

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи

бакалавра

на тему: **Метрологічне забезпечення калібрувальної лабораторії засобів
вимірювання фотометричних параметрів**

Виконав: студент 4 курсу, групи МТ-5

Спеціальності: 152 «Метрологія та
інформаційно-вимірювальна техніка»

Коваль Данило Олександрович

(прізвище та ініціали)

Керівник: доцент кафедри ІВТ

кандидат технічних наук, доцент

Чепюк Л.О.

(науковий ступінь, вчене звання, посада, прізвище та ініціали)

Рецензент: _____

(науковий ступінь, вчене звання, посада, прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

Спеціальність 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри інформаційно-
вимірювальних технологій

д.т.н., професор Подчашинський Ю.О.

« _____ » _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу бакалавра

Студент _____ Коваль Данило Олександрович

1. Тема роботи: Метрологічне забезпечення калібрувальної лабораторії засобів вимірювання фотометричних параметрів

Керівник роботи: доцент кафедри ІВТ кандидат технічних наук, доцент
Чепюк Л.О.

затверджена наказом по університету від « 22 » квітня 2026 р. № 175/с

2. Термін здачі закінченої роботи на кафедру « 10 » червня 2025р.

3. Вихідні дані до роботи: аналіз методів вимірювання фотометричних параметрів, аналіз нормативної документації про калібрування приладів для вимірювання фотометричних параметрів

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які підлягають розробці)
огляд та аналіз методів вимірювання фотометричних параметрів, розробка методики калібрування приладів для вимірювання фотометричних параметрів, розробка процедури калібрування приладів для вимірювання фотометричних параметрів

5. Перелік графічного матеріалу (з точним визначенням обов'язкових креслень)
Протоколи проведення калібрування приладів для вимірювання фотометричних параметрів

6. Консультанти з кваліфікаційної роботи бакалавра із зазначенням розділів роботи, що їх стосуються

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Узгодження технічного завдання	25.02.26 – 15.03.26	Виконано
2	Огляд та аналіз методів вимірювання фотометричних параметрів	25.02.26 – 15.03.26	Виконано
3	Аналіз приладів для вимірювання фотометричних параметрів	16.03.26 – 15.04.26	Виконано
4	Розробка методики калібрування приладів для вимірювання фотометричних параметрів	16.04.26 – 09.05.26	Виконано
5	Опис процедури калібрування приладів для вимірювання фотометричних параметрів	09.05.26 – 02.06.26	Виконано
6	Оформлення пояснювальної записки та презентаційного матеріалу	03.06.26 – 17.06.26	Виконано

Студент

(підпис)

Керівник роботи

(підпис)

Коваль Д.О.

(прізвище та ініціали)

Чепюк Л. О.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

В даній кваліфікаційній роботі виконано розробку методики калібрування приладів для вимірювання фотометричних параметрів. Розроблено систему, що дозволяє автоматизувати процес калібрування фотометрів та спектрофотометрів. Дану методику можна використовувати в метрологічних калібрувальних лабораторіях для пришвидшення і полегшення процесу роботи інженерів-метрологів.

Ключові слова: калібрування, фотометр, спектрофотометр, вимірювання.

ABSTRACT

The method of calibration of instruments for measuring photometric parameters was developed In this qualification work. A system has been developed that allows automating the process of calibrating photometers and spectrophotometers. This technique can be used in metrological calibration laboratories to speed up and facilitate the work process of metrological engineers.

Keywords: calibration, photometer, spectrophotometer, measurement.

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота представлена пояснювальною запискою в обсязі 79 сторінок формату А4, записка містить вступ, основну частину, що складає вісім розділів, висновки, список використаних джерел та додатків. Темою роботи є розробка метрологічного забезпечення калібрувальної лабораторії засобів вимірювання фотометричних параметрів.

Перший розділ містить завдання на розробку, а саме: умови експлуатації та вимоги до метрологічного забезпечення.

Другий розділ містить законодавчі вимоги до діяльності системи технічного регулювання.

Третій розділ містить загальний огляд основ молекулярної спектроскопії.

Четвертий розділ містить огляд основних існуючих приладів для спектрофотометрії і фотометрії.

П'ятий розділ містить методику калібрування приладів для вимірювання фотометричних параметрів.

Шостий розділ містить опис процедури калібрування.

Сьомий розділ містить

У сьомому розділі розглянуті питання техніки безпеки і охорони праці при роботі в метрологічній установі.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1.ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ.....	9
1.1. Підстава для розробки, призначення та галузь застосування	9
1.2. Умови експлуатації.....	9
1.3. Вимоги до технічних характеристик.....	9
2. ЗАКОНОДАВЧІ ВИМОГИ ДО ДІЯЛЬНОСТІ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ	10
3. МОЛЕКУЛЯРНА СПЕКТРОСКОПІЯ (ФОТОМЕТРІЯ, СПЕКТРОФОТОМЕТРІЯ)	14
4. ПРИЛАДИ ДЛЯ СПЕКТРОФОТОМЕТРІЇ І ФОТОМЕТРІЇ	23
4.1. Огляд провідних виробників спектрофотометрів та фотометрів	23
4.2.Цифровий фотоелектроколориметр AP-120.....	25
4.3.Спектрофотометр цифровий PD-307S Apel	28
4.4.Колориметр фотоелектричний концентраційний КФК-2	30
4.5.Фотометр фотоелектричний КФК-3-01	38
5. МЕТОДИКА КАЛІБРУВАННЯ ПРИЛАДІВ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ФОТОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ	46
5.1. Сфера призначення	46
5.2. Операції та засоби калібрування	47
5.3. Умови проведення калібрування.....	49
6. ОПИС ПРОЦЕДУРИ КАЛІБРУВАННЯ	51
6.1. Проведення вимірювань та визначення показів при калібруванні спектрофотометрів	51

					<i>МІМТ.480.011.844 – ПЗ</i>		
<i>Вим</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Метрологічне забезпечення калібрувальної лабораторії засобів вимірювання фотометричних параметрів Пояснювальна записка</i>		
<i>Розроб.</i>		<i>Коваль Д.О.</i>					
<i>Перевір.</i>		<i>Чепюк Л.О.</i>					
<i>Реценз.</i>							
<i>Н. Контр.</i>		<i>Чепюк Л.О.</i>					
<i>Затверд.</i>		<i>Подчашинський Ю</i>					
					<i>Лім.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
						6	74
					<i>Державний університет «Житомирська політехніка», гр. МТ-5</i>		

6.1.1. Вимірювання значення спектрального коефіцієнта пропускання T_λ , та спектрального значення оптичної щільності D при калібруванні спектрофотометрів.....	51
6.1.2. Вимірювання точності встановлення приладом довжини хвилі.....	52
6.1.3. Модельне рівняння	53
6.2. Проведення вимірювань та визначення показів при калібруванні фотоелектроколориметрів, фотометрів загального призначення	56
6.3. Проведення вимірювань та визначення показів при калібруванні приладів перевірки рівня димності ДТЗ з дизельними двигунами та димомірів.....	61
6.4. Проведення вимірювань та визначення показів при калібруванні вимірювачів світлопропускання скла	65
6.4.1. Вимірювання коефіцієнту світлопропускання скла	65
6.4.2. Процедура оцінки невизначеності вимірювань	66
6.5. Проведення вимірювань та визначення показів при калібруванні денситометрів	69
6.5.1. Вимірювання оптичної густини	69
6.5.2. Процедура оцінки невизначеності вимірювань	69
7. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ.....	73
ВИСНОВКИ.....	77
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	78
ДОДАТКИ.....	80

ВСТУП

Актуальність теми. Однією зі складових системи технічного регулювання є метрологічна система України, яка забезпечує єдність вимірювань у державі і створює умови для захисту громадян і національної економіки від наслідків недостовірних результатів вимірювань. Нормативно-правова база метрологічної системи чинний Закон України „ Про метрологію та метрологічну діяльність”. Метрологічним наглядом є діяльність, яка провадиться у сфері законодавчо регульованої метрології з метою перевірки додержання суб'єктами господарювання вимог цього Закону, технічних регламентів та інших нормативно-правових актів у сфері метрології та метрологічної діяльності.

Об'єктом дослідження є методологічна база для проведення випробування засобів вимірювальної техніки .

Предметом дослідження є нормативна база, що використовуються у роботі випробувального центру та калібрувальної лабораторії;

Метою даної роботи є розробка алгоритмічно-програмного забезпечення, що реалізують створення методологічної та нормативної документації для роботи випробувальних центрів та калібрувальних лабораторій.

Галуззю використання результатів наукової роботи, представлених в виді програмних розробок, є лабораторії, що потребують в своїй діяльності проводити періодичну перевірку правильності результатів роботи. Отримані результати є важливим для підвищення якості продукції та послуг, параметри якої контролюються на основі процедур вимірювань фізичних величин, автоматизації вимірювальних процедур та створення швидкодіючих прецизійних засобів вимірювання фізичних величин, що можуть бути використані в промисловості, транспорті та для контролю екологічних параметрів довкілля.

					МІМТ.480.011.844 – ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

1.1. Підстава для розробки, призначення та галузь застосування

Підставою для розробки є завдання на дипломне проектування.

Метою роботи є розробка методологічних заходів та алгоритмічно-програмного забезпечення, що реалізують створення методологічної та нормативної документації для роботи лабораторії з калібрування фотометрів.

Початок розробки – лютий 2026 р. Кінець розробки – червень 2026 року.

1.2. Умови експлуатації

1.2.1. Температура зовнішнього середовища від 0 до +45 °С

1.2.2. Відносна вологість не більше 80%

1.2.3. Атмосферний тиск 600-800 мм. рт. ст.

1.3. Вимоги до технічних характеристик

Розробити методику калібрування приладів для вимірювання фотометричних параметрів:

- вибрати засоби калібрування;
- проведення вимірювань та визначення показів при калібруванні спектрофотометрів;
- проведення вимірювань та визначення показів при калібруванні фотоелектроколориметрів, фотометрів загального призначення;
- проведення вимірювань та визначення показів при калібруванні приладів перевірки рівня димності ДТЗ з дизельними двигунами та димомірів;
- проведення вимірювань та визначення показів при калібруванні вимірювачів світлопропускання скла;
- проведення вимірювань та визначення показів при калібруванні денситометрів;

					МІМТ.480.011.844 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

2. ЗАКОНОДАВЧІ ВИМОГИ ДО ДІЯЛЬНОСТІ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ

У Законі України «Про метрологію та метрологічну діяльність» дано визначення основних термінів щодо діяльності метрологічних калібрувальних лабораторій:

1) вторинний еталон - еталон, установлений шляхом калібрування за первинним еталоном для величини того самого роду;

2) державний еталон - первинний або вторинний еталон, що перебуває в державній власності;

3) експертна перевірка засобів вимірювальної техніки - перевірка, яка проводиться у разі виникнення спірних питань щодо метрологічних характеристик, придатності до застосування і правильності експлуатації засобів вимірювальної техніки;

4) еталон - реалізація визначення даної величини із встановленим значенням величини та пов'язаною з ним невизначеністю вимірювання, що використовується як основа для порівняння. Еталони можуть бути первинними, вторинними та робочими;

5) єдність вимірювань - стан вимірювань, за якого їх результати виражаються в одиницях вимірювання, визначених цим Законом, а характеристики похибок або невизначеності вимірювань відомі з певною ймовірністю і не виходять за встановлені границі;

6) засоби вимірювальної техніки - засоби вимірювань, вимірювальні системи, матеріальні міри, стандартні зразки та будь-які частини засобів вимірювань або вимірювальних систем, якщо ці частини можуть бути об'єктом спеціальних вимог та окремого оцінювання відповідності;

9) калібрувальна лабораторія - підприємство, організація або їх відокремлений підрозділ, що здійснює калібрування засобів вимірювальної техніки;

					МІМТ.480.011.844 – ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10) калібрування - сукупність операцій, за допомогою яких за заданих умов на першому етапі встановлюється співвідношення між значеннями величини, що забезпечуються еталонами з притаманними їм невизначеностями вимірювань, та відповідними показами з пов'язаними з ними невизначеностями вимірювань, а на другому етапі ця інформація використовується для встановлення співвідношення для отримання результату вимірювання з показу;

11) категорія законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки - сукупність законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки того самого призначення;

12) метрологічна діяльність - діяльність, пов'язана із забезпеченням єдності вимірювань;

13) метрологічна простежуваність (простежуваність) - властивість результату вимірювань, яка полягає в тому, що цей результат може бути пов'язаний з еталоном через задокументований нерозривний ланцюг калібрувань, кожне з яких робить свій внесок у невизначеність вимірювання;

14) метрологія - наука про вимірювання та їх застосування;

16) первинний еталон - еталон, установлений з використанням первинної референтної методики вимірювань або створений як артефакт, обраний за угодою;

17) періодична повірка засобів вимірювальної техніки - повірка, що проводиться протягом періоду експлуатації засобів вимірювальної техніки через встановлений проміжок часу (міжповірочний інтервал);

18) повірка засобів вимірювальної техніки - сукупність операцій, що включає перевірку та маркування та/або видачу документа про повірку засобу вимірювальної техніки, які встановлюють і підтверджують, що зазначений засіб відповідає встановленим вимогам;

					МІМТ.480.011.844 – ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

19) повірочна лабораторія - підприємство чи організація або їх відокремлений підрозділ, що проводить повірку засобів вимірювальної техніки;

В статті 27 Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність» вказано, що:

1. Калібруванню в добровільному порядку можуть підлягати засоби вимірювальної техніки, які застосовуються у сфері та/або поза сферою законодавчо регульованої метрології. Калібруванню також підлягають вторинні та робочі еталони.

2. Калібрування засобів вимірювальної техніки проводиться:

- науковими метрологічними центрами;
- метрологічними центрами, калібрувальними лабораторіями, акредитованими національним органом України з акредитації;
- метрологічними центрами, калібрувальними лабораторіями, які мають документально підтверджену простежуваність своїх еталонів до національних еталонів, еталонів інших держав або міжнародних еталонів відповідних одиниць вимірювання.

Калібрування вторинних та робочих еталонів проводиться в порядку, встановленому нормативно-правовим актом центрального органу виконавчої влади, що забезпечує формування державної політики у сфері метрології та метрологічної діяльності. Калібрування та оформлення його результатів проводяться відповідно до національних стандартів, гармонізованих з відповідними міжнародними та європейськими стандартами, та документів, прийнятих міжнародними та регіональними організаціями з метрології.

Як і будь яка діяльність, метрологічна теж вимагає якісного виконання та належного контролю. Тому методологія виконання робіт є важливим чинником при калібруванні, випробуванні та повірках. Саме тому, виконання метрологічних робіт вимагає чіткого дотримання методології виконання

					МІМТ.480.011.844 – ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вимірювань та протоколювання результатів, також, вимагається періодична перевірка правильності виконання вимірювань та проведення обрахунків.

Такі роботи потребують автоматизації, з метою максимального переведення процесу обрахунків, і формування протоколів і звітних документів на програмне забезпечення, для зменшення кількості помилок.

Тому, актуальним є створення автоматизованого робочого місця (АРМ) інженера-метролога для підвищення якості виконання робіт.

					МІМТ.480.011.844 – ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. МОЛЕКУЛЯРНА СПЕКТРОСКОПІЯ (ФОТОМЕТРІЯ, СПЕКТРОФОТОМЕТРІЯ)

До фізичних методів дослідження відносяться: визначення показників заломлення (рефрактометрія), оптичного обертання (поляриметрія); спектрофотометрія - ультрафіолетова, інфрачервона; фотометрія.

Фотометрія

– загальна для всіх розділів прикладної оптики наукова дисципліна, на підставі якої виробляються кількісні виміри енергетичних характеристик поля випромінювання;

– розділ прикладної фізики, що займається вимірами світла.

Фотометр — прилад для вимірювання будь-яких фотометричних величин.

Види фотометричних вимірів. Основні види фотометричних вимірів такі:

- 1) порівняння сили світла джерел;
- 2) вимір повного потоку від джерела світла;
- 3) вимірювання освітленості у заданій площині;
- 4) вимірювання яскравості у заданому напрямку;
- 5) вимірювання частки світла, що пропускається частково прозорими об'єктами; 6) вимірювання частки світла, що відображається об'єктами.

При використанні фотометра здійснюють певне просторове обмеження потоку випромінювання та реєстрацію його приймачем випромінювання із заданою спектральною чутливістю.

Освітленість вимірюють люксметрами, яскравість – яскравомірами, світловий потік та світлову енергію – за допомогою інтегруючого фотометра. Прилади вимірювання кольору об'єкта називають колориметрами.

Спектрометр - оптичний прилад, що використовується для накопичення спектра, його кількісного підрахунку та подальшого аналізу за

					МІМТ.480.011.844 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

допомогою різних аналітичних методів. Спектрометри можуть відрізнятися за спектральним діапазоном, спектральною чутливістю, оптичною схемою.

Основне призначення спектрометра - кількісна інтерпретація спектру з метою отримання аналітичних даних. У більшості випадків аналітичні програми порівнюють отриманий спектр із спектром речовини, чий склад відомий. Розрізняють такі типи спектрометрів: рентгенофлуоресцентний спектрометр (РФА спектрометр), який знайшов широке застосування завдяки гнучкості, легкості калібрування та гарної точності, іскровий оптико-емісійний спектрометр, лазерний спектрометр, ІЧ спектрометр, спектрометр індуктивно-пов'язаної плазми, атомно-.

Спектрофотометрія (абсорбційна) - фізико-хімічний метод дослідження розчинів і твердих речовин, заснований на вивченні спектрів поглинання в ультрафіолетовій (200-400 нм), видимій (400-760 нм) та інфрачервоній (>760 нм) областях спектру. Основна залежність, що вивчається в спектрофотометрії, - залежність інтенсивності поглинання падаючого світла від довжини хвилі. Спектрофотометрія широко застосовується щодо будови та складу різних сполук (комплексів, барвників, аналітичних реагентів та інших.), для якісного і кількісного визначення речовин (визначення слідів елементів у металах, сплавах, технічних об'єктах). Прилади спектрофотометрії – спектрофотометри.

Спектрофотометр (від спектр та фотометр) — прилад для дослідження спектрального складу по довжинах хвиль електромагнітних випромінювань в оптичному діапазоні, знаходження спектральних характеристик випромінювачів та об'єктів, що взаємодіяли з випромінюванням, а також для спектрального аналізу та фотометрування.

Спектрофотометри можуть працювати у різних діапазонах довжин хвиль – від ультрафіолетового до інфрачервоного. Залежно від цього, прилади мають різне призначення.

					МІМТ.480.011.844 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Залежно від виду поглинаючих частинок та способу трансформування поглиненої енергії розрізняють:

- атомно-абсорбційний аналіз – поглинання світлової енергії атомами аналізованих речовин (використовується щодо іонів металів: мідь, нікель, срібло та інших.);

- молекулярний абсорбційний аналіз – поглинання світла молекулами аналізованої речовини в ультрафіолетовій, видимій та інфрачервоній областях спектру (спектрофотометрія, фотоколориметрія, ІЧ – спектроскопія);

- турбідиметрія, нефелометрія – поглинання та розсіювання світлової енергії завислими частинками аналізованої речовини (сульфати, завислі речовини);

- люмінесцентний (флуориметричний) аналіз - вимірювання випромінювання, що виникає в результаті виділення енергії збудженими молекулами аналізованої речовини;

- фотоколориметрія та спектрофотометрія засновані на взаємодії випромінювання з однорідними системами, та їх зазвичай поєднують в одну групу фотометричних методів аналізу.

До найбільш широко застосовуваних в аналізах рідких середовищ відносяться методи аналізу фотометрії та спектрофотометрії.

Фотометричні (абсорбційні) методи аналізу засновані на вибіркового поглинанні світла аналізованою речовиною. При взаємодії зі світловою енергією в атомах поглинаючої речовини відбувається перехід електронів більш віддалені від ядра енергетичні рівні.

$$h\nu = \Delta E = E_2 - E_1$$

h - постійна Планка $h = 6,625 \times 10^{-34}$ Дж/сек

ν – постійна випромінювання, що поглинається сек^{-1} 1 Гц = 1с^{-1}

Електронні переходи, викликані поглинанням суворо певних квантів світлової енергії, характеризуються появою настільки ж строго певних смуг

					MIMT.480.011.844 – ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

поглинання в електронних спектрах атомів або молекул, що поглинають. Таким чином, кожна речовина має здатність поглинати променисту енергію у вигляді квантів енергії, що відповідають певним довжинам хвиль. Лінії або смуги поглинання розташовуються в ультрафіолетовій (200-400 нм), видимій (400-700 нм) або інфрачервоній областях спектру (> 700 нм) (наприклад, прилади Тепловізору).

Залежно від використовуваної апаратури у фотометричному аналізі розрізняють спектрофотометричні методи аналізу з поглинання монохроматичного світла (тобто з однаковою довжиною хвилі) і фотоколориметричні методи, коли аналіз здійснюється за поглинанням поліхроматичного (немонохроматичного) світла, що містить випромінювання різних.

Метод аналізу, заснований на переведенні компонента, що визначається, в поглинаюче світло з'єднання з наступним визначенням цього компонента шляхом вимірювання світлопоглинання розчину, називається фотометричним.

Спочатку фотометричний аналіз був заснований на оцінці інтенсивності фарбування розчину даної речовини різної концентрації; метод отримав назву колориметрія (Від грецького колор - колір). При колориметрированні фарбований розчин поглинає суцільне випромінювання немонохроматичного видимого ділянки спектра.

З появою приладів, що реєструють світлопоглинання розчинів за допомогою фотоелементів, - фотоелектроколориметрів або фотоколориметрів - метод став називатися фотоколориметричним або фотометричним.

Колориметр – прилад для вимірювання кольору в будь-якій колірній шкалі або для порівняння інтенсивності забарвлення досліджуваного розчину зі стандартним. Широко застосовуються у промисловості та лабораторній практиці.

					MIMT.480.011.844 – ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Колориметричний метод аналізу ґрунтується на зміні поглинання світла речовиною. Порівнюють інтенсивність фарбування досліджуваного розчину з фарбуванням стандартного розчину, концентрація якого відома. Метод дуже чутливий і застосовується визначення мікрокількостей.

У фотоколориметрах з'явилася можливість часткової монохроматизації спектра світлофільтрами. За допомогою світлофільтра вибирають ділянку спектра в тій ділянці довжин хвиль, де поглинання світла для даного розчину мінімально. Світлофільтри для фотометрування вибирають так, щоб максимум поглинання розчину відповідав максимуму пропускання (мінімуму поглинання) світлофільтру. Фотометричне визначення виходить тим точніше, чим вужча ділянка спектру вдається виділити світлофільтром ($h\nu = \lambda = 520$ певна довжина хвилі для нітритів).

Таблиця - Колір розчинів та відповідних їм світлофільтрів

Колір розчину, нм	Область максимального поглинання променів	Колір світлофільтру
Жовто-зелений	400-450	Фіолетовий
Жовтий	450-480	Синій
Помаранчевий	480-490	Зелено-синій
Червоний	490-500	Синьо-зелений
Пурпуровий	500-560	Зелений
Фіолетовий	560-575	Жовто-зелений
Синій	575-590	Жовтий
Зелено-синій	590-625	Помаранчевий
Синьо-зелений	625-700	Червоний

Прилади, що дозволяють монохроматизувати світловий промінь, називаються *спектрофотометрами*. Вони дозволяють аналізувати не тільки

пофарбовані, але і безбарвні розчини по поглинанню у видимій, ультрафіолетовій та інфрачервоній областях спектру.

Рівності фотострумів відповідає нульове положення гальванометра. Спектрофотометри мають замість світлофільтрів кварцову призму або дифракційну решітку і дзеркало-конденсатор, що відхиляє промені і спрямовує їх на щілину монохроматора. Виходячи монохроматичний пучок світла проходить через досліджуваний розчин, лінзу і падає на фотоелемент. Виникає фотострум передається на прилад-індикатор (гальванометр): при рівності світлових потоків гальванометр показує 0. Спектрофотометри мають кварцову оптику, тому вивчати спектри поглинання можна в ультрафіолетовій, видимій та найближчій інфрачервоній області в інтервалі довжин хвиль $\lambda = 220 - 1100\text{нм}$.

Висока чутливість і можливість визначення багатьох елементів, дозволила фотометричному методу застосовувати їх для визначення як великих концентрацій компонентів (20-30%), так і мікродомішок (10^{-3} - $10^{-4}\%$).

Залежно від використовуваної апаратури у фотометричному аналізі розрізняють **спектрофотометричний метод** – аналіз поглинання монохроматичного (немонохроматичного) світла у видимій області спектра. Обидва методи ґрунтуються на пропорційній залежності між світлопоглинанням та концентрацією поглинаючої речовини.

Фотометричні методи поділяють на прямі та непрямі. У прямих методах іон (M), що визначається, за допомогою реагенту (R) переводять у світлопоглинаючий стан (MR), а потім вимірюють інтенсивність світлопоглинання розчину цієї сполуки. При непрямих визначеннях використовують допоміжні сполуки, які за взаємодії з визначальним речовиною або руйнуються самі, або утворюють нові світлопоглинаючі сполуки.

					МІМТ.480.011.844 – ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Спектр поглинання (або, коректніше, абсолютний спектр поглинання речовини) є залежністю кількості поглиненого світла від довжини хвилі.

Такі спектри для барвників у видимій області (400-700 нм) іноді мають кілька максимумів. Спектри поглинання в ультрафіолетовій (200-400 нм) та видимих областях відображають переходи зв'язаних та незв'язаних електронів у молекулі. Це зазвичай делокалізовані π -електрони подвійних C=C зв'язків і неподілені пари азоту та кисню. Оскільки, як правило, всі електрони в молекулі при кімнатній температурі знаходяться на нижньому енергетичному рівні, спектри в цій галузі дають інформацію про основний і перший збуджений електронні стани молекули. Зважаючи на те, що довжина хвилі поглиненого світла відповідає певному переходу, піки на спектрах поглинання речовини обумовлені присутністю в ньому відомих структур. Довжина хвилі, при якій спостерігається максимальне поглинання світла, позначається через $\lambda_{\text{макс}}$. Положення максимуму спектра поглинання є важливою оптичною характеристикою речовини, а характер та вид спектру поглинання характеризують його якісну індивідуальність. Група в молекулі, яка дає внесок у спектр її поглинання, називається хромофором. Такою групою є, наприклад, карбонільна група $>\text{C}=\text{O}$, що існує у всіх амінокислот.

Фотометричні методи визначення концентрації розчинів засновані на порівнянні поглинання при пропущенні світла стандартними та досліджуваними розчинами. Ступінь поглинання світла розчином, що фотометрується, вимірюють за допомогою фотоколориметрів і спектрофотометрів. Вимірювання оптичної щільності стандартного і досліджуваного забарвлених розчинів завжди виробляють по відношенню до розчину порівняння (нульового (контрольного) розчину). В якості розчину порівняння можна використовувати аліквотну частину досліджуваного розчину, що містить всі додані компоненти, крім реагенту, що утворює з речовиною, що визначається забарвлене з'єднання. Якщо реагент, що

					MIMT.480.011.844 – ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

додається, і всі інші компоненти розчину порівняння безбарвні і, отже, не поглинають променів у видимій області спектру, то в якості розчину порівняння можна використовувати дистильовану воду.

Метод градуювального графіка. Для визначення вмісту речовини методом градуювального (калібрувального) графіка готують серію з 5-8 стандартних розчинів різних концентрацій (не менше 3 паралельних розчинів для кожної точки).

При виборі інтервалу концентрацій стандартних розчинів керуються такими положеннями:

а) він повинен охоплювати ділянку можливих змін концентрації досліджуваного розчину; бажано, щоб оптична щільність досліджуваного розчину відповідала приблизно середині градуювальної кривої;

б) бажано, щоб у цьому інтервалі концентрацій при вибраних товщині кювети l і аналітичній довжині хвилі λ (у більшості випадків $\lambda = \lambda_{\text{макс}}$ світлопоглинаючої сполуки) дотримувався основний закон світлопоглинання, тобто. графік $A = f(C)$ був лінійним;

в) інтервал робочих значень λ , який відповідає інтервалу стандартних розчинів, повинен забезпечувати максимальну відтворюваність результатів вимірювань.

При сукупності перерахованих умов вимірюють оптичні густини стандартних розчинів щодо розчинника та будують графік залежності $A = f(C)$. Отримана крива називається градуювальною або калібрувальною і має вигляд прямої, що виходить з початку координат. Екстраполіувати пряму калібрувальну до значень оптичних щільностей, що лежить вище останньої експериментально отриманої точки, не рекомендується. Періодично (раз на тиждень або рідше) калібрувальну криву перевіряють за 2-3 свіжоприготовленими стандартними розчинами. Калібрувальні графіки, побудовані з реактивами різних партій, як правило, не збігаються. Тому за зміни реактивів графік необхідно побудувати заново. Графік, побудований

					МІМТ.480.011.844 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

під час роботи одному приладі, не можна використовуватиме розрахунків результатів, отриманих іншому.

Визначивши оптичну густину дослідного розчину A_x , знаходять її значення на осі ординат, а потім на осі абсцис - відповідне значення концентрації C_x .

Цей метод застосовують під час виконання серійних фотометричних аналізів. Він дає хороші результати за дотримання основного закону світлопоглинання.

На відміну від інших фотометричних методів, метод градуювального графіка дозволяє визначити концентрацію забарвлених розчинів навіть у тих випадках, коли основний закон світлопоглинання не дотримується. Для побудови градуювальної кривої в цих випадках готують значно більше стандартних розчинів, що відрізняються один від одного по концентрації не більше ніж на 10%. Такий градуювальний графік, що має на пологій ділянці кут нахилу не менше 15° , все ж таки дозволяє проводити фотометричні вимірювання, незважаючи на те, що між концентрацією розчину та його оптичною щільністю немає лінійної залежності. Відтворюваність визначень у разі нижче, ніж у разі лінійної залежності $A = f(C)$.

					МІМТ.480.011.844 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

4. ПРИЛАДИ ДЛЯ СПЕКТРОФОТОМЕТРІЇ І ФОТОМЕТРІЇ

4.1. Огляд провідних виробників спектрофотометрів та фотометрів

Сучасні спектрофотометри — це високоточні аналітичні прилади, призначені для вимірювання ступеня поглинання, пропускання та концентрації речовин. Вони поділяються на УФ-ВІД (UV-Vis) та спектрофотометри видимого спектра. Провідні світові виробники пропонують обладнання з кольоровими сенсорними дисплеями, автоматизованим вибором довжини хвилі, скануванням спектра та підтримкою кюветних тестів.]

У таблиці 4.1 наведено огляд провідних виробників та їхніх серій, які сьогодні є стандартами у лабораторних дослідженнях.

Таблиця 4.1. Провідні виробники спектрофотометрів

UNICO (США)	Відомі своїми надійними приладами для базового та розширеного аналізу. Серії (наприклад, UNICO 2100) популярні завдяки високій точності, доступній ціні та простоті в управлінні.
OPTIZEN (Південна Корея)	Флагманські високотехнологічні прилади. Вони пропонують широкий модельний ряд, від базових до ультрасучасних пристроїв для роботи з ДНК/РНК та мікрооб'ємами (наприклад, серії <i>NanoQ</i> та <i>Alpha</i>).
MAPADA (Китай/США)	Виробник, що здобув популярність завдяки високій якості оптики та ергономічному дизайну. Серії <i>Precision</i> (PV1, P5, P6) пропонують кольорові сенсорні екрани та можливість розширення різноманітними аксесуарами.
HACH (США/Європа)	Безперечний лідер для екологічного та водного

	аналізу. Прилади цього бренду часто використовуються з фірмовими кюветними тестами, що мінімізує людський фактор і помилки при підготовці проб.
PG Instruments (Велика Британія)	Випускають потужні універсальні системи (наприклад, серія T70), які широко застосовуються в медицині, фармакології та сільському господарстві завдяки інтерфейсу для ПК

Сучасні фотоелектричні фотометри забезпечують високу точність вимірювання оптичної густини та концентрації речовин. Провідні світові та вітчизняні бренди пропонують як універсальні пристрої для лабораторій загального призначення, так і портативні моделі для екологів.

У таблиці 4.2 наведено оляд провідних виробників та їхніх серій, які сьогодні є стандартами у лабораторних дослідженнях.

Таблиця 4.2. Провідні виробники фотометрів

APEL (Японія)	Випускає сучасний аналог класичних приладів КФК – фотометр AP-101. Він відзначається компактністю, високою точністю та надійністю.
Hach (США/Німеччина)	Світовий лідер у галузі аналізу води. Популярністю користується портативний багатопараметричний фотометр DR 900
Sherwood Scientific (Велика Британія)	Виробник передових полум'яних фотометрів. Флагманською є модель 410, що широко використовується для аналізу лужних металів.
MICROmed (Україна)	Пропонує адаптовані до сучасних вимог прилади, такі як фотометр КФК-3-01, який широко застосовується в медичних та промислових лабораторіях.

HANNA Instruments (Італія)	Відомий виробник вимірювальної техніки для хімічного аналізу, представлений широкою лінійкою фотометрів та колориметрів.
-------------------------------	--

4.2. Цифровий фотоелектроколориметр AP-120

APEL AP-120 являє собою керований мікропроцесором фотоелектричний колориметр загального призначення, простий в роботі, для отримання надійних і точних результатів при дослідженнях в різних областях [7].

Модель AP-120 (рис. 4.1) це колориметр для вимірювань в діапазоні довжин хвиль 420 – 660 нм призначений для навчання, наукових досліджень, біохімічних аналізів, досліджень в області сільського господарства, аналізу питної води і стічних вод, промислових відходів, та інших колориметричних тестів.



Рис. 4.1. Цифровий фотоелектроколориметр AP-120

					MIMT.480.011.844 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Особливості:

- Компактний фотоелектроколориметр
- Відкрита система для будь-яких методик і реактивів
- Об'єм реагенту 0,5–1 мл;
- Використовуються квадратні (10x10x45 мм);
- Світлодіодний джерело світла (немає необхідності заміни лампи)
- Функція автоматичного обнулення
- Живлення від мережевого адаптера або автомобільного

прикурювача»

Застосування:

- Клінічна біохімія:

— ферменти: АСТ, АЛТ (по Райтману — Френкелю), гамма-ГТ, ЛДГ, альфа-амілаза, креатинкінази, лужна фосфатаза, кисла фосфатаза

— субстрати: сечова кислота, альбумін, білірубін прямий і загальний, креатинін, глюкоза, гемоглобін, лактат, загальний білок, мікроальбумін в сечі, сечовина, білок в сечі і СМР

— ліпіди: холестерин, холестерин ЛПВЩ, холестерин ЛПНЩ, тригліцериди, фосфоліпіди, загальні ліпіди

— електроліти: калій, натрій, кальцій, хлориди, залізо, ОЖСС, магній, фосфор, цинк

— інші тести

- Дослідження якості води та продуктів харчування
- Наукові і спеціальні дослідження
- Навчання хіміків, біологів, біохіміків

Гарантійний термін 18 міс.

Технічні характеристики колориметра AP-120:

Діапазон вимірювання 420-660 нм

Дисплей Рідкокристалічний, 3,5 цифри, 7-

					MIMT.480.011.844 – ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

	сегментний світлодіодний індикатор
Комплект фільтрів	420, 460, 510, 540, 600 нм
Ширина смуги пропускання світла на половині висоти	20 нм
Діапазони фотометричних режимів	Коефіцієнт світло пропускання (Т) 0-105% Абсорбція (А) 0-1,999 Концентрація (С) 0-1999 (0,01-1999F)
Джерело світла	Високо інтенсивний світлодіод (400-800нм)
Обнуління	Автоматичне
Об'єм проби	мінімум 1,0 (0,5) мл
Тестові ємності	квадратні кювети (10x10x45 мм)
Живлення	Спеціальний мережевий адаптер змінного/постійного струму (AC/DC)
Енергоспоживання	2Вт
Габарити	117x185x77 мм
Вага	0,8 кг
Робоча температура	10°C — + 40°C
Температура зберігання	0°C +55°C
Вологість	Робота й зберігання при вологості до 80% (не допускати утворення конденсату)

					MIMT.480.011.844 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

4.3. Спектрофотометр цифровий PD-307S Apel

1

Спектрофотометр цифровий PD-307S Apel (рис. 4.2) – це сучасний інструмент для точного вимірювання оптичних властивостей твердих і рідких проб [8].



Рис. 4.2. Спектрофотометр цифровий PD-307S Apel

Завдяки мінімальному обсягу зразка всього 1,0 мл, цей спектрофотометр підходить для аналізів, де важлива економія матеріалу.

Основні переваги:

- Гнучке живлення: підтримує напругу від 100 до 240 В змінного струму, що робить його універсальним для будь-яких умов роботи.
- Галогенна лампа: забезпечує тривалий термін служби джерела світла до 2000 годин.

- Точний вибір довжини хвилі: завдяки управлінню електродвигуном, дозволяє вибрати точну довжину хвилі для високоточного аналізу.
- Використання різних кювет: спектрофотометр сумісний з квадратними та круглими кюветами без потреби в адаптері.
- Підключення до ПК: підтримує USB-з'єднання для виведення та обробки даних на комп'ютері.

Цей прилад забезпечує високу точність і гнучкість для різних лабораторних досліджень, таких як біохімічні, медичні та екологічні аналізи.

Характеристики спектрофотометра цифрового PD-307S Apel

Виробник	Apel
Країна виробник	Японія
Діапазон довжин хвиль	340 – 1000 нм
Ширина довжин хвиль	8 нм (за будь-якої довжини хвилі)
Точність довжин хвиль	± 2 нм із 585 до 879 нм
Шкала довжин хвиль	ціна поділки шкали 2 нм
Оптична система	однопроменева, дистанційна решітка
Енергія розсіяного випромінювання	менш ніж 0,5% (фільтр розсіяного світла за 340 нм)
Дисплей	рідкокристалічний
Фотометричний діапазон	– 0,200-3,00ABS — 0,00-200,0%T – 0,00-2000C
Фотометрична точність	$\pm 2\%$ T
Джерело світла	галогенова лампа
Детектор	кремнієвий фотоелемент високої чутливості
Об'єм проби	1,0 мл (мінімум)
Ємність для зразка	квадратні кювети: 12,5 x 12,5 x 45 мм пробірки: 12 (діаметр) x 105 мм
Живлення	100-200В, 50/60 Гц

					MIMT.480.011.844 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Габарити	270x285x155 мм
Вага	4,8 кг
Гарантія	36 місяців

4.4. Колориметр фотоелектричний концентраційний КФК-2

Колориметр фотоелектричний концентраційний (КФК-2) (рис. 4.3) призначений для вимірювання в окремих діапазонах довжин хвиль (315-980 нм), які виділяються світлофільтрами, визначення коефіцієнта пропускання та оптичної щільності рідких розчинів, твердих тіл, а також концентрації речовин у розчинах методом побудови градуювальник графіків [9].

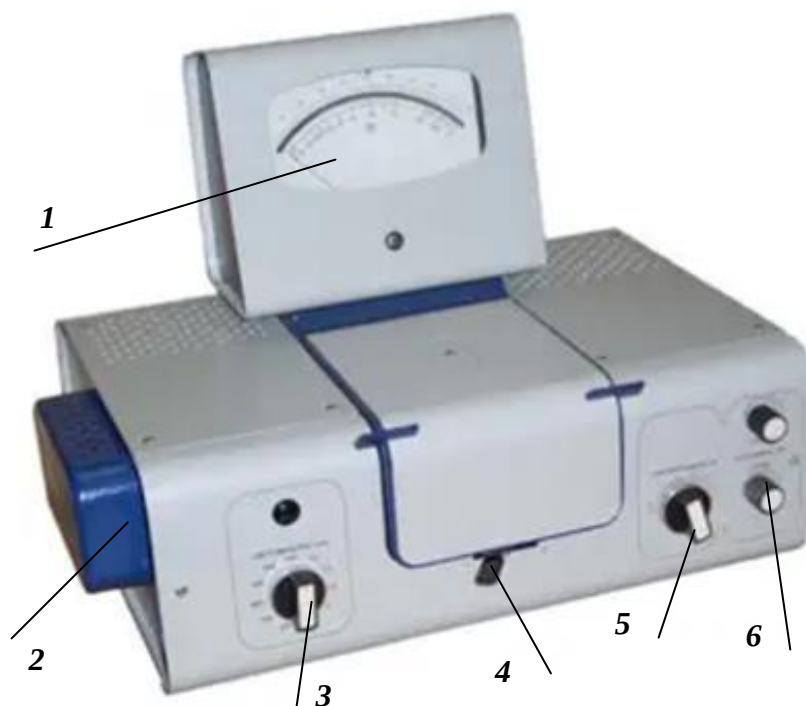


Рис. 4.3. Колориметр фотоелектричний концентраційний КФК-2: 1 – мікро амперметр, 2 – джерело світла, 3 – ручка для введення світлофільтра у світловий пучок, 4 – ручка для переведення кювет у світловому пучку, 5 – включення фотоприймача, 6 – чутливість

					МІМТ.480.011.844 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

КФК-2 є однопроменевим приладом і призначений для вимірювання коефіцієнтів пропускання та абсорбційності розчинів і твердих тіл в окремих ділянках діапазону довжин хвиль 315...980 нм, що виділяються світлофільтрами, а також для визначення концентрації речовин у розчинах. Крім того, колориметр дозволяє вимірювати коефіцієнти пропускання суспензій, емульсій і колоїдних розчинів у світлі, що проходить.

КФК-2 застосовують на підприємствах водопостачання, в медичній, хімічній, харчовій, металургійній промисловості та в сільському господарстві.

Колориметр складається з блоку живлення та оптичного блоку. В оптичний блок входять освітлювач, оправа з оптикою, світлофільтри, кюветне відділення з кюветоутримувачем, фотометричний пристрій з підсилювачем постійного струму та елементами регулювання, що реєструє прилад.

Освітлювач є лампою типу КГМ. Конструкція освітлювача забезпечує переміщення лампи в трьох взаємно перпендикулярних напрямках для її правильної установки.

В оправу вбудовані конденсор, діафрагма та об'єktiv.

Кольорові світлофільтри вмонтовані у диск. Світлофільтр вводять у світловий пучок за допомогою ручки. Робоче положення кожного світлофільтру фіксується.

Кюветоутримувач розташований під кришкою в кюветному відділенні. При роботі в кюветному відділенні одночасно знаходяться дві кювети – з розчинником (або нульовим розчином) та фарбованим розчином. Перестановку кювет у світловому пучку здійснюють поворотом ручки до упору.

У фотометричний пристрій входять фотоелемент Ф-26, фотодіод ФД-26К, світлодільна платівка та підсилювач. Увімкнення фотоприймачів здійснюється за допомогою ручки.

					МІМТ.480.011.844 – ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Як реєструючий прилад використовується мікроамперметр типу М907-10, шкала якого оцифрована для визначення абсорбційності та коефіцієнтів пропускання.

Колориметр КФК-2. Технічні характеристики

- Спектральний діапазон фотоколориметра від 315 до 980 нм. Весь спектральний діапазон розбитий на спектральні інтервали, які виділяються за допомогою світлофільтрів.
- Межі вимірювання на колориметрі коефіцієнтів пропускання від 100 до 5% (оптична густина від 0 до 1.3).
- Основна абсолютна похибка колориметра при вимірі коефіцієнтів пропускання трохи більше $\pm 1\%$.
- Основна абсолютна похибка колориметра при вимірі оптичної густини визначається за ГОСТ 12083-78.
- Розмах показань, що характеризує випадкову похибку, трохи більше 0,3%.
- Додаткова похибка колориметра від зміни напруги мережі на ± 22 від номінального значення 220 В становить не більше 0,3 основної похибки.
- Додаткова похибка колориметра при зміні температури навколишнього повітря від 20 до 35 ° С та від 20 до 10 ° С - не більше 0,3 основної похибки.
- Джерело випромінювання – лампа галогенна малогабаритна КГМ 6,3-15.
- Робоча довжина кювет (набір кювет № 2), мм ... 50, 30, 20, 10, 5.
- На вимогу замовника можуть бути поставлені мікро кювети з робочою довжиною, мм ... 10, 6, 3, 2.
- Приймачі випромінювання: діапазон 5 нм, фотодіод ФД-7К (ФД-24К) для роботи та спектральному діапазоні від 590 до 980 нм.

					МІМТ.480.011.844 – ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Реєструючий прилад – мікроамперметр типу М907 зі шкалою 100 справ. або мікроамперметр типу М 907-10 зі шкалою, оцифрованою в коефіцієнтах пропускання та оптичної щільності.
- Потужність колориметра, що споживається, не більше 65 В*А.
- Живлення фотоколориметра здійснюється від мережі змінного струму напругою (220±22), частотою (50/60±0,5) Гц.
- При напрузі живлення мережі, відмінним від 220 В, колориметр може комплектуватися додатково трансформатором.
- Габаритні розміри не більше 435 х 335 х 330 мм.
- Маса 14 кг. Джерело:

Принцип вимірювання коефіцієнта пропускання полягає в тому, що на фотоприймач направляються по черзі різні світлові потоки: повний і пройшов через досліджуване середовище і визначається відношення цих потоків.

Принципова оптична схема фотометра наведено на рис. 4.4.

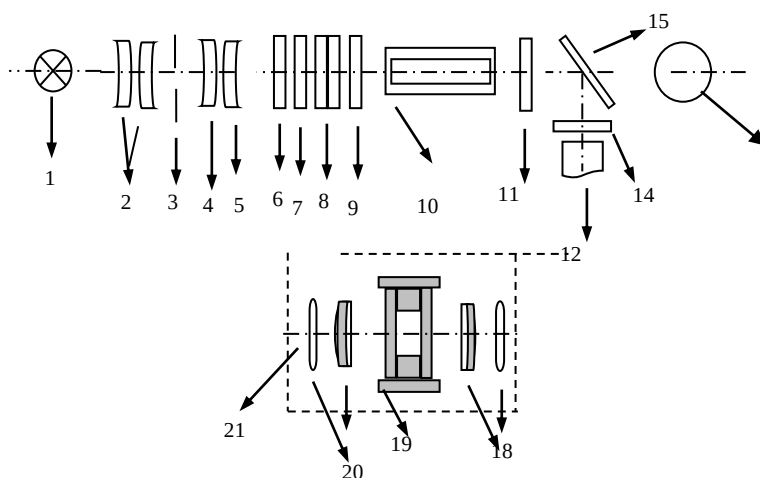


Рис. 4.4. Оптична схема фотоелектроколориметра КФК-2

ПІДГОТОВКА ДО РОБОТИ

1. Колориметр увімкнути в мережу за 15 хвилин до початку вимірювань. Під час прогрівання кюветне відділення має бути відкрито (при цьому шторка перед фотоприймачами перекриває світловий пучок).

2. Ввести необхідний за родом вимірювання кольоровий світлофільтр.

3. Встановити мінімальну чутливість колориметра. Для цього ручку «ЧУТЛИВІСТЬ» (рис. 4.3) необхідно встановити в положення 1, ручку «УСТАНОВКА 100 ГРУБО» – у крайнє ліве положення.

4. Перед вимірюваннями та при перемиканні фотоприймачів перевірити встановлення стрілки колориметра на «0» за шкалою коефіцієнтів пропускання T при відкритому кюветному відділенні. При зміщенні стрілки від нульового положення її підводять до нуля за допомогою потенціометра «НУЛЬ», виведеного під шліц.

ПОРЯДОК РОБОТИ

1. Вимірювання коефіцієнта пропускання

1.1. У світловий пучок помістити кювету з розчинником або контрольним розчином, стосовно якого вимірюються.

1.2. Закрити кришку кюветного відділення.

1.3. Ручками «ЧУТЛИВІСТЬ» та «УСТАНОВКА 100 ГРУБО» та «ТОЧНО» встановити відлік «100» за шкалою колориметра.

1.4. Потім поворотом ручки кювету з розчинником або контрольним розчином замінити кюветою з досліджуванним розчином.

1.5. Зняти відлік за шкалою колориметра, що відповідає коефіцієнту пропускання досліджуваного розчину у відсотках. Для реєструючого пристрою типу М 907-10 відлік знімають за шкалою коефіцієнтів пропускання T у відсотках, або за шкалою D - в одиницях оптичної щільності. Абсолютна похибка вимірювання коефіцієнта пропускання не перевищує 1%.

1.6. Вимір провести 3 – 5 разів і остаточне значення виміряної величини визначити як середнє арифметичне з отриманих значень.

2. Визначення концентрації речовини у розчині

При визначенні концентрації речовини в розчині слід дотримуватись наступної послідовності в роботі:

					МІМТ.480.011.844 – ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- вибір світлофільтра;
- вибір кювети;
- побудова градувальної залежності для даної речовини;
- вимірювання оптичної щільності досліджуваного розчину та визначення концентрації речовини в розчині.

2. 1. Вибір світлофільтру.

Наявність у колориметрі вузла світлофільтрів та набору кювет дозволяє підібрати таке їх поєднання, при якому похибка визначення концентрації буде найменшою.

Вибір світлофільтру проводять у такий спосіб. Наливають розчин у кювету (про вибір розміру кювет див. нижче) і визначають оптичну щільність для всіх світлофільтрів.

За отриманими даними будують залежність, відкладаючи горизонтальної осі довжини хвиль, відповідні максимуму коефіцієнта пропускання світлофільтрів, зазначені в описі колориметра, а вертикальної осі - відповідні значення оптичної щільності розчину. Відзначають ту ділянку кривої, для якої виконуються такі умови:

- оптична густина має максимальну величину;
- хід кривої приблизно паралельний горизонтальній осі.

Тобто оптична щільність мало залежить від довжини хвиль. Світлофільтр для роботи вибирають так, щоб довжина хвилі, що відповідає максимуму коефіцієнта пропускання світлофільтра, припадала на зазначену вище ділянку спектральної кривої випробуваного розчину.

Якщо ці умови виконуються для кількох світлофільтрів, то вибирають той із них, для якого чутливість колориметра вища.

2. 2. Вибір кювети.

Відносна помилка визначення концентрації розчину буде різною при роботі на різних ділянках шкали колориметра та досягає мінімуму при значенні оптичної густини 0.4. Тому при роботі на колориметрі

					MIMT.480.011.844 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

рекомендується шляхом відповідного вибору кювет (рис. 4.5) працювати поблизу зазначеного значення оптичної щільності.



Рис. 4.5 Різновиди кювет

Попередній вибір кювет проводиться візуально відповідно інтенсивності забарвлення розчину. Якщо розчин інтенсивно забарвлений (чорний), слід скористатися кюветами з малою робочою довжиною. У разі слабо забарвлених розчинів рекомендується працювати з кюветами з великою довжиною.

У попередньо підібрану кювету наливають розчин і вимірюють його оптичну щільність, вводячи в хід відповідних променів для даного розчину світлофільтр.

Друга умова може для деяких розчинів не мати місця, тоді при виборі світлофільтру обмежуються виконанням першої умови.

При вимірі низки розчинів кювету заповнюють розчином середньої концентрації. Якщо отримане значення оптичної густини становить приблизно 0.3 – 0.5 – вибирають цю кювету для роботи з цим розчином. У тому випадку, коли ця умова не виконується, слід випробувати іншу кювету. Якщо величина вимірюваної оптичної густини більше 0.5 – 0.6, беруть кювету меншої робочої довжини, якщо величина оптичної густини менше 0.3 – 0.2, слід вибрати кювету з більшою робочою довжиною.

2. 3. Побудова градуовального графіка для цієї речовини.

Побудову градуовального графіка проводять у такий спосіб. Готують ряд розчинів даної речовини з відомими концентраціями, що охоплюють область можливих змін концентрацій цієї речовини у досліджуваному розчині.

Вимірюють оптичні щільності всіх розчинів і будують градуовальний графік, відкладаючи по горизонтальній осі відомі концентрації, а по вертикальній відповідні їм значення оптичної щільності.

2. 4. Визначення концентрації речовини у розчині.

За градуовальним графіком (рис. 4.6) визначають невідому концентрацію речовини в досліджуваних розчинах. Для цього розчин наливають у ту ж кювету, для якої побудована градуовальна залежність, і, обравши той же світлофільтр, визначають оптичну щільність розчину. Потім за градуовальним графіком знаходять концентрацію, що відповідає виміряному значенню оптичної щільності.



Рис. 4.6 Градуовальний графік залежності оптичної густини розчину (E – екстинкції) від концентрації речовини (C) у мг%

1. Часто в роботі буває зручніше користуватися градуовальними таблицями, які складаються за даними градуовальної залежності.

2. Градуовальний графік слід час від часу перевіряти.

4.5. Фотометр фотоелектричний КФК-3-01

Фотометр фотоелектричний КФК-3-01-«ЗОМЗ» (надалі - фотометр), (рис. 4.7) призначений для вимірювання спектрального коефіцієнта спрямованого пропускання (надалі - СКНП), оптичної щільності та швидкості зміни оптичної щільності прозорих рідинних розчинів, а також для визначення концентрації речовин у розчинах після попереднього градуювання фотометрам споживачем [10].



Рис. 4.7. Фотометр КФК-3-01

Фотометр КФК-3-01 призначений для оснащення клініко-діагностичних лабораторій лікувально-профілактичних установ, поліклінік та інших медичних установ для проведення біохімічних досліджень плазми крові при діагностиці захворювань, профілактичних оглядах, оцінці ефективності лікувальних заходів, для застосування в сільському господарстві, на підприємствах водопостачання галузях За умовами експлуатації щодо впливу кліматичних факторів зовнішнього середовища фотометр відноситься до виконання УХЛ категорії 4.2 за ГОСТ 15150-69.

Умовами роботи фотометра є:

					МІМТ.480.011.844 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

- температура навколишнього середовища, °С плюс 10 - плюс 35
- відносна вологість повітря, % 65 ± 15
- напруга мережі живлення, В 220 ± 22
- частота мережі живлення, Гц $50 \pm 0,5$

Примітка - У зв'язку з постійним удосконаленням фотометра текст посібника з експлуатації та малюнки можуть в окремих деталях відрізнятися від виконаної конструкції. Допускається заміна електрорадіоелементів на ЕРЕ імпортного виробництва.

1. Основні технічні дані

1.1 Діапазон довжин хвиль, нм - 315–990.

Як диспергуючий елемент застосований монохроматор на дифракційній решітці.

1.2 Спектральний інтервал, що виділяється, нм, не більше 5

1.3 Діапазон вимірів:

- СКНП, 1-99
- оптичної густини, Б 0,004 - 2

1.2.4 Діапазон показань:

- коефіцієнта пропускання, % 0,1 - 100
- оптичної густини, Б 0-3
- кконцентрації, одиниць концентрації 0,001 -9999

1.5 Межа допустимого значення основної абсолютної похибки при вимірі СКНП, % 0,5

Відхилення від лінійності при вимірі оптичної щільності має бути не більше:

- в діапазоні від 0,004 до 0,200 Б, Б(абс) - 0,004;
- в діапазоні від 0,201 до 2,000 Б% (відн.) - 6

1.6 Межа основної абсолютної похибки установки довжини хвилі, що допускається – 3 нм.

					МІМТ.480.011.844 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

1.7 Межа допустимого значення середнього квадратичного відхилення випадкової складової основної абсолютної похибки має бути не більше:

- при вимірі СКНП - 0,15%;
- при вимірі оптичної густини - 0,003 Б.

1.8 Час встановлення робочого режиму - трохи більше 30, хв

1.9 Робоча довжина кювет - 1,3,5, 10,20,30,50, 100 мм

Примітка - Додатково застосовані кювети БШ5.999.189 розміром 10x10 мм об'ємом не більше 2 см .

1.10 Мікропроцесорна система забезпечує виконання наступних завдань згідно таблиці 4.3:

Таблиця 4.3. Завдання, що виконується мікропроцесорною системою

№ п/п	Завдання
1	Врахування часу виходу на робочий режим, видача звукового сигналу з відображенням поточного часу на індикаторі
2	Автоматичний вимір та облік сигналу при неосвітленому фотоприймачі
3	Градуювання
4	Вимір оптичної щільності
5	Вимір СКНП
6	Вимірювання концентрації за фактором
7	Вимірювання концентрації при градуюванні по одному або шести стандартних розчинах
8	Вимірювання швидкості зміни оптичної щільності з можливістю перегляду ходу реакції та вибору лінійної ділянки
9	Введення та зберігання в пам'яті коефіцієнта факторизації. Після виключення зберігається у пам'яті МПС
10	Введення та зберігання в пам'яті концентрації стандартних розчинів. Після вимкнення зберігається у пам'яті МПС
11	Вимірювання та зберігання в пам'яті значень оптичних густин

стандартних розчинів. Після вимкнення зберігається у пам'яті МПС

12 Діалог із оператором.

Відображення помилок оператора. Аналіз помилок

13 Вихід на зовнішню ЕОМ чи принтер

2.10 Живлення фотометра здійснюється від мережі змінного струму напругою, 220 ± 22 В, частотою $50 \pm 0,5$ Гц.

2.11 Фотометр призначений для експлуатації в діапазоні температур від $+10$ до $+35$ °С при відносній вологості повітря від 50 до 80 %.

2.12 Джерело випромінювання – лампа галогенна КГМ12-10-2.

2.13 Потужність, що споживається - не більше 50 ВА.

2.14 Габаритні розміри - трохи більше 500x360x165 мм

2.15 Маса - не більше 15 кг

Фотоколориметр КФК-3-01 застосовується:

– у лабораторіях лікувальних закладів для визначення вмісту в крові та сечі цукру, били рубіну, глюкози, холестерину, креатину;

– у хімічних лабораторіях для визначення вмісту у хімічних розчинах сечовини, загального білка, лугів, фосфатів;

– для лабораторно-виробничого контролю якості води перед надходженням до мережі за хім. показниками наявності заліза, срібла та ін.

Фотометричні методи аналізу є одними з найпоширеніших і найпопулярніших у сучасних. За допомогою приладу КФК-3-01 можна реалізувати величезну кількість методик визначення тих чи інших елементів і сполук в металах, ґрунті, воді, харчових продуктах, добривах, паливах і мастильних матеріалах і т.д. Ось деякі з цих методик для прикладу:

– Визначення вмісту алюмінію у воді за допомогою спектрофотометра КФК-3-01

					МІМТ.480.011.844 – ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Метод визначення проліну в соках плодових та овочевих
- Фотометричний метод визначення вмісту біурету ($\text{H}_2\text{NC}-\text{ONHCONH}_2$) у сечовині (карбаміді)
- Фотометричний метод з використанням 2,2'-біпіридилу для визначення вмісту заліза в сечовині.
- Кислоти синтетичні жирні. Метод визначення ефірного числа
- Фотометричний метод визначення кремнію
- Визначення вмісту фосфору у твердих паливах
- Фотометричний метод визначення масової частки загального фосфору у мінеральних добривах
- Метод фотометричного визначення кольоровості води
- Бокс. Фотометричний метод визначення оксиду фосфору (V)
- Сплави алюмінієві ливарні та деформовані. Методи визначення миш'яку
- Стали леговані та високолеговані. Методи визначення селену за допомогою спектрофотометра КФК-3-01
- М'ясо та м'ясні продукти. Визначення білка
- Сплави мідно-цинкові. Визначення миш'яку
- Визначення заліза у графіті
- Визначення вмісту двоокису титану в шламах (відходах виробництва TiO_2)
- Спектрофотометр КФК-3-01 може також допомогти при визначенні домішок нітратів у хімічних реактивах
- Визначення масової концентрації миш'яку у воді
- Мاستила та присадки. Методи визначення фосфору
- Флюси зварювальні плавлені. Методи визначення оксиду кремнію
- Стали леговані та високолеговані. Методи визначення фосфору
- Рідкоземельні метали та їх окиси. Методи визначення кобальту та нікелю

- Вода питна. Методи визначення вмісту сульфатів
- Ґрунти тепличні. Метод визначення водорозчинного фосфору
- М'ясо та м'ясні продукти. Метод визначення залишкової активності кислої фосфатази, вираженої масовою часткою фенолу, у ковбасних виробках із термічно оброблених інгредієнтів
- Казеїни та казеїнати. Метод визначення масової частки білка
- Каучук та каучуковий латекс. Фотометричний метод визначення заліза з використанням 1,10-фенантроліну.
- Тантал та його окис. Фотометричний метод визначення молібдену та вольфраму
- Мед натуральний. Методи визначення гідроксиметилфурфуралю
- Молоко. Спектрофотометричний метод визначення масової частки загального фосфору за допомогою приладу КФК-3-01 Джерело:

З Пристрій та робота фотометра.

Принцип дії фотометра заснований на порівнянні потоку випромінювання Φ_0 , що пройшов через "холосту пробу" (розчинник або контрольний розчин, щодо якого проводиться вимір) і потоку випромінювання Φ , що пройшов через досліджуваний розчин.

Потоки випромінювання Φ_0 і Φ фотоприймачем перетворюються на електричні сигнали U_0 , U та U_T (U_T - сигнал при неосвітленому фотоприймачі), які обробляються вбудованою мікро-ЕОМ і представляються на індикаторі у вигляді коефіцієнта пропускання, оптичної щільності, швидкості зміни оптичної щільності, концентрації.

При вимірі коефіцієнта пропускання τ розраховується формула

$$\tau = \frac{\Phi}{\Phi_0} \times 100\% = \frac{U - U_T}{U_0 - U_T} \times 100\% , \quad (1)$$

де U_0 , U , U_T - електричні сигнали, пропорційні потоку випромінювання, що пройшов через досліджуваний розчин, "холосту пробу", темновому струму відповідно.

При вимірі оптичної густини D розраховується формула

$$D = \lg(I/T) = \lg \frac{U_0 - U_T}{U - U_T}, \quad (2)$$

При вимірі швидкості зміни оптичної густини A розраховується формула

$$A = - \frac{D_2 - D_1}{t}, \quad (3)$$

де $(D_2 - D_1)$ - різницю значень оптичної щільності за інтервал часу t ;
 t - інтервал часу в хвилинах, що задається з клавіатури; t може набувати значень 1, 2, 3, ..., 9 хв.

При вимірі концентрації за фактором C_f розраховується формула

$$C_f = F \times D = F \times \lg \frac{U_0 - U_T}{U - U_T}, \quad (4)$$

де F - значення коефіцієнта факторизації; визначається споживачем та вводиться в пам'ять з клавіатури; може набувати значення від 0,001 до 9999.

При вимірі концентрації за стандартом розраховується формула

$$C = \frac{C_{st}}{D_{st}} \times D = \frac{C_{st}}{D_{st}} \times \lg \frac{U_0 - U_T}{U - U_T}, \quad (5)$$

де C_{st} - значення концентрації стандартного розчину; вводиться у пам'ять з допомогою клавіатури;

D_{st} - значення оптичної щільності стандартного розчину, що вимірюється на фотометрі і вводиться в пам'ять мікро-ЕОМ;

D - значення оптичної густини вимірюваного розчину.

При вимірі концентрації по шести стандартних розчинах C_x розраховується формула

$$C_x = C_{ст(n)} + \frac{C_{ст(n+1)} - C_{ст(n)}}{D_{ст(n+1)} - D_{ст(n)}} \times (D_x - D_{ст(n)}), \quad (6)$$

де $n = 1, 2, 6$;

$D_{ст(n+1)} > D_x < D_{ст(n)}$;

$C_{ст(n)}$ і $C_{ст(n+1)}$ - значення концентрації n -ого та $(n+1)$ -ого стандартного розчину відповідно;

D_x , $D_{ст(n)}$, $D_{ст(n+1)}$ - значення оптичної щільності досліджуваного, n -ого та $(n+1)$ -ого стандартного розчинів відповідно/

					МІМТ.480.011.844 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

5.

Набір інструкцій, що описують певну послідовність дій виконання до досягнення певного результату має назву алгоритму та описуються у командах для об'єкта, що буде виконувати даний алгоритм.

5.1. Сфера призначення

Ця методика встановлює порядок проведення калібрування приладів для вимірювання фотометричних параметрів - коефіцієнтів пропускання (світлопропускання) та оптичної густини, а саме, спектрофотометрів, фотоелектроколометрів, фотометрів загального призначення, в тому числі аналізаторів біохімічних з фотометричним каналом, фотометрів, мікрофотометрів, денситометрів, приладів перевірки рівня димності ДТЗ з дизельними двигунами, димомірів, вимірювачів світло пропускання (далі - прилади).

Ця методика містить:

- процедуру визначення абсолютного відхилення показів приладів, при вимірюванні значення коефіцієнта пропускання T_λ , оптичної густини D ;
- порядок розрахунку невизначеності вимірювань при калібруванні;
- вказівки щодо оформлення результатів калібрування.

Ця методика є стандартом ТОВ "ТЕСТМЕТРСТАНДАРТ" та може бути застосована лише персоналом ТОВ "ТЕСТМЕТРСТАНДАРТ".

У цій методиці є посилання на такі документи :

ДСТУ ISO / IEC 17025:2019 Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій.

ДСТУ 8956:2019 Метрологія. Аналізатори медичного призначення імуноферментні. Методика повірки.

ЕА-4/02 Evaluation of the uncertainty of measurement in calibration (Вираз невизначеності вимірювань при калібруванні).

					МІМТ.480.011.844 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

МПУ 305/11-2010. Рекомендації. Метрологія. Спектрофотометри ультрафіолетової, видимої та ближньої інфрачервоної області спектру. Методика повірки.

МПУ 029/11-2014. Рекомендації. Метрологія. Фотометри загального призначення. Методика повірки.

МПУ 146/11-2003. Інструкція. Метрологія. Вимірювачі димності відпрацьованих газів. Методика повірки.

МПУ 311/11-2010. Рекомендації. Метрологія. Прилади для визначення коефіцієнту світлопропускання скла. Методика повірки

ГОСТ 12.2.003-91. ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности (Обладнання виробниче. Загальні вимоги безпеки).

НПАОП 40.1-1.21 Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів, що затверджені Наказом Держнагляд охорони праці від 09 січня 1998 р. № 4

5.2. Операції та засоби калібрування

Для проведення калібрування застосовуються еталони та допоміжне обладнання, що наведені у таблиці 5.1. Допускається застосовувати інше обладнання та ЗВ, при цьому методика повинна пройти додаткове оцінювання згідно П-24 “Оцінювання придатності (валідація) методів”.

3.2. Еталони, що застосовуються під час калібрування, повинні бути відкалібровані, для забезпечення простежуваності вимірювань. Допоміжне обладнання що застосовується під час калібрування повинне бути відкаліброване, або повірене.

3.3. Дозволяється застосування інших засобів допоміжного обладнання з характеристиками не гірше, ніж зазначені в таблиці 5.1.

					МІМТ.480.011.844 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Табл.5.1. Еталони та допоміжне обладнання

Назва операції	Номер пункта методики	Робочі еталони, допоміжне обладнання, технічні та метрологічні характеристики
Контроль умов виконання калібрування.	4	Термогігрометр цифровий Thermo-Hygrometer, 0-50°C, 15-95 %; Гігрометр психрометричний ВІТ-1, 0-25 °С, 20-90 %
Зовнішній огляд	7.1	-
Опробування та перевірка працездатності	7.2	-
Проведення вимірювань та визначення показів. Процедура оцінки невизначеності вимірювань.	8	Комплект нейтральних світлофільтрів КСС-04 $\lambda = 250 - 960$ нм; Комплект нейтральних світлофільтрів КНФ-1М, 0,92 – 70,25 % Міра довжин хвиль поглинання ПС-7 Комплект нейтральних світлофільтрів КНП-01, 0,97-74,75% Комплект мір спектральних коефіцієнтів пропускання та оптичної густини Стандартні зразки мутності

5.3. Умови проведення калібрування

Калібрування виконується в наступних умовах, якщо інше не вказано замовником:

- температура оточуючого повітря в приміщенні, °C 20 ± 5
- відносна вологість повітря, % від 40 до 80

Перед проведенням калібрування необхідно:

- перевірити статус калібрування (перевірки) обладнання, що застосовується при калібруванні;
- пересвідчитися у відповідності умов оточуючого середовища вимогам розділу 4;
- прилад, що калібрується, комплект світлофільтрів та допоміжне обладнання, повинно бути витримано в приміщенні, в якому проводиться калібрування, не менше двох годин;
- підготувати до роботи прилад, що калібрується, комплект світлофільтрів, та допоміжне обладнання згідно технічного опису або настанови з експлуатації.

Зовнішній огляд

В ході перевірки зовнішнього виду необхідно переконатись:

- в однозначності ідентифікації, комплектності приладу, які повинні відповідати експлуатаційній документації;
- в наявності та чіткості маркування згідно з експлуатаційною документацією;
- в цілісності роз'ємів (затискачів, клем та ін.);
- в відсутності пошкоджень зовнішніх поверхонь та інших дефектів, які можуть заважати нормальному функціонуванню приладу.

Всі вищезазначені перевірки виконують візуально. У разі виявлення невідповідностей прилад не допускається до калібрування.

Опробування та перевірка працездатності

					MIMT.480.011.844 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Опробування та перевірку працездатності приладу необхідно проводити таким чином:

- ввімкнути прилад згідно з експлуатаційними документами;
- послідовно перевірити можливість встановлення усіх режимів роботи приладу;
- перевірка правильності встановлення освітлювача (для фотометрів):
- спостерігають розподіл світла в площині вхідного та вихідного вікна кюветного відділення на довжині хвилі відповідно заявки замовника;
- в площині вихідного вікна кюветного відділення повинно бути заповнене світлом збільшене зображення щілини.

Прилади, результати випробування яких не відповідають вимогам експлуатаційній документації, до подальшого калібрування не допускаються.

					МІМТ.480.011.844 – ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. ОПИС ПРОЦЕДУРИ КАЛІБРУВАННЯ

6.1. Проведення вимірювань та визначення показів при калібруванні спектрофотометрів.

6.1.1. Вимірювання значення спектрального коефіцієнта пропускання T_λ , та спектрального значення оптичної щільності D при калібруванні спектрофотометрів.

Якщо кількість точок калібрування не визначено замовником, виміри коефіцієнту пропускання проводиться трьох світлофільтрів із набору КСС-02 (С1, С4, С7) при встановлених значеннях довжини хвилі: 340 нм, 600 нм, та 900 нм., для кожного із каналів.

Включити спектрофотометр і дати прогрітись йому 20 хв., якщо в ТД не вказано інший час (ТД – технічна документація (паспорт приладу)).

Згідно ТД вибрати режим роботи приладу T_λ (визначення коефіцієнта пропускання).

6.1.1.1. Згідно ТД, встановити необхідну довжину хвилі λ нм.

6.1.1.2. Помістити в робочу зону порожню комірку кювето утримувача. Згідно ТД встановити і перевірити значення спектрального коефіцієнта пропускання рівного 100%. Зафіксувати показання приладу в протоколі (Додаток А).

6.1.1.3. Помістити в робочу зону комірку кюветоутримувача з вставленою заглушкою (коефіцієнт пропускання якої дорівнює 0%). Згідно ТД встановити і перевірити значення спектрального коефіцієнта пропускання рівного 0%. Зафіксувати показання приладу в протоколі (Додаток А).

6.1.1.4. Помістити в робочу зону комірку кюветоутримувача з вставленим першим світлофільтром із набору КСС-02. Провести 10 вимірювань значення коефіцієнту пропускання світлофільтра. Зафіксувати значення в протоколі (Додаток А). Після чого провести виміри для других світлофільтрів із набору КСС-2 в залежності від точок калібрування. При зміні значення довжини хвилі, необхідно повторити пункти 8.1.1 – 8.1.4. Для

					МІМТ.480.011.844 – ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

двоканальних спектрофотометрів вимірювання провести для кожного з каналів.

Відхилення значення $\Delta T\lambda$ коефіцієнта пропускання обчислюють за формулою:

$$\Delta T\lambda = \overline{T\lambda} - T\lambda_{\text{ет}}$$

де $\overline{T\lambda}$ – середнє значення показів приладу $\overline{T\lambda} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T\lambda_i$

$T\lambda_{\text{ет}}$ – значення $T\lambda$ відповідного світлофільтра (із свідоцтва калібрування).

Відхилення значення ΔD оптичної щільності обчислюють за формулою:

$$\Delta D = \lg \frac{100\%}{\Delta T\lambda}$$

Значення відхилення оптичної щільності розраховується за потребою замовника.

6.1.2. Вимірювання точності встановлення приладом довжини хвилі.

6.1.2.1. Відповідно конструкції обладнання (у випадку, якщо в конструкції обладнання, що калібрується неможливо змінити значення довжини хвилі, калібрування каналу вимірювання довжини хвилі не проводиться), що калібрується та ТЗ замовника проводиться калібрування каналу вимірювання довжини хвилі.

6.1.2.2 Згідно ТД, в приладі що калібрується, встановити довжину хвилі λ нм., меншу на 10 нм. за найменший максимум поглинання міри ПС-7

					МІМТ.480.011.844 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

(із свідоцтва калібрування). Вибрати режим вимірювання коефіцієнтів пропускання.

6.1.2.3 Міру поглинання ПС-7 встановлюють в кюветом відділенні, прижимаючи дзеркальною стороною до вхідного вікна. Закрити кришку кюветного відділення.

6.1.2.4 Плавню обертаючи ручку встановлення довжин хвиль за годинною стрілкою, визначають початок відліку по індикатору результатів вимірювання (нижньому) обладнання, що калібрується.

6.1.2.5 Знімають відлік по індикатору довжин хвиль (верхньому) обладнання, що калібрується.

6.1.2.6 Виконання 6.3.1.1 – 6.3.1.5 проводять десять разів.

6.1.2.7 У випадку, якщо в конструкції обладнання, що калібрується неможливо змінити значення довжини хвилі, калібрування каналу вимірювання довжини хвилі не проводиться.

6.1.3. Модельне рівняння.

Модельне рівняння вимірювання відхилення показів приладу $\Delta T\lambda$ має вираз

$$\Delta T\lambda = \overline{T\lambda} - T\lambda_{\text{ет}} + \delta T\lambda_{\text{розд.}} + \delta T\lambda_{\text{ет}} + \delta T\lambda_{\text{д.х.}} + \delta T\lambda_{\text{д.х.ет.}} + \delta T\lambda_{100} + \delta T\lambda_0 + \delta T\lambda_{\text{зб.}}$$

де $\delta T\lambda_{\text{розд.}}$ – поправка до показів приладу через його кінцеву роздільну здатність;

$\delta T\lambda_{\text{зб.}}$ - поправка до показів, обумовлена обмеженою збіжністю показів ЗВ;

$\delta T\lambda_{\text{ет}}$ - поправка до показів еталону (із свідоцтва калібрування);

$\delta T\lambda_{\text{д.х.}}$ - поправка до показів, обумовлена неточністю встановлення приладом довжини хвилі;

					МІМТ.480.011.844 – ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$\delta T\lambda_{\text{д.х.ет.}}$ – поправка до значення еталонної міри ПС-7 (із свідоцтва калібрування);

$\delta T\lambda_0$ - поправка до показів приладу через неточність встановлення 0%;

$\delta T\lambda_{100}$ - поправка до показів приладу через неточність встановлення 100%;

6.1.4. Сумарну стандартну невизначеність розраховують за формулою:

$$u(\Delta T\lambda) = \sqrt{u^2(\delta T\lambda_{\text{зб.}}) + u^2(\delta T\lambda_{\text{д.х.}}) + u^2(\delta T\lambda_{\text{д.х.ет.}}) + u^2(\delta T\lambda_0) + u^2(\delta T\lambda_{100}) + u^2(\delta T\lambda_{\text{розд.}}) + u^2(\delta T\lambda_{\text{ет}})}$$

$$u(\delta T\lambda_{\text{зб.}}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T\lambda_i - \bar{T\lambda})^2}{n(n-1)}} - \text{стандартна невизначеність (за типом А)}$$

збіжності середнього із показів приладу;

$u(\delta T\lambda_{\text{розд.}}) = \frac{q}{2\sqrt{3}}$ – стандартна невизначеність (за типом В),
обумовлена кінцевою роздільною здатністю цифрового приладу (q – дискретність відліку приладу);

$u(\delta T\lambda_0) = \frac{\Delta \text{max}0}{2\sqrt{3}}$ - стандартна невизначеність (за типом В),
обумовлена неточністю встановлення значення 0 ($\Delta \text{max}0$ – максимальне значення відхилення);

$u(\delta T\lambda_{100}) = \frac{\Delta \text{max}100}{\sqrt{3}}$ - стандартна невизначеність (за типом В),
обумовлена неточністю показів приладу 100% ($\Delta \text{max}100$ – максимальне значення відхилення);

$$u(\delta T\lambda_{\text{д.х.}}) = \Delta \max D_x \cdot \frac{T\lambda C\lambda_1 - T\lambda C\lambda_2}{\sqrt{3}(\lambda_1 - \lambda_2)} - \text{стандартна невизначеність (за}$$

типом В), обумовлена неточністю встановлення приладом довжини хвилі;

($T\lambda C\lambda_1$ - значення коефіцієнта пропускання світлофільтра, для довжини хвилі, при котрій проводяться виміри (із свідоцтва про калібрування);

$T\lambda C\lambda_2$ - значення коефіцієнта пропускання світлофільтра, для наступної довжини хвилі, в більшу, або в меншу сторону в залежності від знака показника максимального відхилення довжини хвилі (із свідоцтва про калібрування);

λ_1 - значення довжини хвилі, при котрій проводяться виміри;

λ_2 - значення наступної довжини хвилі, в більшу, або в меншу сторону в залежності від знака показника, максимального відхилення довжини хвилі;).

$$u(\delta T\lambda_{\text{д.х.ет.}}) = \frac{U_{cal}(\lambda_{et})}{k(p)} \cdot \frac{T\lambda C\lambda_1 - T\lambda C\lambda_2}{\sqrt{3}(\lambda_1 - \lambda_2)} - \text{стандартна невизначеність (за}$$

типом В).

Поправка на невизначеність еталонної міри ПС-7;

($U_{cal}(\lambda_{et})$ - максимальна невизначеність еталонної міри ПС-7 (із свідоцтва про калібрування);

$k(p)$ - відповідний коефіцієнт охоплення (із свідоцтва про калібрування);)

$$u(\delta T\lambda_{\text{ет.}}) = \frac{U_{cal}(T\lambda_{\text{ет.}})}{k(p)} - \text{стандартна невизначеність еталонного}$$

світлофільтра (U_{cal} - розширена невизначеність, $k(p)$ - коефіцієнт охоплення (із свідоцтва калібрування));

6.1.5. Розширену невизначеність вимірювання для рівня довіри $p = 0,95$ розраховують за формулою:

					МІМТ.480.011.844 – ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$U(\Delta T\lambda) = k \cdot u(\Delta T\lambda),$$

де k- коефіцієнт охоплення (k = 2 – рівень довіри 95%, якщо припустити що розподіл нормальний, та k = 1,65 – рівень довіри 95%, якщо припустити що розподіл рівномірний). Спосіб розрахунку невизначеності вимірювань – автоматичний, за допомогою програми exel. Оцінювання комп’ютерного програмного забезпечення проводиться шляхом співставлення результатів розрахунків обчислень і аналізу, отриманих паралельно на комп’ютері та вручну. Результати оцінювання документують в Бюджеті невизначеності вимірювання, та заносять в протокол (Додаток А).

6.2. Проведення вимірювань та визначення показів при калібруванні фотоелектроколориметрів, фотометрів загального призначення, в тому числі аналізаторів біохімічних з фотометричним каналом, фотометрів імуноферментних, мікрофотометрів.

6.2.1. Визначення абсолютного відхилення показів фотометра при вимірюванні спектральних коефіцієнтів пропускання(T) та оптичної густини (Б)

6.2.1.1. Якщо не встановлено інших вимог, калібрування проводять щонайменше для двох довжин хвиль.

6.2.1.2. Згідно заявки замовника, встановити на фотометрі довжину хвилі, на якій буде проводиться вимірювання, вибираючи значення довжини хвилі з свідоцтва про калібрування наявних еталонів.

6.2.1.3. Провести вимірювання оптичної густини для вибраних довжин хвиль фотометра за порожнього вимірювального каналу без установлених еталонних мір.

6.2.1.4. Встановити необхідну еталонну міру в вимірювальний канал фотометра (комплект світлофільтрів КНП-01 в каретку фотометра імуноферментного або зразок з комплекту рідких стандартних зразків

					МІМТ.480.011.844 – ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

спектрального коефіцієнту спрямованого пропускання та оптичної густини 2.3 _UMTS_TR).

6.2.1.5. Виконати серію вимірювань спектрального коефіцієнту пропускання або оптичної густини вибраної еталонної міри. Кількість вимірюб

8.2.1.6. Повторити операції за 6.2.1.2 – 6.2.1.5. для кожної визначеної замовником довжини хвилі.

6.2.1.7 Обчислити абсолютне відхилення показів при вимірюванні спектральних коефіцієнтів пропускання та/або оптичної густини за формулою:

$$\Delta T_{ik\lambda} = T_{cp}^{ik\lambda} - T_{d.k\lambda},$$

де $\Delta T_{ik\lambda}$ - абсолютне відхилення показів при вимірюванні коефіцієнта пропускання , % або оптичної густини , Б;

$T_{d.k\lambda}$ – дійсне значення спектрального коефіцієнта пропускання (оптичної густини) k -го світлофільтра на довжині хвилі λ , % або Б;

$T_{cp}^{ik\lambda}$ – середнє виміряне значення спектрального коефіцієнта пропускання(оптичної густини) k - го світлофільтра на довжині хвилі λ , % або Б.

6.2.1.8. Розрахувати середнє арифметичне результатів вимірювань за формулою:

$$\overline{T_{\lambda k}} = \frac{\sum_{i=1}^n T_{\lambda ki}}{n},$$

де $T_{\lambda ki}$ – значення i -того вимірювання спектрального коефіцієнта пропускання (оптичної густини) k -ої міри на довжині хвилі λ , % або Б.

6.2.1.9. Результати вимірювань занести до протоколу калібрування згідно додатку А.

					MIMT.480.011.844 – ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6.2.3. Процедура оцінки невизначеності вимірювань.

Метод калібрування - Прямі вимірювання ЗВ, що калібрується, величини, яка відтворюється еталонною мірою та безпосереднє звіряння показів засобу вимірювання (ЗВ) зі значенням еталонних мір.

Схема калібрування наведена на рис. 6.1

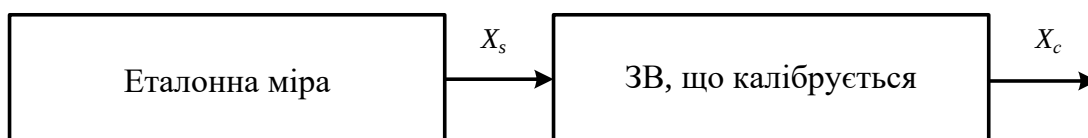


Рис. 6.1. Схема прямого вимірювання засобом вимірювань, що калібрується, величини, відтвореної еталонною мірою

Як джерело сигналу вимірювальної інформації виступає значення коефіцієнта світлопропускання та/або оптичної густини еталонної міри, що фактично є стабілізованим, та вимірюється приладом.

Модельне рівняння в цьому випадку має вигляд :

$$\Delta = T_i - T_E + \sum_{i=1}^L b_i,$$

де Δ – основне джерело невизначеності вимірювання (відхилення показів);

T_i – значення, які виміряне приладом, що калібрується;

T_E – дійсне значення коефіцієнту пропускання(оптичної густини),

еталонної міри, зазначене у свідоцтві (сертифікаті) про калібрування;

b_i - впливні величини.

6.2.4. Проведення розрахунків при калібруванні.

6.2.4.1. Для розрахунків невизначеностей вимірювань при калібруванні фотометра враховується, що вимірювання прямі багаторазові. При вимірюванні приладом спектральних коефіцієнтів пропускання та/або оптичної густини невизначеність вимірювань має джерела випадкового та системного характерів.

6.2.4.2. Оцінювання невизначеності вимірювань спектрального коефіцієнту пропускання та/або оптичної густини за типом А.

Стандартна невизначеність за типом А пов'язана з розсіюванням показів приладу, що калібрується, та обчислюється по правилам математичної статистики.

6.2.4.3. Розрахувати стандартну невизначеність за типом А таким чином:

– визначити середнє арифметичне значення отриманих результатів для кожної точки діапазону вимірювання коефіцієнта пропускання та/або оптичної густини T_{cpi} за формулою:

$$T_{cpi} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i ,$$

де n – кількість вимірювань.

– визначити стандартне квадратичне відхилення результатів від середнього арифметичного значення S – стандартна невизначеність за типом А u_A за формулою:

$$u_A = S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_i - T_{cpi})^2}{n(n-1)}} ,$$

де T_i - i -й результат вимірювання,

n - кількість вимірювань.

					MIMT.480.011.844 – ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6.2.4.4. Стандартна невизначеність за типом В зумовлена джерелами, що мають системний характер.

При оцінюванні невизначеності вимірювань фотометром за типом В враховують наступні складові невизначеності:

- стандартна невизначеність калібрування еталонних мір;
- невизначеність, обумовлену дискретністю показів спектрального коефіцієнта пропускання та/або оптичної густини цифрового фотометра,

$$u_B = \sqrt{u_{nD}^2 + u_e^2},$$

де u_{nD} - стандартна невизначеність (за типом В), обумовлена кінцевою роздільною здатністю цифрового приладу (q – дискретність відліку приладу);

u_e - стандартна невизначеність калібрування еталонних мір.

6.2.4.4.1. Стандартну невизначеність калібрування еталонних мір розраховують за формулою:

$$u_e = U_e / k,$$

де U_e - розширена невизначеність калібрування k -тої еталонної міри для довжини хвилі λ згідно зі свідоцтвом про калібрування;

k – коефіцієнт охоплення при калібруванні еталонної міри, для нормального закону розподілу та довірчої ймовірності $P = 0,95$ приймається значення $k = 2$.

6.2.4.4.2. Стандартну невизначеність, обумовлену дискретністю показів спектрального коефіцієнта пропускання та/або оптичної густини цифрового фотометра, за припущення рівномірного закону розподілу, розраховують за формулою:

$$u_{nD} = q_T / 2\sqrt{3},$$

					MIMT.480.011.844 – ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де q_T – дискретність відліку приладу (ціна найменшого розряду відлікового пристрою шкали спектрального коефіцієнта пропускання та/або шкали оптичної густини фотометра).

6.2.4.4.3. Визначається сумарна стандартна невизначеність u_c за формулою:

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}.$$

6.2.4.4.5. Ефективне число ступенів свободи ν_{eff} для цього випадку буде визначатися за формулою:

$$\nu_{eff} = (n-1) \left[\frac{u_c}{u_A(W_s)} \right]^4.$$

6.2.4.4.6. Розширена невизначеність калібрування буде визначатися за формулою :

$$U = k \cdot u_c , ,$$

де k – коефіцієнт охоплення, для нормального закону розподілу та довірчої ймовірності $P = 0,95$ приймається значення $k = 2$.

6.2.5. Бюджет невизначеності наведено в таблиці 4 додатку Б.2

6.3. Проведення вимірювань та визначення показів при калібруванні приладів перевірки рівня димності ДТЗ з дизельними двигунами та димомірів.

6.3.1. Вимірювання коефіцієнту ослаблення світлового потоку N або коефіцієнт пропускання T_{cv} .

					MIMT.480.011.844 – ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Встановлюється режим вимірювання непрозорості відпрацьованих газів згідно відповідних розділів інструкції з експлуатації на прилад конкретного типу.

В світловий потік вимірювальної камери димоміра встановлюють нейтральний світлофільтр НС, номінальні значення коефіцієнта пропускання T_E яких зазначені в свідоцтвах про калібрування.

Вимірюють 5 разів коефіцієнт ослаблення світлового потоку N або коефіцієнт пропускання $T_{св}$.

По кожному світлофільтру виконується не менше п'яти вимірювань.

Результати вимірювань заносять до протоколу згідно додатку А.

6.3.2. Процедура оцінки невизначеності вимірювань.

6.3.2.1. Метод калібрування - безпосереднє звірення показів засобу вимірювання (ЗВ) зі значенням еталонних ЗВ.

Схема калібрування наведена на рис. 6.2.

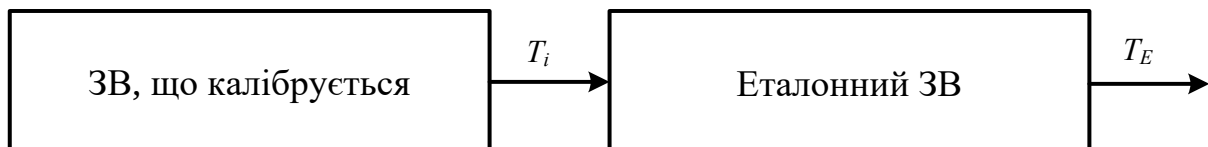


Рис. 6.2. Схема безпосереднього звірення ЗВ, що калібрується, з еталонним ЗВ

Як джерело сигналу вимірювальної інформації виступає значення коефіцієнта світлопропускання світлофільтра (еталонного ЗВ), що фактично є стабілізованим, та вимірюється приладом.

Модельне рівняння в цьому випадку має вигляд :

$$L$$

$$\Delta = T_i - (T_E + \Delta_E) + \sum_{i=1}^L b_i,$$

де T_i – значення, яке виміряне ЗВ, що калібрується;

T_E – значення параметра еталонного ЗВ;

Δ_E – поправка до параметра еталонного ЗВ за результатами його калібрування;

b_i – впливні величини.

6.3.2.2. Проведення розрахунків при калібрування.

6.3.2.2.1. Для розрахунку невизначеності вимірювань при калібруванні приладу враховується, що вимірювання прямі багаторазові. При вимірюванні вимірювачем значень коефіцієнта світлопропускання невизначеність вимірювань має джерела випадкового та системного характерів.

Стандартна невизначеність за типом А характеризується випадковим розподілом вхідної величини та обчислюється по правилам математичної статистики.

Стандартна невизначеність за типом В зумовлена джерелами, що мають системний характер.

Спосіб розрахунку невизначеності вимірювань - автоматичний (оцінювання комп'ютерного програмного забезпечення проводиться шляхом співставлення результатів розрахунків, обчислень і аналізу, отриманих паралельно на комп'ютері і достовірно “вручну”).

6.3.2.2.2. При багаторазових вимірюваннях оцінка T_{cpi} величини T_i визначається як середнє арифметичне результатів n вимірювань T_i

$$T_{cpi} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i,$$

де n – кількість вимірювань;

6.3.2.2.3. Оцінка стандартної невизначеності за типом А здійснюється за допомогою статистичного аналізу серії спостережень

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_i - T_{cpi})^2}{n(n-1)}},$$

де T_i - i -й результат вимірювання,

n - кількість вимірювань.

6.3.2.2.4. Визначається стандартна невизначеність за типом В, що зумовлена джерелами системного характеру, при цьому внесок впливних чинників (таких як відхилення температури умов проведення калібрування в межах норм згідно п. 4.1) у невизначеність u_B не враховується, так як він дуже незначний, тому :

$$u_B = \sqrt{u_{\eta D}^2 + u_e^2},$$

де

$$u_{\eta D} = \frac{q_T}{2\sqrt{3}}$$

стандартна невизначеність (за типом В), обумовлена кінцевою роздільною здатністю цифрового приладу (q – дискретність відліку приладу);

u_e - стандартна невизначеність робочого еталону:

$$u_e = U_e / k,$$

де U_e - розширена невизначеність еталону, яка береться зі свідоцтва калібрування на еталон;

k – коефіцієнт охоплення, для нормального закону розподілу та довірчої ймовірності $P = 0,95$ приймається значення $k = 2$.

6.3.2.2.5. Визначається сумарна стандартна невизначеність u_c за формулою:

					MIMT.480.011.844 – ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}.$$

6.3.2.2.6. Розширена невизначеність калібрування буде визначатися за формулою :

$$U = k \cdot u_c ,$$

де k – коефіцієнт охоплення, який при незначній нелінійності рівняння вимірювання та рівномірних вкладах невизначеностей вхідних величин визначається як коефіцієнт Стюдента для ефективного числа ступенів свободи та розраховується за формулою Велча-Саттерсвейта:

$$v_{eff} = (n-1) \left[\frac{u_c}{u_A(W_s)} \right]^4$$

Для нормального закону розподілу та довірчої ймовірності $P = 0,95$ приймається значення $k = 2$.

6.3.3. Запис результату вимірювання.

$$T = t \pm U, p = 0,95$$

6.3.4. Бюджет невизначеності наведено в таблиці 4 додатку Б.

6.4. Проведення вимірювань та визначення показів при калібруванні вимірювачів світлопропускання скла.

6.4.1. Вимірювання коефіцієнту світлопропускання скла.

6.4.1.1 Встановити режим вимірювання коефіцієнту світлопропускання скла згідно відповідних розділів інструкції з експлуатації на прилад конкретного типу.

					MIMT.480.011.844 – ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Провести вимірювання коефіцієнта світлопропускання скла згідно відповідних розділів інструкції з експлуатації на прилад, використовуючи світлофільтри з набору КНФ-1.. Результати вимірювань занести до протоколу згідно додатку А.

6.4.1.2. Обчислити абсолютне відхилення показів при вимірюванні відносного показника заломлення за формулою (*показником коефіцієнту світлопропускання скла при вимірюванні є коефіцієнт пропускання світлофільтру; саме точність вимірювання його значення є метрологічною характеристикою приладу, всі наступні розрахунки проводяться при вимірюванні коефіцієнта пропускання T еталонного світлофільтру*) :

$$\Delta T_i = T_i - T_E$$

де ΔT_i - абсолютне відхилення показів при вимірюванні коефіцієнта пропускання T ;

T_i - покази приладу;

T_E - значення коефіцієнта пропускання T еталонного світлофільтру.

6.4.1.3. Повторити п.6.4.1.2 для еталонів з іншими номінальними значеннями коефіцієнта пропускання T , що зазначені в свідоцтвах про калібрування на комплект світлофільтрів КНФ-1.

6.4.2. Процедура оцінки невизначеності вимірювань.

6.4.2.1. Метод калібрування - безпосереднє звірення засобу вимірювання (ЗВ) з еталонними ЗВ. Для розрахунку невизначеності вимірювань при калібруванні приладу враховується, що вимірювання прямі багаторазові.

Модельне рівняння в цьому випадку має вигляд :

L

$$\Delta = T_i - (T_E + \Delta_E) + \sum b_i ,$$

					MIMT.480.011.844 – ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$i=1$$

де T_i – значення, яке виміряне ЗВ, що калібрується;

T_E – значення параметра еталонного ЗВ;

Δ_E – поправка до параметра еталонного ЗВ за результатами його калібрування;

b_i – впливні величини.

6.4.2.2. Стандартну невизначеність за типом А визначають таким чином :

- визначається середнє арифметичне значення отриманих результатів для кожної точки діапазону вимірювання коефіцієнта пропускання T_{cpi} за формулою :

$$T_{cpi} = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{n}$$

де n - кількість вимірювань;

- визначається середнє квадратичне відхилення S результатів від середньо арифметичного значення - стандартна невизначеність за типом А u_A за формулою :

$$u_A = S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_i - T_{cpi})^2}{n(n-1)}}$$

6.4.2.3. Стандартну невизначеність за типом В визначають таким чином :

- приймаємо невизначеність відхилення показів приладу u_{η} за формулою :

$$u_{\eta D} = \frac{\Delta_{\eta}}{2k}$$

					MIMT.480.011.844 – ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де Δ_n – границі допустимого абсолютного відхилення показів приладу при вимірюванні коефіцієнта пропускання Т (значення одиниці молодшого розряду);

k – коефіцієнт, який дорівнює $\sqrt{3}$ для нормального закону розподілення й довірчої імовірності 0,95;

Визначається стандартна невизначеність за типом В u_B за формулою :

$$u_B = \sqrt{u_{\eta D}^2 + u_e^2},$$

де

u_e - невизначеність робочого еталону, яка береться зі свідоцтва калібрування на еталон.

6.4.2.4. Визначається сумарна стандартна невизначеність u_c за формулою:

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}.$$

6.4.2.5 Розширена невизначеність калібрування буде визначатися за формулою :

$$U = k \cdot u_c,$$

де k – коефіцієнт охоплення, який при незначній нелінійності рівняння вимірювання та рівномірних вкладах невизначеностей вхідних величин визначається як коефіцієнт Стюдента для ефективного числа ступенів свободи та розраховується за формулою Велча-Саттерсвейта:

$$v_{eff} = (n-1) \left[\frac{u_c}{u_A(W_s)} \right]^4$$

Для нормального закону розподілу та довірчої ймовірності $P = 0,95$ приймається значення $k = 2$.

6.4.2.6. Результати розрахунків занести до протоколу.

					MIMT.480.011.844 – ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6.5. Проведення вимірювань та визначення показів при калібруванні денситометрів.

6.5.1. Вимірювання оптичної густини.

6.5.1.1 Встановити режим вимірювання оптичної густини згідно відповідних розділів інструкції з експлуатації на прилад конкретного типу.

Провести вимірювання оптичної густини згідно відповідних розділів інструкції з експлуатації на прилад, використовуючи стандарти мутності по МАКФАРЛАНДУ від 0,5 од. до 4,0 од. або підготувати к вимірам стандартний зразок мутності по формазиновій шкалі. Приготувати розчині шляхом розведення ДСЗУ.

Результати вимірювань занести до протоколу згідно додатку А.

6.5.1.2. Обчислити абсолютне відхилення показів приладу при вимірюванні оптичної густини за формулою :

$$\Delta D_i = D_i - D_E$$

де ΔD_i - абсолютне відхилення показів при вимірюванні ;

D_i - значення, яке виміряне ЗВ, що калібрується ;

D_E - значення параметра еталонного стандартного зразку

6.5.1.3. Повторити п.6.5.1.2 для стандартних зразків з іншими номінальними значеннями оптичної густини.

6.5.2. Процедура оцінки невизначеності вимірювань.

6.5.2.1. Метод калібрування - безпосереднє звіряння засобу вимірювання (ЗВ) з еталонними ЗВ. Для розрахунку невизначеності вимірювань при калібруванні приладу враховується, що вимірювання прямі багаторазові.

					MIMT.480.011.844 – ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Схема калібрування наведена на рис. 6.3.

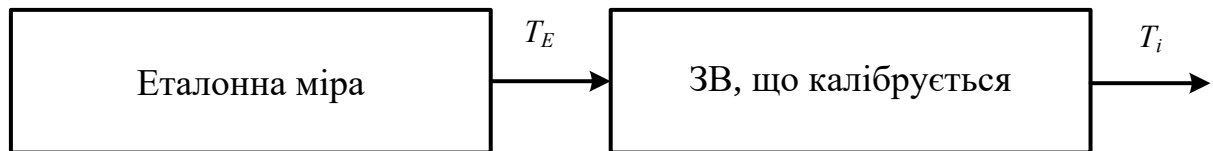


Рис. 6.3. Схема прямого вимірювання засобом вимірювань, що калібрується, величини, відтвореної еталонною мірою

Модельне рівняння в цьому випадку має вигляд :

$$\Delta = T_i - T_E + \sum_{i=1}^L b_i,$$

де Δ – основне джерело невизначеності вимірювання (відхилення показів);

T_i – значення, які виміряне приладом, що калібрується;

T_E – атестоване значення показника в стандартному зразку;

b_i – впливні величини.

6.5.2.2. Стандартну невизначеність за типом А визначають таким чином :

- визначається середнє арифметичне значення отриманих результатів за формулою :

$$\bar{x}_s = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n},$$

де x_i – результат окремого вимірювання;

n – кількість вимірювань.

- визначається середнє квадратичне відхилення результатів від середньо арифметичного значення - стандартна невизначеність за типом А u_A за формулою :

$$u_A(\bar{x}_s) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_s)^2}{n(n-1)}} ,$$

6.5.2.3. Стандартну невизначеність за типом В визначають таким чином :

- невизначеність відліку еталону, який є цифровим засобом вимірювальної техніки, розраховується за формулою:

$$u_{\eta D} = \frac{\Delta_n}{2k} ,$$

де Δ_n – границі допустимого абсолютного відхилення показів приладу при вимірюванні (значення одиниці молодшого розряду);

k – коефіцієнт, який дорівнює $\sqrt{3}$ для нормального закону розподілення й довірчої імовірності 0,95;

Визначається стандартна невизначеність за типом В u_B за формулою :

$$u_B = \sqrt{u_{\eta D}^2 + u_e^2} ,$$

де u_e - невизначеність стандартного зразка, яка береться з сертифікату (паспорту) на стандартний зразок.

6.5.2.4. Визначається сумарна стандартна невизначеність u_c за формулою:

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} .$$

6.5.2.5 Розширена невизначеність калібрування буде визначатися за формулою :

					MIMT.480.011.844 – ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$U = k \cdot u_c ,$$

де k – коефіцієнт охоплення, який при незначній нелінійності рівняння вимірювання та рівномірних вкладах невизначеностей вхідних величин визначається як коефіцієнт Стюдента для ефективного числа ступенів свободи та розраховується за формулою Велча-Саттерсвейта:

$$\nu_{eff} = (n-1) \left[\frac{u_c}{u_A(W_s)} \right]^4$$

Для нормального закону розподілу та довірчої ймовірності $P = 0,95$ приймається значення $k = 2$.

6.5.2.6. Бюджет невизначеності наведено в таблиці 4 додатку Б.5.

Результати калібрування необхідно оформити сертифікат калібрування по формі Ф-46.

Вимоги до кваліфікації персоналу

За цією методикою можуть працювати фахівці, що атестовані на виконання даного виду робіт.

Працівники, що проводять калібрування, повинні знати принцип дії і конструкцію приладів та обладнання, що застосовуються під час калібрування.

					МІМТ.480.011.844 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

7. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

Особовий склад метрологічних лабораторій повинні знати і суворо дотримуватися вимог безпеки і охорони праці під час робіт із метрологічного забезпечення державної авіації.

Жодна причина, у тому числі умови роботи, складність і терміновість її виконання, не можуть бути причиною порушення правил та заходів безпеки.

До основних вимог безпеки і охорони праці під час робіт із метрологічного забезпечення належать, зокрема, вимоги з електробезпеки та пожежної безпеки.

Особовий склад метрологічних лабораторій допускаються до самостійного виконання робіт тільки після вивчення правил і заходів безпеки під час робіт і здачі відповідного заліку (перевірки знань) відповідно до наказу Державного комітету України з нагляду за охороною праці від 26 січня 2005 року № 15 "Про затвердження Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці та Переліку робіт з підвищеною небезпекою", зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 15 лютого 2005 року за № 231/10511 (зі змінами) (далі - НПАОП 0.00-4.12-05), які регламентують організацію роботи з охорони праці, допуску до самостійного виконання робіт та організацію виконання разових робіт.

Для проведення робіт із метрологічного забезпечення особовий склад метрологічних лабораторій повинні мати відповідну кваліфікаційну групу з електробезпеки.

Для попередження порушення правил та заходів безпеки, виключення виробничого травматизму з особовим складом метрологічних лабораторій проводяться інструктажі з питань охорони праці, які за характером і часом проведення поділяються на вступний, первинний, повторний, позаплановий та цільовий.

					МІМТ.480.011.844 – ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступний інструктаж проводиться з усіма посадовими особами, які приймаються на постійну або тимчасову роботу, незалежно від їх освіти, стажу роботи та посади. Вступний інструктаж проводиться інженером з охорони праці метрологічної лабораторії. Запис про проведення вступного інструктажу робиться в Журналі реєстрації вступного інструктажу з питань охорони праці.

Первинний інструктаж проводиться до початку роботи безпосередньо на робочому місці.

Повторний інструктаж проводиться на робочому місці індивідуально з окремою посадовою особою або групою осіб, які виконують однотипні роботи, за обсягом і змістом питань первинного інструктажу.

Первинний, повторний, позаплановий і цільовий інструктажі проводить безпосередній керівник.

Первинний, повторний, позаплановий і цільовий інструктажі завершуються перевіркою знань у вигляді усного опитування, а також перевіркою набутих навичок безпечних методів праці особою, яка проводила інструктаж.

При незадовільних результатах перевірки знань, умінь і навичок щодо безпечного виконання робіт після первинного, повторного чи позапланового інструктажів протягом 10 днів додатково проводяться інструктаж і повторна перевірка знань.

Обладнання і розташування робочих місць для проведення робіт із метрологічного забезпечення повинні забезпечувати безпечні умови праці. Для цього проводиться атестація робочих місць щодо відповідності вимогам з охорони праці. Результати атестації оформлюються паспортом атестації і доводяться особовому складу метрологічних лабораторій до експлуатації робочих місць, під підпис. Паспорт атестації постійно знаходиться на робочому місці.

					МІМТ.480.011.844 – ПЗ	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Окрім паспорта атестації, на робочих місцях обов'язково знаходяться інструкції з охорони праці та пожежної безпеки, а також необхідні захисні засоби, плакати, засоби гасіння пожежі, інструменти і приладдя, що забезпечують безпеку робіт. Усі захисні засоби повинні бути враховані, справні і своєчасно перевірені. Інструкції з охорони праці вивішуються у зручній для читання зоні робочого місця або видаються працівникам під особистий підпис. Контрольний примірник інструкції зберігається у службі охорони праці установи, метрологічної лабораторії.

З метою своєчасного надання першої невідкладної медичної допомоги постраждалим у виробничих приміщеннях під час проведення робіт повинно перебувати не менше двох осіб.

Для дотримання вимог електробезпеки обладнання робочих місць (лабораторні столи, стільці, вихідні (робочі) еталони, засоби вимірювальної техніки, засоби ремонту, допоміжне повірочне (калібрувальне) обладнання та інші засоби, що мають струмоведучі частини) повинне бути надійно заземлене. Для цього виробничі приміщення обладнуються контурами заземлення. Опір заземлення не повинен перевищувати 4 Ом. Кожен елемент робочих місць, що заземлюється, треба під'єднувати до заземлення окремим дротом. Дроти заземлення виконують так, щоб була можливість їх зовнішнього огляду.

До роботи із засобами вимірювальної техніки, які мають на вихідних пристроях напругу понад 1000 В, допускаються особи з кваліфікаційною групою не нижче IV. Зазначені роботи проводяться у присутності не менше двох осіб із кваліфікаційною групою не нижче III. Під час приєднання таких засобів вимірювальної техніки повинні використовуватися тільки високовольтні дроти, перед приєднанням до електромережі засоби вимірювальної техніки треба надійно заземлити. Після закінчення робіт або в разі заміни приладів на робочому місці необхідно вимкнути з розеток кабелі електроживлення.

					МІМТ.480.011.844 – ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При виконанні робіт на засобах вимірювальної техніки без вимикання електроживлення (наприклад, вимірювання режимів роботи елементів схеми під час виконання ремонтних робіт) роботи необхідно проводити однією рукою, перебуваючи на діелектричному килимку чи на ізольованій підставці.

Категорично забороняється:

- підключати засоби вимірювальної техніки до мережі електроживлення без захисного заземлення;
- використовувати для з'єднування дроти, що не мають стандартних наконечників і надійної ізоляції, а також проводити з'єднання дротів шляхом їх скручування без подальшої ізоляції;
- використовувати для роботи невипробувані і несправні захисні засоби та інструмент;
- замінювати запобіжники і індикаторні лампочки без вимикання приладів з мережі живлення;
- виконувати роботи несправними засобами вимірювальної техніки.

До проведення калібрування допускаються особи, що мають досвід роботи з приладами та пройшли інструктаж з охорони праці у встановленому в ТОВ “ТЕСТМЕТРСТАНДАРТ” порядку.

При проведенні калібрування повинні виконуватись :

- вимоги НПАОП 40.1-1.21;
- під час роботи необхідно дотримуватись вимог розділів “Вимоги техніки безпеки”, технічних описів на обладнання та приладів, що використовуються.

Під час проведення робіт необхідно виконувати правила охорони праці, встановлені інструкцією з охорони праці на даний вид робіт, а також правила, вказані в експлуатаційних документах на конкретні ЗВ, та обладнання.

					МІМТ.480.011.844 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи розроблено метрологічне забезпечення калібрувальної лабораторії засобів вимірювання фотометричних параметрів

Розглянуто законодавчі вимоги до діяльності системи технічного регулювання. Розглянуто основи молекулярної спектроскопії та прилади для спектрофотометрії і фотометрії.

Розроблено методику калібрування приладів для вимірювання фотометричних параметрів:

- операції та засоби калібрування;
- умови проведення калібрування;
- проведення вимірювань та визначення показів при калібруванні спектрофотометрів;
- проведення вимірювань та визначення показів при калібруванні фотоелектроколориметрів, фотометрів загального призначення;
- проведення вимірювань та визначення показів при калібруванні приладів перевірки рівня димності ДТЗ з дизельними двигунами та димомірів;
- проведення вимірювань та визначення показів при калібруванні вимірювачів світлопропускання скла;
- проведення вимірювань та визначення показів при калібруванні денситометрів;

Розроблено протоколи оформлення результатів калібрування.

					МІМТ.480.011.844 – ПЗ	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1) Закон України про метрологію та метрологічну діяльність. – К.: №1314- VII-ВР, 05.06.2014 р
- 2) ДСТУ ISO / ІЕС 17025:2019 Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій
- 3) Мельничук Д.О. Аналітичні методи досліджень. Спектроскопічні методи аналізу: теоретичні основи і методики: навчальний посібник для підготовки студентів вищих навчальних закладів / Д.О. Мельничук, С.Д. Мельничук, В.М. Войціцький та ін.: за ред. акад. Д.О. Мельничука. – К.: ЦП «Компринт», 2016. – 289 с.
- 4) Основи радіометрії та фотометрії : монографія / Л. А. Назаренко, В. М. Сорокін; Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Х. : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2014. – 352 с.
- 5) Петрук В. Г. Спектрофотометрія світлорозсіювальних середовищ. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2000. – 207 с.
- 6) Фізичні основи біомедичної оптики: Монографія / С.Павлов, В.Кожем'яко, П.Колісник,Т.Козловська, В.Думенкою – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 156 с.
- 7) <https://almedika.company.ua/p771481326-tsifrovoj-fotoelektrokolorimetr-120.html>
- 8) <https://almedika.company.ua/p2801212013-spektrofotometr-tsifrovoj-307s.htm>
- 9) <https://spectrolab.com.ua/ua/p17375431-fotokolorimetr-kfk-kfk.html>
- 10) <https://spectrolab.com.ua/ua/p1822541977-fotokolorimetr-kfk.html>
- 11) ДСТУ 8956:2019 Метрологія. Аналізатори медичного призначення імуноферментні. Методика повірки.
- 12) ЕА-4/02 Evaluation of the uncertainty of measurement in calibration (Вираз невизначеності вимірювань при калібруванні).

					МІМТ.480.011.844 – ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

13) МПУ 305/11-2010. Рекомендації. Метрологія. Спектрофотометри ультрафіолетової, видимої та ближньої інфрачервоної області спектру. Методика повірки.

14) МПУ 029/11-2014. Рекомендації. Метрологія. Фотометри загального призначення. Методика повірки.

15) МПУ 146/11-2003. Інструкція. Метрологія. Вимірювачі димності відпрацьованих газів. Методика повірки.

16) МПУ 311/11-2010. Рекомендації. Метрологія. Прилади для визначення коефіцієнту світлопропускання скла. Методика повірки.

17) ГОСТ 12.2.003-91. ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности (Обладнання виробниче. Загальні вимоги безпеки).

18) НПАОП 40.1-1.21 Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів, що затверджені Наказом Держнаглядохоронпраці від 09 січня 1998 р. № 4.

19) РМУ 13-064-2008/Методика розрахунку невизначеності вимірювань при проведенні калібрувань засобів вимірювальної техніки

