урахуванням поздовжнього збільшення системи таким чином (1.14):

$$\Delta z_1 = \frac{\Delta z'_2}{\alpha_{12}}, \quad (1.14)$$

де α_{12} – поздовжнє збільшення системи 1, 2. Поздовжнє збільшення в даному випадку залежатиме від співвідношення фокусних відстаней об'єктивів коліматора і телескопічної системи (1.15):

$$\alpha_{12} = \left(\frac{f'_2}{f'_1} \right)^2. \quad (1.15)$$

Отже, з врахуванням (1.12), (1.13) і (1.15), формула (1.14) прийме вигляд (1.16):

$$\Delta z_1 = \frac{0,8 \cdot 10^{-3} \cdot f_1'^2}{D_{P2}^2}. \quad (1.16)$$

Згідно принципу узгодження зіниць в системі, вхідна зіниця телескопічної системи повинна співпадати з вихідною зіницею коліматора, а для зменшення діаметру об'єктиву коліматора площа його вихідної зіниці повинна співпадати з об'єктивом. Оскільки компоненти прийняті тонкими, то оправа об'єктиву коліматора буде апертурною діафрагмою візирної системи, тобто $D_{P2} = D'_{P1} = D_A$, і формула (1.16) прийме вигляд (1.17):

					ВР 485.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

$$\Delta z_1 = \frac{0,8 \cdot 10^{-3} \cdot f_1'^2}{D_A^2}, \quad (1.17)$$

де D_A – діаметр апертурної діафрагми візуального каналу діоптриметра.

Продиференціювавши вираз (1.13) по величині z , можна визначити похибку вимірювання задньої вершинної рефракції, обумовлену похибкою переміщення марки коліматора (1.18):

$$\Delta F_V' = \frac{1000 \cdot \Delta z_1}{f_1'^2}. \quad (1.18)$$

Підставивши вираз (1.17) в останню формулу, отримаємо остаточний вираз для схемної похибки $\Delta F_{Vcx}'$ вимірювання задньої вершинної рефракції даним методом (1.19):

$$\Delta F_{Vcx}' = \frac{0,8}{D_A^2} [\text{дптр}]. \quad (1.19)$$

Отже, схемна похибка визначення задньої вершинної рефракції на окулярному діоптриметрі обернено пропорційна квадрату діаметру апертурної діафрагми візуального каналу. При розробці оптичної схеми окулярного діоптриметра формула (1.19) може використовуватись для вибору її оптимальних параметрів. За формулою можна визначити діаметр апертурної діафрагми, виходячи з допустимої величини схемної похибки (1.20):

$$D_A = \sqrt{\frac{0,8}{\Delta F_{Vcx}'}}. \quad (1.20)$$

					ВР 485.00.00.000 ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

РОЗРАХУНКОВО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

2.1 Будова діоптриметра ДО-3

Принципова оптична схема діоптриметра [6] приведена на рисунку 2.1. Зовнішній вигляд приладу показаний на рисунку 2.2, а, а його схематичний розріз – на рисунку 2.2, б.

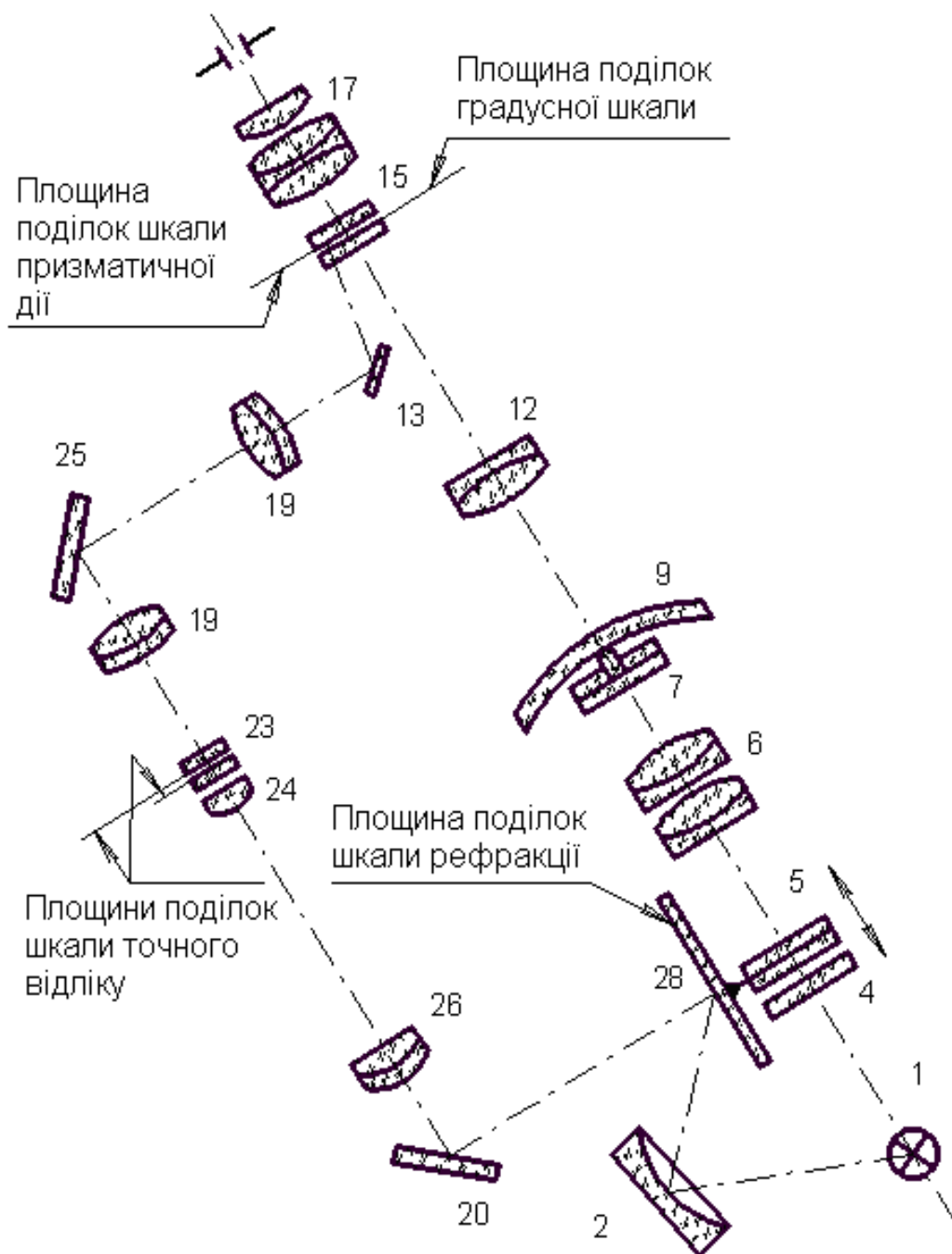


Рисунок 2.1 – Принципова оптична схема діоптриметра ДО-3

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ВР 485.00.00.000 ПЗ

Арк.

27

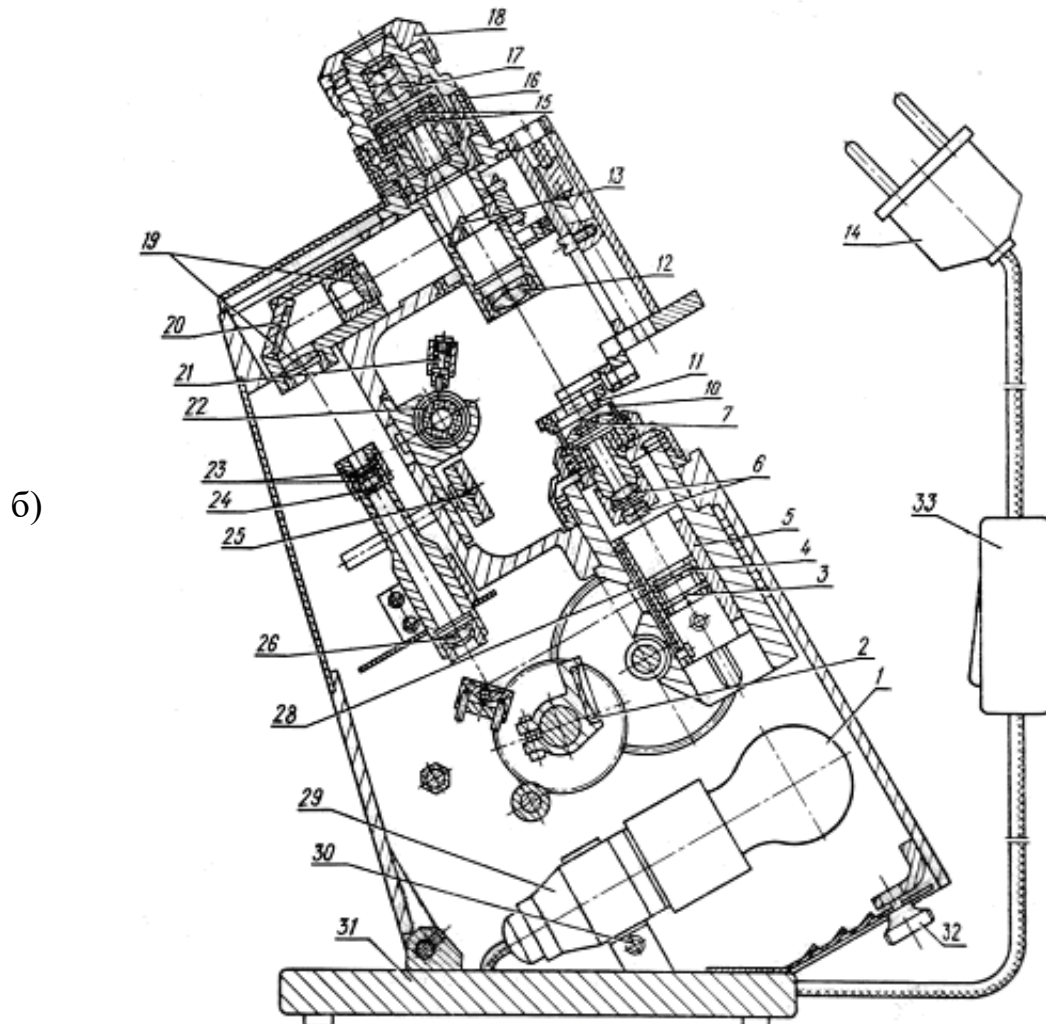
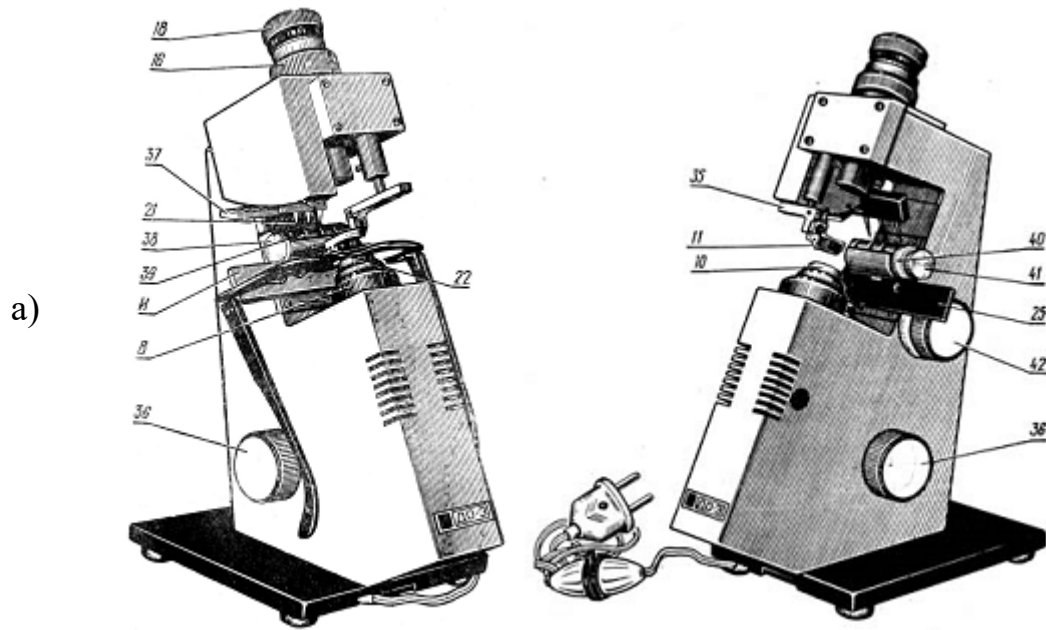


Рисунок 2.2 – Загальний вигляд (а) діоптриметра ДО-3 і його схематичний розріз (б)

Лампа розжарювання 1 використовується як для підсвічування через

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ВР 485.00.00.000 ПЗ

Арк.

28

дзеркало 2 шкали рефракцій 28, так і для безпосереднього освітлення марки коліматора.

Коліматор складається зі світлофільтру 3, марки 4 і об'єктиву 6. У циліндровій оправі 5 закріплені світлофільтр 3 і марка коліматора 4. З оправою марки жорстко сполучена шкала рефракцій 28. Задня поверхня вимірюваної очкової лінзи 9 спирається на плоскопаралельну пластинку 7 з фіксуючим наконечником. Фіксація очкової лінзи здійснюється таким чином, що вершина задньої поверхні очкової лінзи співпадає із заднім фокусом об'єктиву коліматора 6. При обертанні маховичків 36 оправа 5 за допомогою шестерні і пальця переміщається уздовж оптичної осі коліматора, і марка 4 встановлюється в потрібному положенні. Об'єктив коліматора 6 змонтований в своїй оправі, у верхній частині якої закріплено скло 7 з фіксуючим наконечником, на який спирається задня поверхня очкової лінзи, а для її підтримки служить рухома гільза 10.

Зорова труба складається з об'єктиву 12, окуляра 17 і розташованих у фокальній площині об'єктиву плоскопаралельних пластинок 15, на внутрішніх поверхнях яких нанесено дві шкали. При цьому площини шкал суміщені з фокальною площиною об'єктиву. Окуляр 17 зорової труби закріплений в оправі 18 з окулярним різьбленням. Повертаючи цю оправу, можна встановити окуляр по оку спостерігача на різке зображення сіток 15 зорової труби. Кільце 16 служить для повороту верхньої пластинки 15. Окуляр має переміщення уздовж оптичної осі для компенсації аметропії ока спостерігача. Верхня плоскопаралельна пластинка 15 з нанесеним на ній перехрестям і шкалою призматичної дії обертається навколо оптичної осі, а кругова градусна шкала, нанесена на нижній пластинці 15, нерухома.

Механізм кріплення очкової лінзи влаштований таким чином: на рухомій шайбі є притискне кільце 11, яке безпосередньо стикається з лінзою, притискуючи її до фіксуючого наконечника через підпружинену гільзу 10. Необхідний тиск здійснюється гвинтовою пружиною. Для установки очкової лінзи на діоптриметрі необхідно важіль 35 вивести з бічного паза і,

					ВР 485.00.00.000 ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підтримуючи його, опустити пристосування на очкову лінзу. У неробочому положенні пристосування знаходиться в піднятому положенні.

Механізм для маркування очкової лінзи складається з планки, до якої прикріплено три штоки 21, необхідні для нанесення трьох крапок на поверхні очкової лінзи. На іншому кінці планки є важіль 37 з рифленнями, на який при маркуванні натискають пальцем. У неробочому положенні штоки знаходяться над чорнильницею 22, яка є втулкою з угвинченим в неї фетровим валиком. За допомогою маховичка 40 втулку можна вийняти з гнізда 39 і корпуси чорнильниці, вивернути фетровий валик і при необхідності промити його водою. Потім вкрутити валик у втулку, просочити його фарбою ТНПФ-53 і вставити втулку в гніздо корпусу чорнильниці до упору. За допомогою маховичка 41 валик можна повернути навколо своєї осі.

Для того, щоб провести маркування лінзи, треба натиснути на важіль 37 для змочування штоків мітчика в чорнильниці, підняти важіль на незначну відстань, повернути від себе до упору і натиснути вниз до зіткнення штоків 21 з поверхнею лінзи, підняти важіль вгору до упору і повернути до себе. Для того, щоб чорнильницю 22 вийняти з гнізда, слідує важіль пристосування відмітки повернути в робоче положення (від себе) і зафіксувати його. Потім пальцем натиснути на втулку 38 і за допомогою маховичка 40 вийняти чорнильницю. Після закінчення роботи штоки відмітки промиваються ацетоном.

Механізм вирівнювання призначений для правильної установки окулярів щодо штриха 0-180 градусів сітки зорової труби, для вимірювання відстані від оптичної осі до нижнього краю лінзи або оправу окулярів, а також для вимірювання відстані між оптичними осями в біфокальних очкових лінзах. Механізм складається з вирівнюючої планки 25, прикріпленою до осі, вставленої у втулку, яка прикріплена до корпусу діоптриметра. У осі профрезерований паз, в якому закріплена рейка. Рейка знаходиться в зачепленні з трубкою, на осі якої закріплений маховичок 42 з шкалою, а на корпусі є нерухомий індекс. Оцифрування шкали відповідає

					ВР 485.00.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відстані від оптичної осі діоптриметра до вирівнюючої планки.

Освітлювач складається з патрона 29, лампочки 1 і скоби, в яку вставляється патрон. Для регулювання патрон може переміщатися в скобі отримання оптимального і рівномірного освітлення сітки коліматора 4 і шкали 28, після чого затискається гвинтом 30.

Відлікова система проектує зображення діоптрійної шкали 28 в площину поділок шкал 15 і дозволяє спостерігачеві одночасно бачити марку коліматора і шкали приладу. Вона складається з об'єктиву 26, колективу 24, шкал точного відліку 23, що складаються з двох пластин, (так званою в технічних описах ноніусом), що обертає системи 19, дзеркал 13 і 20. Шкали точного відліку нанесені на внутрішніх поверхнях двох плоскопаралельних пластинок і розташовані під кутом один до одного. Одна їх них, позначена знаком «+», призначена для зняття відліку при вимірюваннях позитивних рефракцій, друга, позначена знаком «-», – негативних. Ціна поділки цих шкал 0,05 дптр. У полі зору окуляра зорової труби зображення шкал винесене за кутову шкалу.

2.2 Методика вимірювання очкових лінз різних типів за допомогою діоптриметра ДО-3

Після включення приладу в мережу вимикач 33 (рис. 2.2) переводять в положення «Включено». Обертаючи оправу 18 окуляра зорової труби, добиваються різкого зображення сітки з перехрестям. Переміщаючи за допомогою маховичків 36 точкову світлову марку коліматора, отримують її різке зображення. При правильній установці світлової марки відлік за шкалою рефракцій повинен бути рівний 0, відхилення, що при цьому допускається, не повинне перевищувати товщину штриха. Залежно від виду очкової лінзи, прийоми вимірювання її оптичних параметрів будуть відрізнятися.

Вимірювання задньої вершинної рефракції стигматичних очкових лінз.

					ВР 485.00.00.000 ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Окрему очкову лінзу або лінзу, вмонтовану в оправу, слід покласти на рухому гільзу 10 тією поверхнею, яка повинна бути звернена до ока. Опустивши важіль 35, притиснути лінзу до фіксуючого стрижня. Потім, спостерігаючи в окуляр зорової труби і переміщаючи лінзу по фіксуючому стрижню, добитися, щоб зображення центральної точки світлової марки коліматора поєдналося з центром перехрестя сітки зорової труби. Після цього, переміщаючи за допомогою маховичків 36 світлову марку коліматора, отримати її різке зображення і зняти відлік по шкалах рефракцій у полі зору окуляра. При необхідності оптичний центр лінз відмічається середнім штоком пристосування відмітки.

Вимірювання очкових лінз з призматичною дією. При вимірюванні такої очкової лінзи необхідно визначити її призматичну дію в сантирадіанах, напрям головного перетину лінзи, а при перевірці готових окулярів – кут, під яким розташований головний перетин щодо оправу окулярів. Відлік значення цього кута проводиться за градусною шкалою ТАБО. Для лінз, що володіють призматичною дією, при їх вимірюваннях на діоптриметрі зображення центру марки коліматора завжди розташовується поза центром перехрестя сітки зорової труби. Значення призматичної дії визначається за шкалою, нанесеною на одному з штрихів перехрестя сітки. Ціна поділки шкали призматичної дії 0,1 срад, межі вимірювання 0-6 срад. Вимірювання призматичної дії проводиться в наступному порядку. Призматична лінза встановлюється на фіксуючий стрижень, і обертанням маховичків 36 (рис. 2.2) в полі зору добиваються різкого зображення марки коліматора. Обертаючи кільце 16, встановлюють сітку з перехрестям так, щоб штрих з поділками шкали призматичної дії проходив через зображення центральної точки марки коліматора. Положення цієї центральної точки марки коліматора визначає призматичну дію очкової лінзи (рис. 2.3, а). Якщо лінза поміщена в очкову оправу, то оправу встановлюється так, щоб її нижні краї торкалися планки 25 (рис. 2.2).

					ВР 485.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

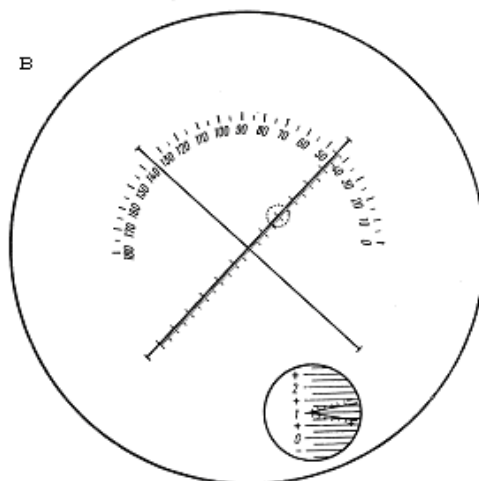
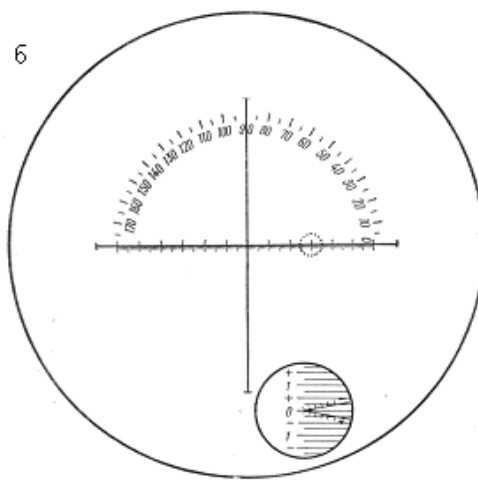
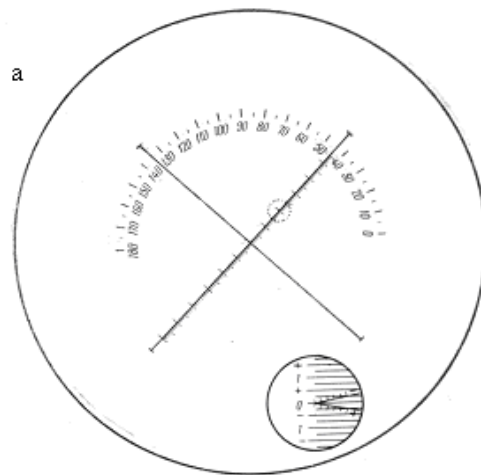


Рисунок 2.3 – Вид поля зору при вимірюваннях призматичної дії очкових лінз: а – призматична дія рівна 2 срад. Напрямок головного перетину 45° за шкалою ТАБО; б – в цьому положенні проводиться відмітка на лінзі напрямку головного перетину призматичної лінзи; в – задня вершинна рефракція стигматичної очкової лінзи рівна 2 срад, напрям головного перетину 45° з шкали ТАБО

По розташуванню шкали призматичної дії щодо кутової шкали відраховується значення кута, під яким розташовується лінія головного перетину щодо оправу окулярів (рис. 2.3, а). Для відмітки на лінзі на пряму головного перетину призматичної лінзи слід повертати вимірювану лінзу до тих пір, поки зображення центральної точки марки коліматора не розташується на штриху перехрестя, суміщеному з поділками 0-180° кругової шкали (рис. 2.3, б). У цьому положенні за допомогою механізму відмітки наносяться три крапки, які і визначають напрям лінії головного перетину призматичної лінзи.

Як відомо, необхідну величину призматичної дії в звичайній стигматичній очковій лінзі можна забезпечити і за рахунок її децентрування. Для цього, переміщаючи лінзу по фіксуючому стрижню, добиваються, щоб зображення центральної точки марки коліматора співпало з необхідним значенням призматичної дії з шкали діоптриметра, і в цьому положенні проводиться відмітка номінального центру очкової лінзи і положення головного перетину. На рисунку 2.4, в показаний вид поля зору при вимірюванні стигматичних очкових лінз, що володіють призматичною дією. При вимірюваннях таких лінз на діоптриметрі зображення центральної точки марки коліматора не може бути приведене на центр перехрестя сітки за рахунок переміщень.

Вимірювання астигматичних очкових лінз. На діоптриметрі вимірюються рефракції в першому і другому головних перетинах астигматичної лінзи і на пряму цих перетинів. При вимірюванні астигматичної очкової лінзи зображення світлих точок марки коліматора набувають вигляду еліпсів (смуг), і при переміщенні марки коліматора уздовж осі напрям цих еліпсів змінюється. Чим більша астигматична різниця рефракцій даної лінзи, тим більше витягнутими будуть еліпси, що сприймаються спостерігачем як смуги. Є два положення марки, при яких у полі зору зорової труби найвиразніше спостерігаються ці смуги, при цьому при переході від одного положення марки до іншого напрями смуг

					ВР 485.00.00.000 ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

змінюються на 90° .

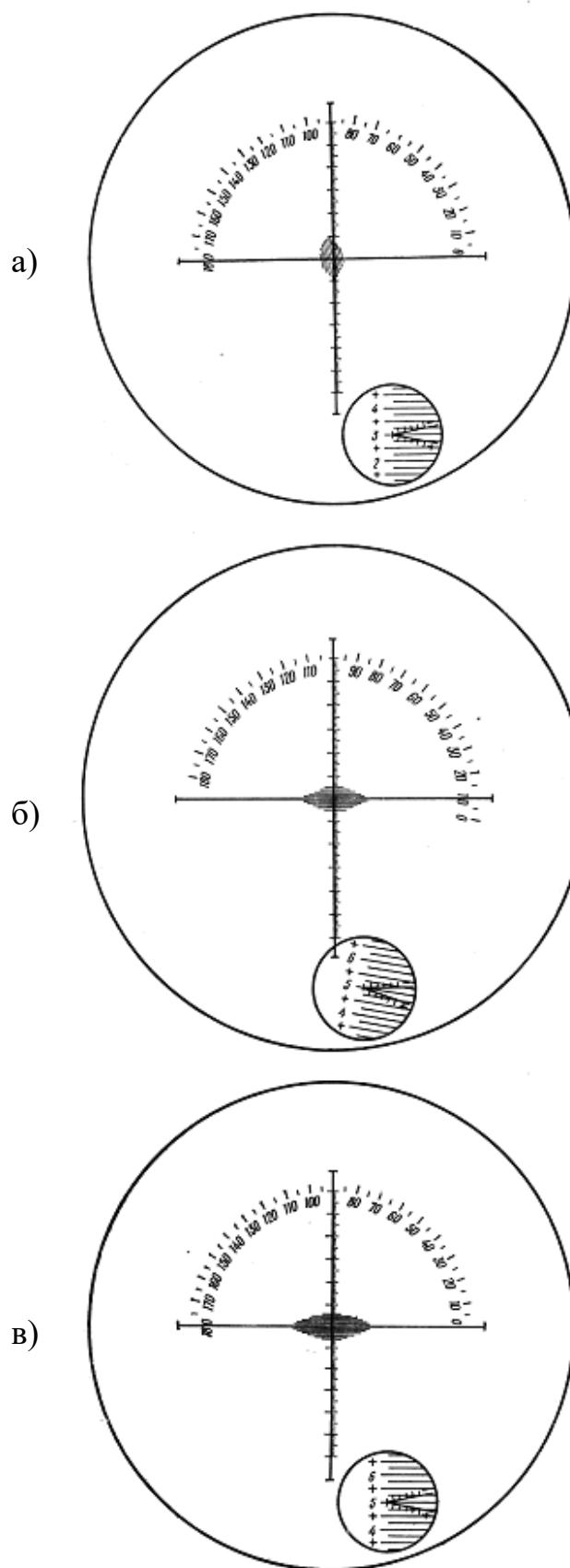


Рисунок 2.4 – Вид поля зору діоптриметра при вимірюванні параметрів астигматичних очкових лінз

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ВР 485.00.00.000 ПЗ

Арк.

35

а – рефракція першого головного перетину рівна +3 дптр. Напрямок паралельних ліній в зображенні марки коліматора довільний щодо ліній перехрестя шкали діоптриметра;

б – рефракція другого головного перетину рівна +5 дптр. Астигматична різниця рефракцій складає +2 дптр. Лінії перехрестя встановлені паралельно пучку ліній в зображенні марки коліматора. Напрямок першого головного перетину відповідає 10° за шкалою ТАБО;

в – покази за шкалою рефракцій відповідають другому головному перетину. Напрямок паралельних смуг в зображенні марки коліматора суміщений з поділками $0-180^\circ$ кутової шкали. У цьому положенні відмічаються три крапки, що визначають положення першого головного перетину.

При цьому необхідно врахувати, що при вимірюванні рефракції астигматичних очкових лінз перетин, в якому вимірюється рефракція, завжди перпендикулярний напрямку видимій у полі зору приладу групі паралельних смуг. Для вимірювання рефракції в іншому перетині потрібно групу паралельних смуг у полі зору окуляра поставити в положення, перпендикулярне першому. Це досягається повільним обертанням маховичків, що переміщують марку коліматора (рис. 2.4, б). Різниця між першим і другим показами дає величину астигматичної різниці рефракцій очкової лінзи. Рекомендується проводити вимірювання не менше трьох разів і визначати середнє арифметичне. Для астигматичної лінзи, вмонтованої в оправу, окрім астигматичної різниці, необхідно ще визначити положення першого головного перетину. Для цього оправу з окулярами слід встановити на діоптриметр так, щоб її нижні краї торкалися планки 25 (рис. 2.2), а задня поверхня очкової лінзи була притиснута до опорного стрижня коліматора. Обертаючи кільце 16, повернути сітку з перехрестям так, щоб один з його штрихів (краще той, який не має поділок) встановився паралельно напрямку смуг для другого головного перетину (враховуючи, що смуги при цьому витягуються у напрямку осі головного перетину з найменшою рефракцією).

					ВР 485.00.00.000 ПЗ	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

По положенню цього штриха на круговій шкалі відраховується величина кута, під яким розташовується головний перетин з найменшою рефракцією щодо оправу окулярів (рис. 2.4, б). Щоб відмітити на очковій лінзі положення першого головного перетину, потрібно виконати наступне. Очкову лінзу покласти на опорний стрижень і притиснути кільцем 11 (рис. 2.2). Обертаючи маховички, добитися різкого бачення зображення марки коліматора в положенні, відповідному показу найбільшої рефракції. Далі повертати лінзу до тих пір, поки напрям групи паралельних смуг не стане паралельним штриху перехрестя, суміщеному з поділками 0-180° кутової шкали. При цьому середина групи смуг повинна бути на перехресті (рис. 2.4, в). У цьому положенні за допомогою механізму відмітки нанести на лінзу три крапки, які визначають положення першого головного перетину. Для зручності монтажу очкової лінзи в оправу часто доводиться відзначати на ній не положення першого головного перетину, а так звану «нульову лінію». Для цього в положенні марки коліматора, відповідному рефракції в другому головному перетині, повертаючи лінзу, добиваються, щоб відлік за круговою шкалою, проведений по штриху перехрестя, суміщеному з напрямом витягнутих смуг, відповідав заданому рецептом куту, наприклад, 10° (рис. 2.5, б). У цьому положенні наносяться на лінзу три маркувальні крапки, які і визначають напрям «нульовій лінії».

Вимірювання астигматичних очкових лінз, що володіють призматичною дією. Призматична дія очкової лінзи і напрям головного перетину призматичної лінзи визначається як для першого, так і для другого перетину астигматичної лінзи. Особливістю визначення задньої вершинної рефракції в двох головних перетинах астигматичних лінз з призматичною дією є те, що при будь-яких установках очкової лінзи середина паралельних смуг розташовується поза центром перехрестя сітки і зорової труби. Як приклад на рисунку 2.5, а, б показаний вид поля зору діоптриметра при вимірюванні параметрів в другому головному перетині астигматичної лінзи. Напрямок першого головного перетину визначається в даному випадку по

					ВР 485.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

перетину з кутовою шкалою штриха перехрестя, встановленого паралельно напрямку відповідної групи паралельних смуг (рис. 2.5, б).

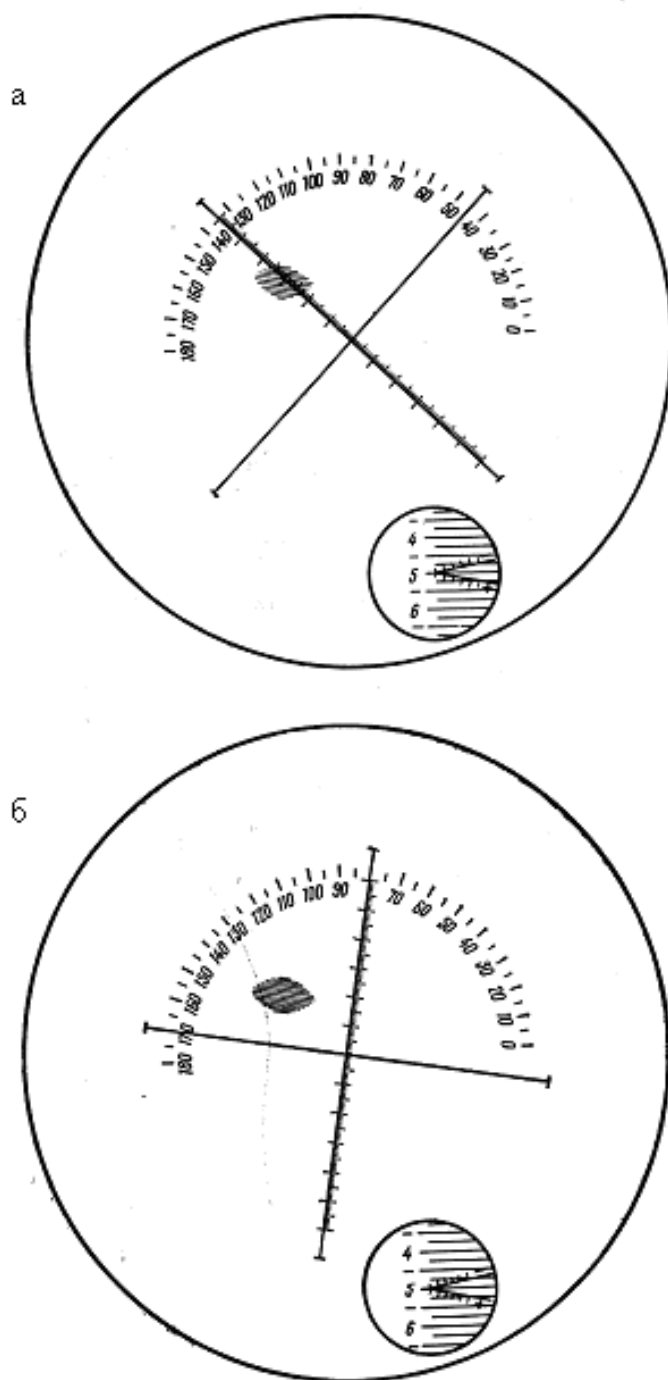


Рисунок 2.5 – Вид поля зору діоптриметра при вимірюванні астигматичних лінз, що володіють призматичною дією: задня вершинна рефракція в другому головному перетині рівна -5 дптр; призматична дія 3 срад; напрям головного перетину призматичної лінзи 135° ; напрям першого головного перетину астигматичної лінзи 170° за шкалою ТАБО

Вимірювання біфокальних очкових лінз. При вимірюванні параметрів біфокальних очкових лінз необхідно визначити окремо параметри зон для далі і для близьі, а також відстань між їх оптичними центрами. Вимірювання відстані між оптичними центрами зон для далі і для близьі проводиться в наступному порядку. Спочатку на опорному стрижні діоптриметра встановлюється верхня частина лінзи, зображення центральної точки марки коліматора поєднується з центром перехрестя, і визначаються параметри зони для далечіні. При цьому поперечна планка повинна бути підведена до зіткнення з вимірюваною лінзою, що досягається обертанням маховичка вирівнюючого механізму. Відлік за шкалою вирівнюючого механізму визначає відстань в міліметрах від оптичного центру зони для далі очкової лінзи до поперечної планки. Потім на опорному стрижні діоптриметра встановлюється нижня частина лінзи, зображення центральної точки марки коліматора також поєднується з центром перехрестя сітки, поперечна планка також підводиться до зіткнення з вимірюваною лінзою, і за шкалою вирівнюючого механізму визначається відстань від оптичного центру зони для близьі до поперечної лінзи. Різниця двох відліків за шкалою вирівнюючого механізму дає відстань між оптичними центрами зон біфокальної очкової лінзи.

2.3 Розрахунок візирного каналу діоптриметра ДО-3

Перш за все, необхідно визначити величину фокусної відстані об'єктиву коліматора і діаметр апертурної діафрагми [7].

Величина фокусної відстані коліматора не може бути вибрана довільно: вона визначається необхідним діапазоном вимірювання задньої вершинної рефракції. При вимірюванні позитивних очкових лінз марка коліматора повинна переміщатися у бік об'єктиву коліматора, при цьому, очевидно, її максимальне переміщення не повинне перевищувати величину переднього фокального відрізка об'єктиву коліматора, відповідно, можна записати (2.1):

					ВР 485.00.00.000 ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\frac{F'_{V+} \cdot f_1'^2}{1000} \leq |S_{F1}|, \quad (2.1)$$

– максимальна величина рефракції позитивних очкових лінз, які повинні вимірюватися на діоптриметрі. Якщо позначити $|S_{F1}| = kf_1'$, то з (2.1) можна визначити величину фокусної відстані об'єктиву коліматора (2.2):

$$f_1' \leq \frac{1000k}{F'_{V+}}. \quad (2.2)$$

Прийнявши $k = 0,8 \div 0,9$, для $F'_{V+} = 25$ дптр з останньої формули вийде $f_1' \leq (32 \div 36)$ мм. Для забезпечення ціни ділення шкали рефракцій 0,25 дптр інтервал Δa цієї шкали повинен бути рівний (2.3):

$$\Delta a = \frac{f_1'^2 \cdot 0,25}{1000} = \frac{f_1'^2}{400}, \quad (2.3)$$

а відстань між поділками на шкалі, відповідними 1 дптр, буде рівна (2.4):

$$4 \cdot \Delta a = \frac{f_1'^2}{1000}. \quad (2.4)$$

Очевидно, доцільно прийняти $f_1' = \sqrt{1000} = 31,622$ мм, що задовольняє умові (2.2) і забезпечує технологічність шкали рефракцій. При цьому по формулах (2.3) і (2.4) виходить:

$$\Delta a = \frac{31,622^2 \cdot 0,25}{1000} = 0,25 \text{ мм та } 4 \cdot \Delta a = 1 \text{ мм,}$$

					ВР 485.00.00.000 ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

тобто величині $F'_V = 1$ дптр відповідає інтервал на шкалі, рівний 1 мм; а величині $F'_V = 0,25$ дптр – відповідно 0,25 мм.

Довжина l шкали рефракцій визначиться, виходячи з необхідного діапазону вимірювань від +0,25 до -30 дптр і складе:

$$l = 1 \cdot (25 + 30) = 55 \text{ мм.}$$

Далі вибирається діаметр апертурної діафрагми, роль якої виконує оправа об'єктиву коліматора. Для цього необхідно проаналізувати похибку визначення задньої вершинної рефракції, обумовлену обмеженою чутливістю ока спостерігача до поздовжніх установок.

Аналогічно діоптриметру ДО-3, загальна похибка $\Delta F'_{V\Sigma}$ визначення задньої вершинної рефракції не повинна перевищувати 0,06 дптр при вимірюваннях очкових лінз з рефракціями $|F'_V|$ від 0 до 6 дптр. Враховуючи, що в приладі є цілий ряд первинних помилок, схемна погрішність не повинна перевищувати лише деяку частину сумарної погрішності.

За формулою визначається необхідний діаметр апертурної діафрагми залежно від величини схемної похибки, яка допускається:

– при $\Delta F'_{Vcx} = \frac{1}{10} \Delta F'_{VZ}$ необхідне $D_A = 11,5$ мм;

– при $\Delta F'_{Vcx} = \frac{1}{5} \Delta F'_{VZ}$ необхідне $D_A = 8,2$ мм;

– при $\Delta F'_{Vcx} = \frac{1}{3} \Delta F'_{VZ}$ необхідне $D_A = 6,3$ мм;

– при $\Delta F'_{Vcx} = \frac{1}{2} \Delta F'_{VZ}$ необхідне $D_A = 5,2$ мм.

Остаточний вибір величини D_A проводиться за наслідками повного розрахунку на точність, а також з урахуванням габаритних обмежень і відносного отвору об'єктиву коліматора. Прийmemo $D_A = 7$ мм, при цьому об'єктив коліматора має відносний отвір $D/f'_1 = 1/4,5$, що дозволяє виконати його досить простим конструктивно. На рисунку 2.6 показана оптична схема

					ВР 485.00.00.000 ПЗ	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

візирного каналу в тонких компонентах з ходом осьового і позаосьового пучків без він'єтування.

Видиме збільшення телескопічної системи визначиться (2.5):

$$\Gamma_{23} = -\frac{f_2'}{f_3'} = \frac{D_P}{D_{P'}}. \quad (2.5)$$

Задавшись величиною вихідної зіниці $D_{P'} = 2$ мм і враховуючи $D_p = D_A = 7$ мм, що отримаємо $\Gamma_{23} = -3,5^x$. Прийнявши величину фокусної відстані окуляра $f_3' = 20$ мм, по формулі (2.6) отримаємо $f_2' = -\Gamma_{23} \cdot f_3'$ та $f_2' = 3,5 \cdot 20 = 70$ мм.

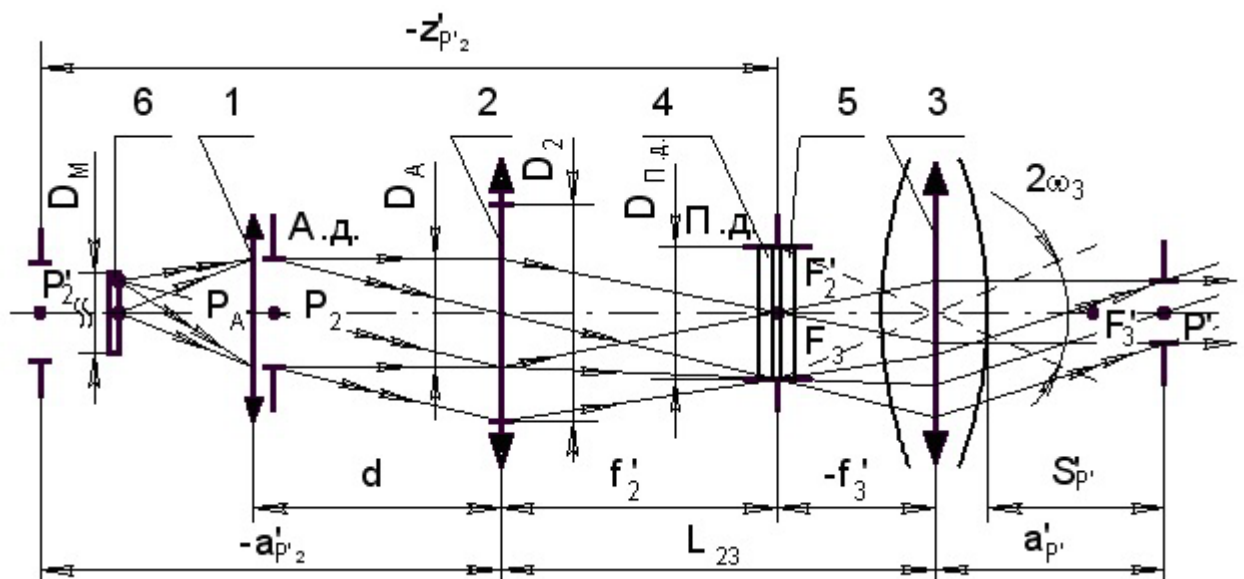


Рисунок 2.6 – Принципова схема візирного каналу діоптриметра в тонких компонентах з ходом променів: 1 – об'єктив коліматора; 2 – об'єктив телескопічної системи; 3 – окуляр; 4 – кутова шкала; 5 – перехрестя і шкала призматичної дії; 6 – марка коліматора

Цими значеннями фокусних відстаней об'єктиву і окуляра визначиться довжина телескопічної системи, яка складе $L_{23} = 90$ мм.

Як окуляр доцільно застосувати симетричний окуляр, що володіє задовільною якістю зображення в межах кутового поля до 40° . Як покажуть подальші розрахунки, для діоптриметра цілком достатньо кутове поле $2\omega_3 = 30^\circ$. В цьому випадку діаметр польової діафрагми визначиться, згідно рис. 2.6, по простій формулі (2.6):

$$D_{n.d.} = 2 \cdot f'_3 \cdot \operatorname{tg} \omega_3, \quad (2.6)$$

і чисельно складе $D_{n.d.} = 2 \cdot 20 \cdot \operatorname{tg} 15^\circ = 10,72$ мм.

Кутове поле в просторі предметів об'єктиву 2 телескопічних системи визначиться:

$$\operatorname{tg} \omega_2 = \frac{\operatorname{tg} \omega_3}{\Gamma_{23}},$$

і буде рівне:

$$\operatorname{tg} \omega_2 = \frac{\operatorname{tg} 15^\circ}{3,5} = 0,07655, \text{ тобто } \omega_2 = 4^\circ 22' \text{ та } 2\omega_2 = 8^\circ 44'.$$

Світловий діаметр марки коліматора, відповідний розміру польової діафрагми телескопічної системи, визначиться по формулі (2.7):

$$D_M = 2 f'_1 \cdot \operatorname{tg} \omega_2, \quad (2.7)$$

розрахунок по якій дає $D_M = 2 \cdot 31,622 \cdot 0,07655 = 4,89$ мм.

Світловий діаметр об'єктиву 2 телескопічних системи визначиться відповідно до рисунку 2.6:

– без він'єтування – $D_2 = 2d \cdot \operatorname{tg} \omega_2 + D_A$;

– при 50%-му він'єтуванні – $D_{2B} = 2d \cdot \operatorname{tg} \omega_2$.

Прийнявши конструктивно $d = 60$ мм, отримаємо

$$D_2 = 2 \cdot 60 \cdot 0,0765 + 7 = 16,17 \text{ мм та } D_{2B} = 2 \cdot 60 \cdot 0,0765 = 9,17 \text{ мм.}$$

Оскільки у візуальних системах допустиме 50%-не зниження освітленості на краю поля зору, то приймемо величину діаметру об'єктиву телескопічної системи рівним 9,2 мм, тим паче, що і відносний отвір об'єктиву в цьому випадку складе 1:7,6 проти 1:4,3 без він'єтування.

Далі визначимо положення вихідної зіниці телескопічної системи. Зображення апертурної діафрагми, побудоване об'єктивом 2, знаходитиметься на відстані $a'_{P'2}$ від задньої головної точки H'_2 об'єктиву телескопічної системи, при цьому по формулі Гауса (2.8):

$$a'_{P'2} = \frac{a_2 \cdot f'_2}{f'_2 + a_2} \text{ та } a_2 = -d. \quad (2.8)$$

Підставивши числові значення, отримаємо:

$$a'_{P'2} = \frac{-60 \cdot 70}{-60 + 70} = -420 \text{ мм.}$$

Застосовуючи повторно формулу Гауса тепер для окуляра 3, знайдемо положення вихідної зіниці телескопічної системи. Положення вихідної зіниці об'єктиву 2 щодо окуляра 3 визначиться $a_3 = a'_2 - d$ і складе $a_3 = -420 - 90 = -510$ мм. Положення вихідної зіниці системи щодо задньої головної площини окуляра буде рівне:

$$a'_{P'} = \frac{-510 \cdot 20}{20 - 510} = 20,82 \text{ мм.}$$

Враховуючи, що для симетричного окуляра співвідношення між заднім фокальним відрізком і фокусною відстанню складає $S'_{F'} = 0,75 \cdot f'$, визначимо віддалення вихідної зіниці системи від останньої поверхні окуляра по очевидній формулі (2.9):

$$S'_{P'} = S'_{F'3} + a'_{P'} - f'_3. \quad (2.9)$$

					ВР 485.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Чисельно вийде $S'_{p'} = 0,75 \cdot 20 + 20,82 - 20 = 15$, що є цілком прийнятною величиною. У задній фокальній площині об'єктиву 2 необхідно встановити дві плоскопаралельні пластинки, на внутрішніх поверхнях яких нанесено дві шкали: градусна (4) і шкала призматичної дії (5) з перехрестям. Оправи цих пластинок виконують функцію польової діафрагми системи. Далі, відповідно до малюнка 68, проводиться розрахунок шкал.

Градусна шкала. Ціна поділки градусної шкали 1° . Межі вимірювання $0-180^\circ$. Отже, кількість поділок на шкалі рівна $n=180$. Необхідно забезпечити видиму величину інтервалу шкали за окуляром не менше 1 мм , тобто $\frac{\pi \cdot r}{n} \cdot \Gamma_{OK} \geq 1 \text{ мм}$, де r – радіус півкола, на якому нанесена кутова шкала (рис. 2.7).

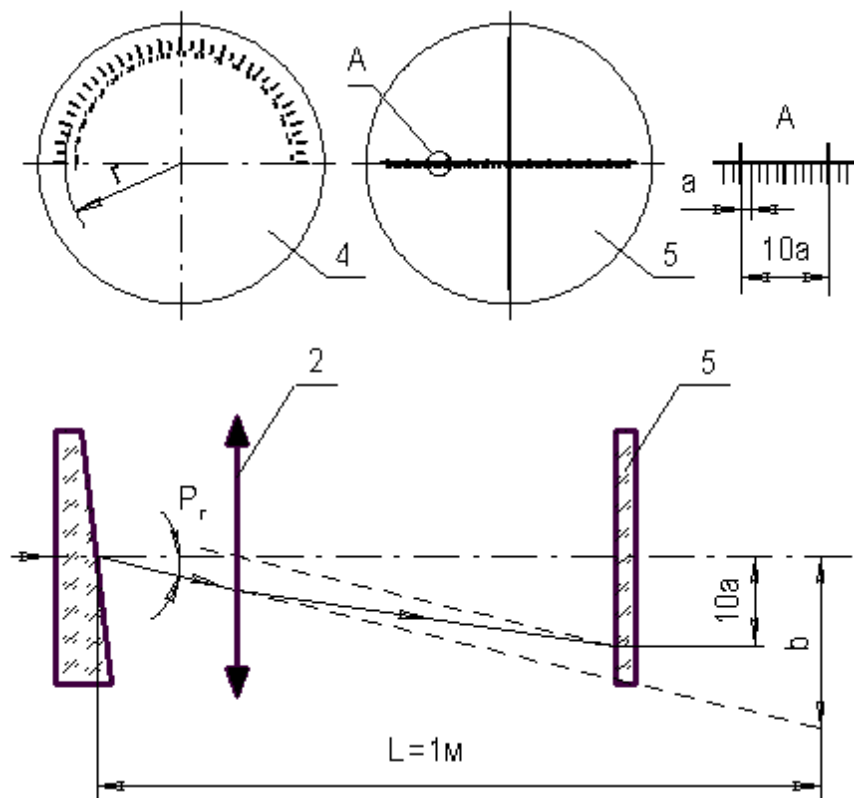


Рисунок 2.7 – До розрахунку градусної шкали і шкали призматичної дії

З цієї умови визначиться радіус півкола $r \geq \frac{n}{\pi \Gamma_{OK}}$. Після підстановки

числових значень вийде $r \geq 4,6 \text{ мм}$. Порівняємо отримане значення з діаметром польової діафрагми і переконаємося, що на плоскопаралельну пластинку 4 може бути нанесена кутова шкала необхідного розміру.

Шкала призматичної дії. Діапазон вимірювання призматичної дії від 0 до 6 срад, ціна поділок 0,1 срад (рис. 2.7). Кількість поділок на шкалі визначиться таким чином: $n = \frac{2,6}{0,1} = 120$.

Для розрахунку скористаємося рисунком 2.7, представивши на ньому призматичну лінзу у вигляді клину. Якщо призматична дія її рівна 1 срад, то зсув променя на екрані, встановленому на відстані $L = 1 \text{ м}$, складе величину $b = 1 \text{ см}$. В цьому випадку $\text{tg}P_r = b/L = 0,01$ тобто $\alpha = 34'22,5''$.

Відстань між великими поділками шкали, відповідно призматичній дії 1 срад, буде рівна (2.10):

$$10a = \text{tg}P_r \cdot f'_2, \quad (2.10)$$

де a – інтервал шкали.

Чисельно вийде $10a = 70 \cdot 0,01 = 0,7 \text{ мм}$ та $a = 0,07 \text{ мм}$.

Довжина всієї шкали призматичної дії визначиться просто: $l = n \cdot a$ і чисельно буде рівна $l = 120 \cdot 0,07 = 8,4 \text{ мм}$.

Шкала займе приблизно 4/5 полів зору окуляра. Видима величина інтервалу шкали за окуляром приладу буде рівна $a \cdot \Gamma_{OK} = 0,07 \cdot 12,5 = 0,9 \text{ мм}$, що близько до 1 мм.

Ширина штрихів b обох шкал вибирається з умови, що їх кутова величина за окуляром повинна складати $2' \div 4'$, отже $b = f'_3 \cdot \text{tg}(2' \div 4')$. Для вибраного окуляра ширина штрихів повинна лежати в межах 0,012–0,024 мм. Як марка 6 коліматора використовуємо марку, форма якої аналогічно діоптриметру ДО-3, – у вигляді світлових точок, розташованих по колу, і центральної точки (рис. 2.8).

					ВР 485.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

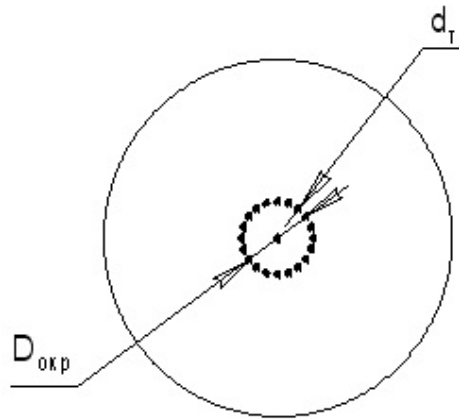


Рисунок 2.8 – До розрахунку марки діоптриметра

Діаметр кола $D_{ОКР}$, по якому нанесені крапки, що світяться, і діаметр точок d_T приймемо, по аналогії з діоптриметром ДО-3, такими, щоб зображення кола, яке світиться, в площині польової діафрагми відповідало десяти інтервалам шкали призматичної дії, а зображення окремої точки – одному інтервалу. Отже, діаметр кола, по якому нанесені точки на марці коліматора, з урахуванням лінійного збільшення об'єктивів коліматора і телескопічної системи, визначиться по формулі (2.11):

$$D_{ОКР} = \frac{10a \cdot f'_1}{f'_2}, \quad (2.11)$$

де a – інтервал шкали призматичної дії;

f'_1, f'_2 – фокусні відстані об'єктивів коліматора і телескопічної системи відповідно.

Підставивши числові значення у формулу (2.11), отримаємо:

$$D_{ОКР} = \frac{10 \cdot 0,07 \cdot 31,622}{70} = 0,316 \text{ мм.}$$

Діаметр окремої точки d_T буде в 10 разів меншим:

$$d_T = \frac{a \cdot f'_1}{f'_2}, \text{ тобто } 0,031 \text{ мм.}$$

					ВР 485.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Кількість точок, розташованих впритул один до одного, при прийнятих співвідношеннях між розмірами кола і окремої точки складе:

$$n = 10\pi \text{ тобто } 31 \div 32 \text{ точки.}$$

Видима величина точки, яка світиться, за окуляром буде такою ж, як і видима величина інтервалу шкали призматичної дії, а її кутовий розмір γ'_T за окуляром складе (2.12):

$$\gamma'_T = d_T \cdot \frac{f'_2}{f'_1} \cdot \frac{1}{f'_3}, \quad (2.12)$$

Підставивши числові значення, отримаємо:

$$\gamma'_T = \frac{0,0316 \cdot 70}{31,622 \cdot 20} = 0,0035 \approx 11,6'.$$

Як переконатися, що марка даних розмірів дозволить спостерігачеві визначати параметри астигматичної очкової лінзи величиною астигматичної різниці рефракцій в 0,25 дптр, відповідній найменшій величині астигматичної різниці рефракцій очкових лінз? Іншими словами, чи зможе спостерігач візуально відмітити зміну форми марки при вимірюванні на діоптриметрі очкової лінзи з найменшою величиною астигматичної різниці рефракцій в 0,25 дптр? Хай між коліматором і телескопічною системою встановлена очкова лінза, що має астигматичну різницю рефракцій $\Delta F'_V = 0,25$ дптр, а рефракцію в одному з головних перетинів, наприклад, в першому, рівну 0 дптр.

Отже, при визначенні рефракції в першому головному перетині очкової лінзи відлік за шкалою рефракцій буде рівний 0 дптр, і марка розташовуватиметься у фокальній площині коліматора. Але зображення кожної точки, яка світиться, марки в задній фокальній площині об'єктиву 2, так само як і зображення кола з точок, які світяться, будуть витягнутими уздовж осі y , тобто точка зображатиметься еліпсом, при цьому розміри осей

					ВР 485.00.00.000 ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

еліпса відрізнятимуться на величину $\Delta y'$. Оцінивши величину $\Delta y'$, можна визначити величину відношення розмірів осей еліпса і по ній судити про можливість сприйняття оком спостерігача деформації форми в зображенні круглої марки, обумовленою астигматичною різницею рефракцій.

2.4 Порядок перевірки діоптриметра ДО-3

1. Перевірочні лінзи. Для перевірки на відповідність вимогам слід використовувати перевірочні лінзи по ISO 9342 [8], стигматичні перевірочні лінзи повинні бути центровані на оптичній осі діоптриметра.

2. Перевірка допустимих відхилень вершинної рефракції та призматичної дії. Для перевірки допустимих відхилень по вершинної рефракції і призматичним дії слід використовувати сферичні перевірочні лінзи. Початкове калібрування діоптриметра і метрологічна перевірка повинні здійснюватися з використанням всіх повірочних лінз, номінали яких потрапляють в діапазон вимірювань приладу. Для повторної перевірки калібрування діоптриметра досить двох лінз не менше плюс 10 дптр і мінус 10 дптр.

3. Перевірка маркера осі і опорної планки. Для перевірки маркера осі і опорної планки на відповідність вимогам необхідно використовувати циліндричну повірочну лінзу. Маркер осі перевіряють по горизонтальній осі симетрії повірочної лінзи. Для перевірки маркера осі і опорної планки діоптриметра допускається використання повірочної призми, при цьому маркер осі перевіряють по головному перетину повірочної призми. Примітка: кутове відхилення маркованої (пунктирною) лінії від осі симетрії повірочної лінзи є кутовою неузгодженістю опорної планки і маркера осі.

4. Перевірка маркера оптичного центру. Для перевірки маркера оптичного центру на відповідність вимогам повинна використовуватися або сферична повірочна лінза не менше плюс 15 дптр, або циліндрична повірочна лінза в поєднанні з методиками, зазначеними нижче. Діоптриметр повинен

					ВР 485.00.00.000 ПЗ	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відповідати вимогам, що допускаються щодо відхилень показів призматичної дії

5. Методика застосування сферичної повірочної лінзи. Центрують стигматичну повірочну лінзу так, щоб виміряне значення призматичного відхилення дорівнювало нулю, потім маркують її маркером осі. Повертають сферичну лінзу на 180° , знову центрують по нулю призменних діоптрій і повторно маркують. Відстань між центрами центрових маркувань при першому і другому вимірюванні не повинно перевищувати подвоєного значення допустимого відхилення

6. Методика застосування циліндричної повірочної лінзи. Поміщають циліндричну повірочну лінзу на опорну планку і центрують її таким чином, щоб виміряне значення призматичної дії дорівнювало нулю. Потім маркують циліндричну повірочну лінзу маркером осі. Повертають лінзу на 90° , знову центрують її по нулю призматичних діоптрій і повторно маркують. Відстані точкових міток від осі симетрії циліндричної повірочної лінзи представляють векторні складові відхилення маркера осі від оптичної осі діоптриметра. Абсолютне значення цього вектора не повинно перевищувати допустимих відхилень

7. Перевірка кутової шкали. Для повірки кутової шкали діоптриметра поміщають циліндричну лінзу на підставку так, щоб її довга сторона торкалася опорної планки. Після фокусування по нульовому головному меридіональному перетину переміщують повірочну лінзу разом з опорною планкою так, щоб різка горизонтальна лінія тест-об'єкта проходила через центр кутової шкали. Кутове відхилення цієї лінії від напрямку 0° - 180° кутової шкали, що представляє собою кутову відстань між опорною планкою і кутовою шкалою, не повинно виходити за межі $\pm 1^\circ$.

8. Спеціальні методики для окулярних діоптриметрів.

Методика фокусування: замінюють повіряему лінзу листком паперу і фокусують перехрестя окуляра. Потім видаляють папір і фокусують зображення марки в вимірювальному приладі.

					ВР 485.00.00.000 ПЗ	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перевірка паралакса: Після фокусування перехрестя і марки переходять до повірки паралакса. Спостерігач переміщує кут з боку в бік над окуляром. Під час цього руху зображення марки на пластині не повинно зміщуватися щодо перехрестя.

					ВР 485.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

РОЗДІЛ 3

СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Аналіз похибки вимірювання рефракції очкових лінз за допомогою окулярного діоптриметра

Згідно ймовірнісним законам складання помилок [9], сумарна величина похибки вимірювання задньої вершинної рефракції $\Delta F'_{V\Sigma}$ на окулярному діоптриметрі визначиться по формулі (3.1):

$$\Delta F'_{V\Sigma} = \sqrt{\Delta F'_{Vc_x}{}^2 + \Delta F'_{VIII}{}^2}, \quad (3.1)$$

де $\Delta F'_{Vc_x}{}^2$ – схемна похибка вимірювання;

$\Delta F'_{VIII}{}^2$ – похибка вимірювання, обумовлена помилками виготовлення і юстування приладу.

Оскільки шкали рефракцій спостерігаються через оптичну систему, то саме первинні помилки останньою і впливають на сумарну похибку вимірювання. Похибки механізму переміщення марки коліматора і шкали рефракцій не роблять впливу на похибку вимірювання, оскільки він виконує не вимірювальну, а несучу функцію. Від цього механізму потрібна лише плавність переміщення і достатня кінематична чутливість. У діоптриметрах із зовнішньою шкалою рефракцій, нанесеною на маховичку механізму переміщення марки коліматора, необхідно враховувати похибку останнього.

Отже, основними первинними похибками при вимірюванні величин задньої вершинної рефракції очкових лінз на окулярному діоптриметрі типу ДО-3 є наступні:

1. похибка фокусної відстані $\Delta f'_K$ об'єктиву коліматора;
2. похибка встановлення Δd очкової лінзи уздовж оптичної осі діоптриметра;

					ВР 485.00.00.000 ПЗ	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. похибка нанесення поділок Δz на шкалі задньої вершинної рефракції;
4. похибка зняття відліку по шкалах задньої вершинної рефракції;
5. паралакс між зображеннями шкал;
6. неузгодження масштабів шкал.

Виведемо формули для розрахунку відповідних часткових похибок.

Часткова помилка, обумовлена похибкою фокусної відстані об'єктиву коліматора. Вираз для її розрахунку виводиться шляхом диференціювання функції по фокусній відстані об'єктиву коліматора з подальшою заміною диференціалів їх приростами (3.2):

$$\Delta F'_{V\Delta f'_K} = \frac{2000 \cdot z_1}{f_K^3} \Delta f'_K. \quad (3.2)$$

Часткова помилка, обумовлена похибкою установки очкової лінзи уздовж оптичної осі діоптриметра. Продиференціювавши функцію по величині b , замінивши диференціали їх приростами і позначивши $\Delta b = \Delta d$, отримаємо (3.3):

$$\Delta F'_{V\Delta d} = \frac{1000 \cdot z_1^2}{(f_K^2 - bz)^2} \Delta d. \quad (3.3)$$

Далі вважаючи, що $b = 0$, отримаємо остаточний вираз для шуканої часткової похибки (3.4):

$$\Delta F'_{V\Delta d} = \frac{1000 \cdot z_1^2}{f_K^4} \Delta d. \quad (3.4)$$

Часткова помилка, обумовлена похибкою нанесення поділок на шкалі задньої вершинної рефракції. Провівши диференціювання функції, отримаємо (3.5):

$$\Delta F'_{V\Delta z} = \frac{1000}{f_K'^2} \Delta z. \quad (3.5)$$

Часткова помилка, обумовлена похибкою зняття відліку по шкалах задньої вершинної рефракції. Тут можливі дві первинні помилки – помилка через похибки поєднання двох ліній і помилка при знятті дробових доль. Розглянемо випадок, коли спостерігачеві здається, що зображення штрихів двох шкал рефракцій суміщені точно. При цьому він може допустити похибку вимірювання, обумовлену обмеженою чутливістю ока до поєднання двох ліній. Величина похибки поєднання двох ліній може досягати 1' за окуляром приладу. Замінюючи відлікову систему еквівалентною лупою, можна легко визначити похибку Δz , що викликається при цьому, в установці шкали рефракцій. Враховуючи, що в даній схемі еквівалентна фокусна відстань відлікового мікроскопа (3.6):

$$f'_M = \frac{f'_{OK}}{\beta_7 \cdot \beta_{9,10}}. \quad (3.6)$$

Отримаємо (3.7):

$$\Delta z = f'_M \cdot \text{tg}1' = \frac{f'_{OK}}{\beta_7 \cdot \beta_{9,10}} \text{tg}1'. \quad (3.7)$$

Підставляючи останній вираз у формулу (3.5), отримаємо формулу для розрахунку шуканої часткової похибки (3.8):

					ВР 485.00.00.000 ПЗ	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta F'_{VOOT} = \frac{1000 f'_{OK} \cdot tg 1'}{f_K'^2 \beta_7 \cdot \beta_{9,10}}. \quad (3.8)$$

Якщо у відліковій системі $\beta_7 = \beta_{9,10} = -1$, то отримаємо (3.9):

$$\Delta F'_{VOOT} = \frac{0,3 f'_{OK}}{f_K'^2}. \quad (3.9)$$

Часткова помилка, обумовлена паралаксом між зображеннями двох шкал рефракцій. Визначимо часткову помилку, виходячи з умови, що видимий зсув показів двох шкал за окуляром при зсуві зіниці ока спостерігача перпендикулярно оптичній осі в межах вихідної зіниці системи не повинен перевищувати половини ширини зображення штриха шкали рефракцій. Наявність паралакса викличе часткову помилку у вимірюванні рефракцій, величина якої визначається аналогічно формулі (3.9), при цьому поперечний паралакс в площині показів зображень двох шкал рефракцій в просторі предметів окуляра, віднесений до площини шкали рефракцій, а саме він і прийнятий рівним половині ширини штриха шкали рефракцій, тобто (3.7):

$$\Delta F'_{ВППА} = \frac{500 \cdot b}{f_K'^2}, \quad (3.10)$$

де b – ширина штриха шкали рефракцій.

Якщо видимий зсув штрихів двох шкал не повинно перевищувати не половину ширини зображення штриха шкали рефракцій, а k -ту частину, то остання формула матиме вигляд (3.11):

$$\Delta F'_{\text{ВППА}} = \frac{1000 \cdot kb}{f_K'^2}. \quad (3.11)$$

Оскільки ширина поділок шкал розраховується так, щоб їх кутова величина за окуляром лежала в межах $2' \div 4'$, то паралакс в кутовій мірі за окуляром не повинен перевищувати (3.12):

$$\Delta \varphi'_{\text{ПАР}} = k(2' \div 4'). \quad (3.12)$$

Це дозволяє визначити лінійний паралакс Δ (3.13) в зображенні даних шкал в просторі предметів окуляра таким чином (рис. 3.1):

$$\Delta = \frac{f'_{\text{ОК}} \cdot \Delta \varphi'_{\text{ПАР}}}{2 \text{tg} \sigma_{\text{ОК}}} = \frac{kb'}{2 \text{tg} \sigma_{\text{АОО}}} = \frac{f'_{\text{ОК}} kb \cdot \beta_7 \cdot \beta_{11}}{D'}. \quad (3.13)$$

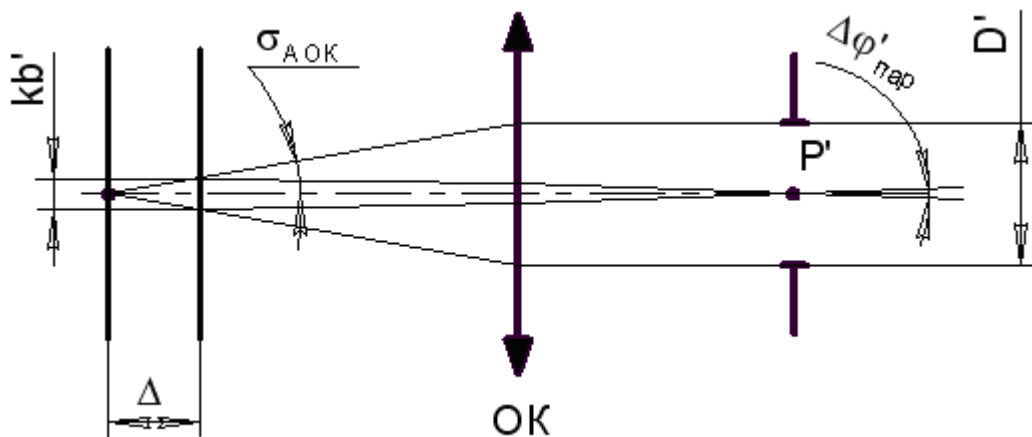


Рисунок 3.1 – До розрахунку лінійного паралакса

Враховуючи що $b = f'_{\text{ОК}} \text{tg}(2' \div 4')$, то вийде (3.14):

$$\Delta = \frac{f'_{\text{ОК}} \cdot \beta_7 \cdot \beta_{11} \cdot k \cdot \text{tg}(2' \div 4')}{D'}, \quad (3.14)$$

а при $\beta_7 = \beta_{11} = -1$ та прийнятому допуску на паралакс ($k = 0,5$ – видимий зсув поділок шкал не перевищує половини ширини шкали рефракцій) формула прийме простий вигляд (3.15):

$$\Delta = \frac{f'_{OK}{}^2 (0,3 \div 0,6)}{1000D'} \quad (3.15)$$

Для розрахованого прикладу оптичної схеми окулярного діоптриметра вийде:

$$\Delta = 0,06 \div 0,12 \text{ мм.}$$

Підставивши у формулу (3.14) величину kb з формули (3.15), отримаємо зв'язок між лінійним паралаксом і похибкою вимірювання рефракції (3.16):

$$\Delta F'_{VIII} = \frac{1000 \cdot D' \Delta}{f_K'^3 \cdot \beta_7 \cdot \beta_{11}}, \quad (3.16)$$

де Δ – лінійний паралакс між зображеннями двох шкал рефракцій в просторі предметів окуляра.

Часткова помилка, обумовлена неузгодженням масштабів шкал. Як вже мовилося, в процесі збірки і юстування узгодження масштабів шкал проводиться розворотом шкал точного відліку, і оскільки ця юстувальна операція проводиться теж з якоюсь похибкою, то остання і викличе відповідну часткову помилку у вимірюванні рефракцій, величина якої може бути розрахована аналогічно формулі (3.17):

$$\Delta F'_{VOOT} = \frac{1000 f'_{OK} \cdot \text{tg} \psi}{f_K'^2 \cdot \beta_7 \cdot \beta_{9,11}}, \quad (3.17)$$

де ψ – похибка поєднання зображення двох ліній в кутовій мірі за окуляром приладу.

Необхідно відзначити, що часткові помилки, визначувані формулами (3.5) і, зростають у міру збільшення абсолютної величини рефракції вимірюваної лінзи.

Тому весь діапазон рефракцій ділиться на декілька піддіапазонів, і для кожного з них проводиться розрахунок на точність.

Результати розрахунку величин часткових похибок в діапазоні вимірювання задніх вершинних рефракцій від -6 дптр до +6 дптр зведені в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Розрахунок на точність окулярного діоптриметра в діапазоні 0-6 дптр

Первинна помилка			Часткова похибка	
Найменування	Позначення	Величина	Розрахункова формула	Значення, <i>дптр</i>
1	2	3	4	5
Похибка фокусної відстані об'єктиву коліматора	$\Delta f'_K$	0,08 мм	$\Delta F'_{V\Delta f'_K} = \frac{2000 \cdot z_1}{f'_K{}^3} \Delta f'_K$	0,030
Похибка встановлення очкової лінзи уздовж оптичної осі діоптриметра	Δd	0,1 мм	$\Delta F'_{V\Delta d} = \frac{1000 \cdot z_1^2}{f'_K{}^4} \Delta d$	0,0036

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5
Похибка нанесення поділок на шкалі задньої вершинної рефракції	Δz	0,01 мм	$\Delta F'_{V\Delta z} = \frac{1000}{f_K'^2} \Delta z$	0,010
Похибка зняття відліку по шкалах задньої вершинної рефракції	ψ	1'	$\Delta F'_{VOOT} = \frac{1000 f'_{OK} \cdot \text{tg} \psi}{f_K'^2 \beta_7 \cdot \beta_{9,10}}$	0,006
Паралакс в зображенні двох шкал рефракцій (у долях k від ширини b штриха рефракцій)	kb	0,5x0,02 мм	$\Delta F'_{VPIA} = \frac{1000 \cdot kb}{f_K'^2}$	0,010
Неузгодження масштабів шкал	ψ	1'	$\Delta F'_{VOOT} = \frac{1000 f'_{OK} \cdot \text{tg} \psi}{f_K'^2 \beta_7 \cdot \beta_{9,10}}$	0,006

При цьому величини первинних помилок прийняті на економічному рівні точності, окрім похибки величини фокусної відстані об'єктиву коліматора. Для даного числового прикладу величина схемної похибки при діаметрі апертурної діафрагми у візуальному каналі діоптриметра, рівному 7 мм, складе:

$$\Delta F'_{VCH} = 0,0156 \text{ дптр.}$$

Найбільш вірогідне значення сумарної помилки вимірювання задньої вершинної рефракції в діапазоні вимірювання від -6 дптр до $+6 \text{ дптр}$ визначиться як корінь квадратний з суми квадратів всіх часткових помилок, включаючи схемну, тобто (3.18):

$$\Delta F'_{V\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta F'_i}, \quad (3.18)$$

де n – число часткових похибок і складе при заданих допусках на первинні помилки $\Delta F'_{V\Sigma} = 0,038 \cong 0,04$ дптр.

Якщо ж просто підсумувати всі часткові помилки, то вийде $0,082$ дптр – максимальна похибка визначення рефракції у вказаному діапазоні. Аналогічним чином проводиться розрахунок і для інших діапазонів вимірювання задньої вершинної рефракції. З таблиці 3.1 випливає, що найбільша часткова похибка викликається відхиленням фокусної відстані об'єктиву коліматора від розрахункової величини. Відхилення фокусної відстані об'єктиву коліматора, що допускається, в таблиці 3.1 прийняте $0,25\%$, що перевищує допустиме відхилення, що забезпечується на економічному рівні точності для двохлінзових склеєних об'єктивів. Саме тому в розрахунковому прикладі передбачено виконання об'єктиву коліматора з двох склеєних компонентів, що дозволяє при юстуванні, регулюючи відстань між ними, точніше витримувати величину фокусної відстані об'єктиву коліматора. При розробці методики юстування об'єктиву коліматора неминуче встануть наступні питання: Яка повинна бути чутливість юстувального переміщення при регулюванні фокусної відстані об'єктиву? Що більше: величина переміщення або викликана нею зміна фокусної відстані? Відповідь на ці питання можна отримати простим способом, розглянувши формулу (3.19):

					ВР 485.00.00.000 ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$f'_6 = \frac{f'^2}{2f' - d}. \quad (3.19)$$

Для еквівалентної фокусної відстані системи з двох однакових тонких компонентів, фокусна відстань кожного з яких f' , розташованих на відстані d уздовж оптичної осі, диференціюючи її по величині d і замінивши диференціали їх приростами (3.20):

$$\Delta f' = \frac{f'^2}{(2f' - d)^2} \Delta d. \quad (3.20)$$

Знак «мінус» в останній формулі опущений, оскільки приріст Δd може бути як з плюсом, так і з мінусом. Оскільки відстань d значно менше фокусної відстані кожного компонента, то, вважаючи в останній формулі його рівним нулю, отримаємо (3.21):

$$\Delta f' \cong \Delta d / 4. \quad (3.21)$$

Отже, змінювати відстань між компонентами необхідно на величину, приблизно в 4 рази більшу, ніж необхідна величина регулювання фокусної відстані об'єктиву. Точні значення величин переміщень визначаються розрахунком на комп'ютері фокусних відстаней об'єктиву коліматора при зміні відстані між компонентами з кроком, наприклад, 0,1 мм. При проведенні розрахунку на точність неминуче встає питання про вимоги до механізму переміщення шкали рефракцій. Оскільки шкала рефракцій безпосередньо сполучена з рухомою маркою коліматора, то похибки механізму переміщення не роблять впливу на точність вимірювання рефракцій. До механізму пред'являються наступні вимоги: плавність ходу, відсутність мертвого ходу і достатня кінематична чутливість. У деяких

моделях діоптриметрів шкала рефракцій наноситься на маховичку механізму переміщення марки коліматора. У них, звичайно ж, не потрібна оптична відлікова система, а похибки виготовлення і складання механізму переміщення робитимуть вплив на точність вимірювання вказаної величини. Величина кінематичної чутливості механізму переміщення марки повинна бути узгоджена з похибкою встановлення марки коліматора, обумовленою обмеженою чутливістю ока спостерігача до подовжніх установок. Якщо k – кінематична чутливість механізму в *мм/град*, а мінімальне переміщення марки в n разів менше похибки Δz_1 , то, очевидно, повинне виконуватися наступне співвідношення (3.22):

$$\frac{\Delta z_1}{n} = \frac{180 \cdot \Delta l_{ПОР}}{\pi r} k, \quad (3.22)$$

де $\Delta l_{ПОР}$ – мінімальна величина лінійного переміщення пальців руки спостерігача;

r – радіус маховичка механізму переміщення марки.

З останнього співвідношення може бути розрахована необхідна величина кінематичної чутливості механізму (3.23):

$$k = \frac{\pi r \cdot \Delta z_1}{180 n \cdot \Delta l_{ПОР}}. \quad (3.23)$$

Оскільки $\Delta l_{ПОР} = (0,2 \div 0,5)$ мм, то, задавшись, наприклад, $\Delta z_1 = 0,02$ мм, $r = 20$ мм, і $n = 1 \div 5$, можна визначити по останній формулі величину кінематичної чутливості. Вона повинна знаходитися в межах від 0,035 до 0,003 мм/град. Отже, при величині переміщення шкали, рівної 55 мм, маховичок повинен здійснювати не менше $55 / (0,35 \cdot 360) \approx 4$ обертів.

					ВР 485.00.00.000 ПЗ	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній роботі вирішено важливе практичне завдання, а саме розроблено методику повірки та виконано аналіз похибки вимірювання рефракції очкових лінз за допомогою окулярного діоптриметра ДО-3.

У роботі отримано наступні результати:

1. Описано технічні характеристики та службове призначення окулярного діоптриметра ДО-3. Це дало змогу встановити найбільш визначальні параметри, які суттєво впливатимуть на якість вимірювання даним приладом та розробити його методику повірки та провести аналіз похибки вимірювання.

2. Проведено аналіз існуючих аналогів окулярного діоптриметра ДО-3, що дозволило застосувати методику повірки для більш ширшої групи подібних за принципом роботи та характеристиками приладів, в тому числі векторних генераторів сигналів.

3. Описано функціональні особливості та фізичні перетворення, які покладено в основу роботи окулярного діоптриметра ДО-3. Це дало змогу підібрати засоби повірки для розроблення методики повірки окулярного діоптриметра ДО-3 та решти подібних за принципом роботи групи приладів.

4. В другому розділі описано принцип роботи окулярного діоптриметра ДО-3 на основі оптичної схеми та складального креслення. Також описано методику застосування приладу в лабораторних умовах.

5. Проведено розрахунок візирного каналу окулярного діоптриметра ДО-3, що дало змогу застосовувати для повірки більш ширший спектр засобів повірки.

6. Розроблено методику повірки окулярного діоптриметра ДО-3.

7. В спеціальній частині виконано аналіз похибки вимірювання рефракції очкових лінз за допомогою окулярного діоптриметра ДО-3.

					ВР 485.00.00.000 ПЗ	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛА

1. Діоптриметр ДО-3. URL: <https://www.medoptika.com.ua/dioptrimetr-do-3-b-y-assortiment-d1070-1.htm?tab=description> (дата звернення: 23.04.26).
2. Діоптриметр Shin-Nippon-LM-15. URL: <https://auctions.britishmedicalauctions.co.uk/lot-details/index/catalog/718/lot/141140/Shin-Nippon-LM-15-Lensmeter-Powers-Up-when-Tested-with-Stock-Power-Supply-Power-Supply-Not-Included> (дата звернення: 23.04.26).
3. Діоптриметр Shin-Nippon-LM-15. URL: https://remma.fr/en/model/lm-25-lensmeter?srsId=AfmBOopS5kYmAYgLsD_MtM0h2ELW11BhFVksC4XIg40q-E2IBQuyzK1 (дата звернення: 23.04.26).
4. Діоптриметр Topcon LM-8. URL: <https://medicus.ua/product/topcon-lm-8/> (дата звернення: 23.04.26).
5. Титаренко В. В. Оптика: навч. посіб. / В. В. Титаренко, В. М. Горєв, А. М. Турінов. Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». Дніпро: НТУ «ДП», 2025. 148 с.
6. Паспорт на прилад діоптриметр окулярний ДО-3.
7. Оптичні калькулятори. URL: <https://wavelength-oe.com/uk/optical-calculators/> (дата звернення 1.06.26).
8. Наказ Верховної Ради України «Про затвердження Порядку проведення перевірки законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації, та оформлення її результатів». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0278-16%23Text> (дата звернення 1.06.26).
9. Навчально-методичний посібник з дисципліни «Похибки та невизначеності вимірювань» для здобувачів освітнього ступеня «магістр» зі спеціальності 175 Інформаційно-вимірювальні технології усіх форм навчання

/ Р. В. Трембовецька, В. Я. Гальченко, В. В. Тичков, Д. Г. Матвієнко. Черкас.
держ. технол. ун-т. Черкаси: ЧДТУ, 2024. 254 с.

					ВР 485.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65