

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інфокомунікацій

Кафедра Інформаційно-вимірювальних технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

ГЮИК 464425.001 ПЗ

(позначення документа)

"Дослідження метрологічних показників колірних об'єктів"

(тема)

Виконав:

студент 2 курсу, групи ЗЯМ-22-2

Семенць А.В.

(прізвище, ініціали)

спеціальність 152 "Метрологія та інформаційно-
вимірювальна техніка

Тип програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Забезпечення якості

(повна назва спеціалізації)

Керівник

доц. Козлов Ю.В

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри ІВТ

(підпис)

проф. Захаров І.П.

(прізвище, ініціали)

2024 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інфокомунікацій
Кафедра Інформаційно-вимірювальних технологій
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
Спеціальність 152 " Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка "
Тип програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)
Освітня програма "Забезпечення якості"
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Зав. кафедри ІВТ
Проф.Захаров
І.П. _____
(підпис)
« _____ » _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Студентові Семенцю Андрію Валерійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження метрологічних показників кольірних об'єктів

затверджена наказом університету від 03.11.2023 р. № 1294Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 10.01. 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Дослідити метрологічні показники
кольірних об'єктів.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі

4.1 Вступ;

4.2 Аналіз моделей для колориметрів

4.3 Аналіз розмірів променистої енергії і світла;

4.4 Оцінка кольорових вимірювальних приладів;

4.5 Оцінка фотометричних вимірювань;

4.6 Оцінка стандартних невизначеностей результатів вимірювань;

4.7 Розробка методів перевірки гіпотези закону розподілу;

4.8 Охорона праці;

4.9 Висновки

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) _____
Демонстраційний матеріал представлений у форматі презентації

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз завдання	05.11.23	виконано
2	Пошук літератури	09.11.23	виконано
3	Аналіз моделі колориметрів	10.11.23	виконано
4	Аналіз розмірів променистої енергії і світла	14.11.23	виконано
5	Оцінка кольорових вимірювальних приладів	20.11.23	виконано
6	Оцінка фотометричних вимірювань	25.11.23	виконано
7	Оцінка стандартних невизначеностей результатів вимірювань	01.12.23	виконано
8	Розробка методів перевірки гіпотези закону розподілу	15.12.23	виконано
9	Виконання розділу «Охорона праці»	20.12.23	виконано
10	Оформлення пояснювальної записки	28.12.23	виконано

Дата видачі завдання _____ 2023 р.

Студент _____ Семенець А.В.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник роботи _____ доц. Козлов Ю.В.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до атестаційної роботи магістра: 82 с., 9 табл., 12 рис., 51 джерело.

КОЛОРИМЕТРІЯ, ЕЛЕКТРОННИЙ КОЛОРИМЕТР, МОДЕЛЬ, ЕНЕРГІЯ, СВІТЛО, ДЕНСИТОМЕТР, СПЕКТРОФОТОМЕТР, ПРИЛАД, ХАРАКТЕРИСТИКИ

Об'єктом дослідження є метрологічні показники для об'єктивного вимірювання колірних характеристик об'єктів.

Метою роботи є розроблення моделі приладу, який дозволяє здійснювати експрес-контроль кольорових характеристик з досить високими метрологічними показниками.

В результаті дослідження літературних джерел було проведено аналіз колориметрів, які працюють на основі моделей RGB, CMY та CMYK. В результаті дослідження літературних джерел було проведено аналіз колориметрів, які працюють на основі моделей RGB, CMY та CMYK. Розглянуті основні питання проектування приладів для вимірювання кольору, які виконують не властиву людському оці операцію – вони призначають певні числові значення для кольору, які потім можуть бути проаналізовані та інтерпретовані з точки зору допусків та обмежень для контролю якості продукції. Розроблений цифровий колориметр дозволяє здійснювати експрес-контроль кольорових характеристик з досить високими метрологічними показниками і не вимагає високої кваліфікації обслуговуючого персоналу. Описаний прилад працює так, як людина бачить колір з середнім зором, тому люди з вадами зору можуть успішно працювати з таким приладом.

ABSTRACT

Explanatory note to the appraisal work of the master: 82 pp., 9 table., 12 Fig., 51 sources.

COLORIMETRY, ELECTRONIC COLORIMETER, MODEL, ENERGY, LIGHT, DENSITOMETER, SPECTROPHOTOMETER, DEVICES, CHARACTERISTICS

The object of the study is metrological indicators for objective measurement of color characteristics of reflected objects.

The purpose of this work is to develop a model of the device that allows for rapid control of color characteristics with fairly high metrological performance.

As a result, the colorimeter analysis of the model model based on RGB, CMY and CMYK models was performed. Comparative shortcomings of RGB and CMYK models are made. The main aspects, parameters, dimensions of radiant energy and light that characterize the state of the radiant energy are considered. The main issues of color measuring instruments, which perform a non-human eye operation, are considered - they assign specific color numerical values, which can then be analyzed and interpreted in terms of tolerances and control limitations. The developed digital colorimeter allows to carry out express control of color characteristics with rather high metrological indicators and does not demand high qualification of service personnel. The described device reproduces the average human vision, and people with normal and abnormal vision can work with such a tool with equal success.

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень і термінів.....	8
Вступ.....	9
1. Моделі в колиметрії	10
1.1 Модель RGB	100
1.2 Субтрактивні моделі	11
1.2.1 Модель СМУ	12
1.2.2 Модель СМУК.....	13
1.2.3 Недоліки моделей RGB та СМУК.....	14
2. Розмір променистої енергії і світла	16
3. Прилади для вимірювання кольору.....	22
3.1 Пристрої та їх функції	22
3.2 Фотометричні вимірювання	27
3.2.1 Концентрація колориметра КФК–2	27
3.2.2 Оптична схема колориметра	29
3.2.3 Електронний колориметр	30
3.3 Стандартні умови вимірювання кольору.....	36
3.4 Оцінка стандартних невизначеностей результатів вимірювань.....	42
3.5 Методи перевірки гіпотези закону розподілу	43
3.5.1 Червоний фотодіодний канал.	43
3.5.2 Синій фотодіодний канал.....	54
3.5.3 Зелений фотодіодний канал	58
3.6 Розрахунок стандартної невизначеності.....	62
4. Охорона праці	68
4.1 Аналіз умов праці на робочому місці дослідника	68
4.2 Промислова безпека.....	69
4.3 Виробнича санітарія.....	72
4.4 Протипожежна безпека.....	75

Висновки	77
Перелік джерел	78
ГЮИК 464425.001 ВД	82

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

AMUX – (англ. Analog Multiplexer) – входи аналогових мультиплексорів;

CIE – (англ. International Commission on Illumination - міжнародна комісія з освітлення) – міжнародний орган, провідний розробник технічних стандартів в галузі світла, освітлення, кольору і колірних просторів;

CIE L * a * b * – системи колірних просторів;

CMS – (англ. colour management system - система керування кольором) – програмна система, яка спрямована, по-перше, на досягнення однакових кольорів на всіх стадіях друкарського процесу, від сканера до друкарського верстата, по-друге, на забезпечення послідовного відтворення кольорів на всіх пристроях виводу (наприклад, на будь-якому моніторі);

СМΥК – (Cyan, Magenta, Yellow, Key или Black), чотирьохкольорова автотіпія – субтрактивна схема формування кольору, яка використовується перш за все в поліграфії для стандартної триадної друку;

CRT – (англ. cathode ray tube) – електронно-променева трубка (ЕПТ) — клас вакуумних електронних приладів, в яких використовується потік електронів;

GOI – оптична схема колориметра;

RGB – (аббревіатура англійських слів red, green, blue - червоний, зелений, синій) або КЗС – адитивна кольорова модель, що описує спосіб кодування кольору для відтворення кольору за допомогою трьох кольорів, які прийнято називати основними;

АЦП – аналого-цифрові перетворювачі;

ПК – персональний комп'ютер.

ВСТУП

Прилади для вимірювання та визначення кольору предмета чи поверхні використовуються вже більше десяти років. В даний час вони все частіше знаходять застосування в різних галузях людської діяльності – в електронній галузі, медицині, криміналістиці, сільському господарстві, космонавтиці тощо.

Актуальність розробки та виробництва нових сучасних приладів та методів вимірювання кольору з широкими експлуатаційними можливостями, недорогі та прості у використанні сьогодні незаперечні [1].

Одним з найпоширеніших інструментів вимірювання кольору, який використовується в різних областях, є електронний колориметр. Він має такі переваги: можливість вираження кольорового контролю, простота в експлуатації, висока точність вимірювання, відносна дешевизна. Можливості електронного колориметра значно перевищують можливості інших кольорових вимірювальних приладів.

При цьому необхідно не визнавати, що розробка засобів і методів вимірювання кольору ще знаходиться на стадії становлення. Немає сумнівів у необхідності розширення кола завдань та ситуацій використання електронних колориметрів, вдосконалення його дизайну як з точки зору практичних потреб, так і з метою накопичення теоретичного досвіду.

1. МОДЕЛІ В КОЛОРИМЕТРІЇ

Колориметрія – наука про методи, вимірювання та кількісне вираження кольору, а також про сукупність таких методів і засобів. Знання колориметрії дає змогу розширити групу методів кількісного аналізу на основі визначення концентрації речовини в кольоровому розчині шляхом вимірювання кількості світла, поглиненого цим розчином.

1.1 Модель RGB

Це одна з найпоширеніших і часто використовуваних моделей. Як і монітори, прожектори, фільтри тощо. Ця кольорова модель заснована на трьох основних кольорах: червоний – червоний, зелений – зелений і синій – синій. У системі RGB в якості основних стимулів були отримані три монохроматичні довжини хвилі: $\lambda_R = 700$ нм, $\lambda_G = 546,1$ нм, $\lambda_B = 435$ нм. Основним стимулом є білий рівноважний колір.

Колориметрія – це наука про методи вимірювання та кількісного визначення кольору, а також про комбінації таких методів та інструментів. Знання колориметрії дозволяє розширити групу методів кількісного аналізу на основі визначення концентрації речовини в кольоровому розчині шляхом вимірювання кількості світла, поглиненого цим розчином.

Ця кольорова модель вважається адитивною, тобто у міру збільшення яскравості окремих компонентів яскравість отриманого кольору зростатиме: якщо змішати всі три кольори з максимальною інтенсивністю, результат буде білим; навпаки, за відсутності всіх кольорів- стає чорним.

Модель залежить від обладнання, оскільки значення основних кольорів (а також білої точки) визначаються якістю люмінофора, використовуваного в моніторі. Як результат, на різних моніторах одне і те ж зображення виглядає однаково.

Таблиця 1.1 – Значення деяких кольорів у моделі RGB

Колір	Діапазон довжин хвиль, нм	Діапазон частот, ТГц	Діапазон енергії фотонів, эВ
Червоний	625—740	405—480	1,68—1,98
Помаранчевий	590—625	480—510	1,98—2,10
Жовтий	565—590	510—530	2,10—2,19
Зелений	500—565	530—600	2,19—2,48
Блакитний	485—500	600—620	2,48—2,56
Синій	440—485	620—680	2,56—2,82
Фіолетовий	380—440	680—790	2,82—3,26

Система координат RGB – це куб з відліком (0,0,0), який відповідає чорному. Максимальне значення RGB – (1,1,1) – відноситься до білого кольору.

Всі кольорові моделі, включаючи цю, є незалежними та створені для практичного вираження кольорового простору – це просто зручний засіб подання кольору і не має прямої залежності від типу шишок у людському оці. З математичної точки зору вони базуються на теорії простору Гільберта. На рисунку 1.1 зображено колірний трикутник SRGB, він представлений у вигляді підмножини X, Y кольоровим простором на основі колориметрії CIE 1931.

1.2 Субтрактивні моделі

Субтрактивні кольори, на відміну від адитивних кольорів (та сама модель RGB), отримуються шляхом віднімання вторинних кольорів від загального світлового променя. У цій системі білий з'являється внаслідок відсутності всіх кольорів, тоді як їх наявність дає чорний колір.

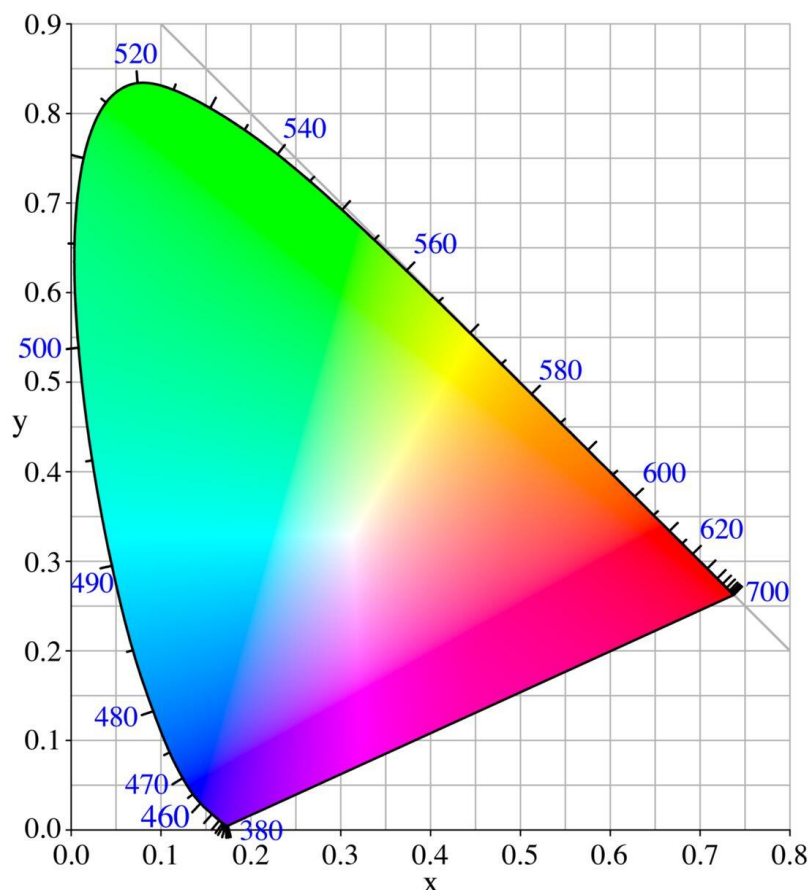


Рисунок 1.1 – Колірний трикутник

1.2.1 Модель СМУ

У цій моделі основні кольори утворюються шляхом віднімання основних кольорів добавки з моделі RGB від білого.

Кольори, які використовують біле світло для віднімання певних частин спектру від нього, називаються віднімаючими. Основні кольори цієї моделі: синій (білий мінус червоний), фуксин (у деяких книгах його називають фіолетовим) (білий мінус зелений) та жовтий (білий мінус синій). Ці кольори є друкарською тріадою і їх легко відтворити друкарськими машинами. Коли два субтрактивних кольори змішуються, результат зменшується (і навпаки, в моделі RGB). Коли всі компоненти дорівнюють нулю, утворюється білий (білий папір). Ця модель

представляє відображений колір, і її називають віднімаючою базовою кольоровою моделлю. Ця модель є базовою для друку, а також залежить від обладнання.

Система координат CMY – це той же куб, що і для RGB, але починається в точці з координатою RGB (1,1,1), що відповідає білому.

1.2.2 Модель CMYK

Це ще одна з найбільш широко використовуваних кольорових моделей, які широко використовуються. Вона, як і CMY, є віднімаючою моделлю.

Модель CMYK (Cyan–Magenta–Yellow–Key, Key означає чорний) – це додаткове вдосконалення моделі CMY і вже є чотирьохканальною. Оскільки справжні друкарські фарби мають домішки, їх колір точно не відповідає теоретично розрахованим синім, жовтим та фіолетовим кольорами. Особливо важко отримати чорний колір від цих фарб. Тому в моделі CMYK до тріади додається чорний колір. Чомусь у назві кольорової моделі чорний колір шифрується як K (від слова Key – ключ). Модель CMYK є "емпіричною", на відміну від теоретичних моделей CMY та RGB. Модель залежить від обладнання.

Основні кольори в віднімаючій моделі відрізняються від кольорів, що додають. Блакитний- блакитний, пурпуровий – пурпуровий, жовтий – жовтий. Оскільки змішування всіх перерахованих вище кольорів не виходить ідеальним чорним, то вводиться ще один додатковий колір – чорний, який дозволяє отримати більшу глибину і використовується при друку інших чорних (таких як звичайний текст) об'єктів.

Модель CMYK – це субтрактивна кольорова модель, яка описує фактичні барвники, що використовуються при друкуванні.

Кольорова модель RGB має більш широку колірну гамму (може представляти більш насичені кольори), ніж типова кольорова гама CMYK у багатьох кольорових тонах, тому іноді зображення, контрастні в системі RGB, значно затьмарюються в моделі CMYK.

1.2.3 Недоліки моделей RGB та CMYK

В процесі роботи необхідно перетворити колір з однієї моделі в іншу. І RGB, і CMYK мають різну кольорову гаму, і перетворення передбачає втрату деяких відтінків. Це перший негативний момент – різниця в кольоровому покритті моделей.

Не менш важливою є залежність цих моделей від пристрою. Наприклад, відображення одного і того ж зображення на двох різних моніторах, швидше за все, призведе до іншого результату. Кольори та яскравість будуть дещо різними, але вони залежать від марки люмінофора, налаштувань монітора, напруги, терміну служби трубки тощо. Під час сканування різними сканерами ми побачимо на екрані різні кольори. Що ще гірше, всі вони будуть відрізнятися від оригіналу. Тут колір визначається налаштуваннями та властивостями сканера. Ще більш очевидною буде різниця в кольорі, якщо ви друкуєте зображення на обкладеному, офісному та газетному папері. Більше того, якщо ви друкуєте два відбитки одного зображення на одному папері та одному й тому чорнилі, кольори все одно можуть бути різними. Колір друкованого зображення залежить від величезної кількості факторів: це і тип паперу, і його білість, і вологість, і чорнильна марка, і швидкість друку на друкарському верстаті, і марка машини і багато–багато інших параметрів. З наведених вище прикладів видно, що RGB і CMYK – це залежні від обладнання моделі.

Тому одне з головних завдань при роботі з кольоровими зображеннями – передбачуваність кольору. Для цього була створена система управління кольором (CMS). Це програмна система, яка спрямована, по-перше, на досягнення однакових кольорів на всіх стадіях друкарського процесу, від сканера до друкарського верстата, по-друге, на забезпечення послідовного відтворення кольорів на всіх пристроях виводу (наприклад, на будь-якому моніторі). Для правильного відображення кольорів зручно визначити стандартну модель, якій кольори надаються на всіх етапах процесу.

Успішна спроба створення апаратної незалежної кольорової моделі на основі сприйняття кольорів людини – це Лабораторія.

Ще один недолік RGB і CMYK полягає в тому, що яскравість і колір пікселів взаємопов'язані. Сприйняття кольору має таку особливість: при однаковій інтенсивності людське око сприймає зелений колір променів як найяскравіший, як дещо менш яскравий – червоний і як досить темний – синій. Таким чином, у моделі RGB колір точки і її яскравість пов'язані. Наприклад, насичений синій буде дуже темним, а насичений жовтий – дуже світлим. Кожна точка на зображенні RGB сприймається оком як більш-менш яскрава. Усі три кольорові канали зображення беруть участь у формуванні цієї точки. Для обчислення реальної яскравості для врахування внеску кожного кольорового каналу використовується наступна емпірична формула

$$Y = 0.2125 \cdot R + 0.7154 \cdot G + 0.0721 \cdot B \quad (1.1)$$

Можна безпосередньо спостерігати яскравість при перекладі зображення на півтони. Єдиний канал такого документа зберігає лише яскравість точок, не враховуючи їх колір.

У моделі CMYK найбільш яскравим є білий папір, на якому нічого не надруковано. Тому компонентам цієї моделі зручніше використовувати параметр зворотної яскравості – нейтральну оптичну щільність фарби. Він найбільший для чорного (він найтемніший) і зменшується в такому порядку: фіолетовий, синій, жовтий.

Відсутність кореляції між яскравістю та кольором особливо проявляється в процесі корекції кольорів. Коли контраст посилюється, колір пікселів змінюється, а яскравість кольору змінює загальну яскравість зображення. Модель лабораторії позбавлена і цього негативного моменту – яскравість у ній майже повністю відокремлена від кольорової [32].

2. РОЗМІР ПРОМЕНИСТОЇ ЕНЕРГІЇ І СВІТЛА

Всі параметри, що характеризують стан променистої енергії, виражаються в енергетичних або світлових одиницях. Енергію випромінювання у видимій області зазвичай вимірюють у світлових одиницях на основі сприйняття світла людського ока, а в інфрачервоних, ультрафіолетових та інших короткохвильових областях випромінювання, не сприйнятих людським оком, в енергетичних одиницях. Оскільки в деяких випадках випромінювання за своїм складом настільки складне, що містить як видимі, так і невидимі промені, існує певна залежність між енергетичними значеннями [22 – 24, 36].

З'єднання одиниць енергії та освітлення вимірювання променевої енергії здійснюється за допомогою так званого коефіцієнта видимості та механічного еквівалента світла.

Коефіцієнт видимості V_{λ} або світловіддача спектрального випромінювання з довжиною хвилі λ – відношення видимого людського ока потоку λ у люменах до спектрального випромінювального потоку Φ_{λ} у ватах

$$V_{\lambda} = \frac{\Phi_{\lambda}}{\Phi_{\lambda_0}} \quad (2.1)$$

Коефіцієнт видимості характеризує властивість людського ока сприймати світло різної довжини хвилі по-різному. Коефіцієнт видимості має максимальне значення $V_{\max}$ при $\lambda = 555$ нм, зменшуючись до нуля до меж діапазону довжин хвиль видимого випромінювання 400 і 760 нм. Відношення коефіцієнта видимості V_{λ} світла з довжиною хвилі λ до значення $V_{\max}$ називається коефіцієнтом відносної видимості V_{λ} , значення якого характеризуються графіком видимості, показаним на рисунку 2.1. За допомогою цього графіка визначається коефіцієнт видимості за формулою:

$$V_{\lambda abc} = V_{\max} \cdot V_{\lambda}, \quad (2.2)$$

де $V_{\max}$ виявляється через механічний еквівалент світла M_{CB} рівнянням.

$$V_{\max} = \frac{1}{M_{CB}} = 683 \text{ лм/вт} \quad (2.3)$$

Механічний еквівалент світла – це мінімальна потужність, необхідна для створення однопроменевого світлового потоку на максимальній довжині хвилі людського ока. Він виражається числом $M_{CB} = 0,00146 \text{ вт/лм}$.

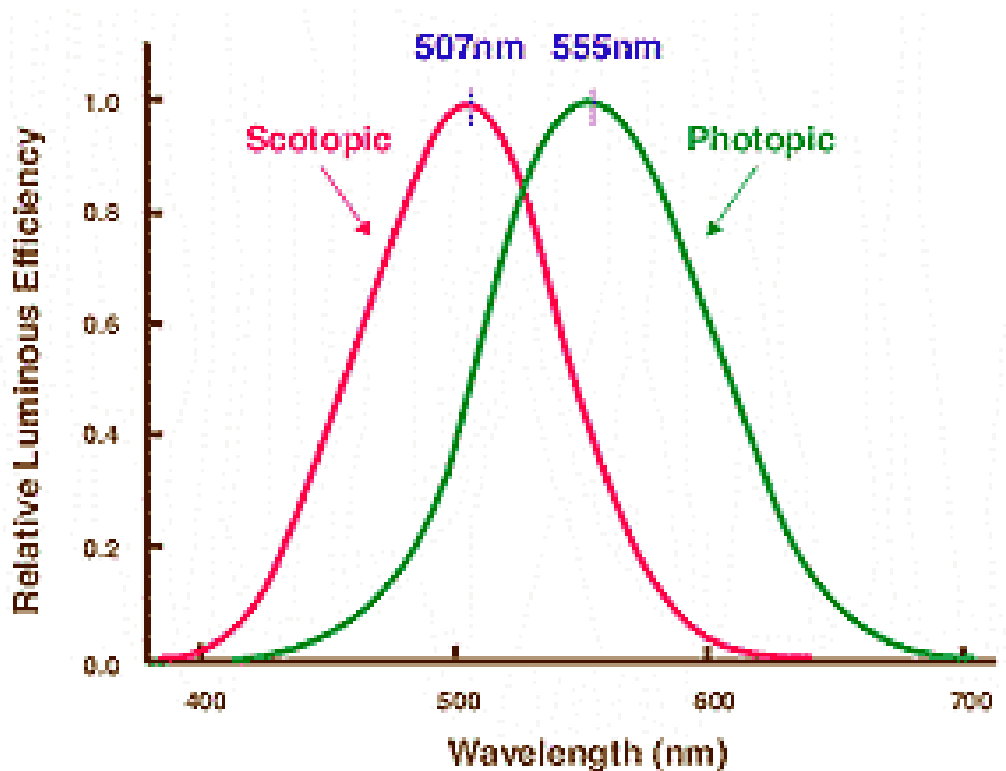
Якщо випромінюючий потік Φ_e по довжині хвилі неоднаковий і виражається функцією $\Phi_e(\lambda)$, то загальний світловий потік, сприйнятий за цих умов оком, можна визначити, інтегруючи добуток $\Phi_e(\lambda) \times V_{\lambda abs}$ для всіх довжин хвиль в межах $400 < \lambda < 760 \text{ нм}$:

$$\Phi = \int_{400}^{760} \Phi_e(\lambda) \cdot V_{\lambda abc} \cdot d\lambda \quad (2.4)$$

Із спільного розчину (2.1) та (2.3) знаходимо остаточну формулу світлового потоку

$$\Phi = 683 \cdot \int_{400}^{760} \Phi_e(\lambda) \cdot V_{\lambda abc} \cdot d\lambda \quad (2.5)$$

При вимірюванні фотометричних значень слід враховувати одну з їх особливостей. На відміну від розглянутих вище значень випромінювання, вимірювання фотометричних значень ґрунтується на фізіологічній дії світла і тому значною мірою є суб'єктивним. Справа в тому, що випромінювання різної довжини хвилі викликає різне зорове відчуття.



Очі вдень – зелена крива, сутінки – крива червона

Рисунок 2.1 – Криві коефіцієнта відносної видимості людини

Ця різниця, з одного боку, є якісною; випромінювання різної довжини хвилі викликають різні кольорові відчуття; з іншого боку, ця різниця є кількісною, тобто випромінювання різної довжини хвилі викликають відчуття різної інтенсивності.

Найбільший випромінювання світла при одному потоці променевої енергії викликається випромінюванням довжиною хвилі $\lambda = 0,556$ мкм. Випромінювальна енергія залишків довжин хвиль видимої частини шкали електромагнітних хвиль викликає менше відчуття. Випромінювальна енергія довжин хвиль, що перевищує 0,770 мк і менше 0,400 мк, зовсім не викликає відчуття світла.

Суб'єктивність фотометричних значень проявляється також у тому, що люди сприймають різні частини спектру по-різному. Тому для вимірювання

фотометричних значень ґрунтуються на так званій середній чутливості очей, яка встановлюється із порівняння індивідуальної чутливості очей великої кількості осіб без візуальних дефектів.

Середня чутливість ока характеризується особливим значенням, яке називається функцією наочності.

Основним фотометричним значенням у системі СІ вважається інтенсивність світла джерела I , тобто величина, яка визначає енергію, оцінену за ефектом світла, що випромінюється ізотропним джерелом, на кут тіла, рівний 1 стеріану, за одиницю часу. Одиницею вимірювання сили світла є свічка (и).

Світловий потік. Світловий потік, що направляється джерелом світла до певного кута тіла $\Delta\omega$, називається величиною, що дорівнює добутку сили світла I джерела на величину кута тіла, тобто

$$\Delta F = I \cdot \Delta\omega \quad (2.6)$$

Вкладаючи в цю формулу $I = 1$ св, $\Delta\omega = 1$ ер, отримуємо одиницю вимірювання світлового потоку. Ця одиниця називається просвітом.

Люмени (л) – це світловий потік, який дає точковий ізотропний джерело світла на 1 св під кутом тіла 1 ер. З формули (2.6) випливає, що загальний світловий потік, що випромінюється джерелом світла I :

$$F = 4 \cdot \pi \cdot I \quad (2.7)$$

Світловий потік також можна визначити так: світловий потік через деяку поверхню ΔS – це енергія, що оцінюється за допомогою світлового відчуття, що передається випромінюванням по цій поверхні за одиницю часу.

Функція видимості. Функція видимості V_λ – відношення світлового потоку F до спектрального потоку випромінювання F_λ , який створює цей світловий потік, тобто

$$V \cdot \lambda = F \cdot \Phi \cdot \lambda \quad (2.8)$$

У цій формулі спектральний потік випромінювання $F\lambda$ характеризує світло як фізичне явище, а світловий потік F характеризує світло як фізіологічне явище.

Значення $F\lambda$ вказує, скільки енергії проходить через поверхню за одиницю часу, а F характеризує відчуття, яке ця енергія викликає в організмі зору людини.

Таким чином, функція видимості – це величина, яка з'єднує кількісну характеристику світла, як фізичних, так і фізіологічних явищ.

Функція наочності – це суб'єктивне значення. Ця суб'єктивність виявляється, насамперед, у тому, що числове значення функції видимості є різним для різних людей; по-друге, що для одного і того ж ока функція видимості має різні значення для світла різної довжини хвилі.

Для ока середньої чутливості функція видимості має найвище значення при довжині хвилі $\lambda = 0,556$ мкм. Для довжин хвиль більше 0,770 мкс та менше 0,400 мкс функція видимості дорівнює нулю.

З формули (2.8) випливає, що функція видимості вимірюється в одиницях lmW.

Поверхневе освітлення. Освітленість E визначається падінням потоку світла на одиницю площі. З визначення випливає, що

$$E = F \cdot S, \quad (2.9)$$

де F – світловий потік, що падає на ділянку S .

Поклавши в цю формулу $F = 1$ лм, $S = 1$ м², отримаємо одиниця освітленості $= 1$ лм $\cdot$ м² $= 1$ лм $\cdot$ м². Цей блок називається набором.

Люкс (lx) – підсвічування, що створюється світловим потоком 1 lm з рівномірним розподілом на площі 1 м².

Світливість R визначається кількістю світлового потоку, що виділяється з одиничної площі світної поверхні, тобто

$$R = F \cdot S, \quad (2.10)$$

де F – загальний світловий потік, що викидається з області S .

Порівняння формул (2.9) та (2.10) показує, що світність має вимірюватися в тих же одиницях, що й освітленість, тобто у наборах.

Яскравість характеризує випромінювання світлової поверхні в цьому напрямку. Яскравість R_φ вимірюється відношенням сили світла в будь-якому напрямку до проекції світної поверхні на площину, перпендикулярну до цього напрямку, тобто

$$R \cdot \varphi = I \cdot S \cdot \cos \varphi \quad (2.11)$$

де I – сила світла області S у напрямку φ .

Положив в (94) $I = 1$ св, $S = 1$ м², $\varphi = 0$, отримаємо одиниця яскравості $= 1$ св¹ м² = 1 св·м². Ця одиниця називається болтом або свічкою на квадратний метр.

Болт (nt) – це яскравість світиться плоскої поверхні, квадратний метр якої дає в напрямку, перпендикулярному до цієї поверхні, світлову силу, рівну 1 ст.

3. ПРИЛАДИ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ КОЛЬОРУ

3.1 Пристрої та їх функції

Прилади для вимірювання кольору «сприймають» колір так само, як це роблять наші очі: отримуючи та фільтруючи відбиті від об'єкта і таким чином перетворюючи світлові хвилі різної довжини. Коли "спостерігач" є інструментом, він "розпізнає" відбите світло з певною довжиною хвилі як певне числове значення. Кількість та точність цих значень залежать від самого інструменту. Їх можна інтерпретувати або просто значенням оптичної щільності, або інтенсивністю – для цього служить денситометр; або через тривимірні координати кольорів – так чинить колориметр; або за допомогою спектральних даних, як це роблять спектрометри [30,31,37–39].

Прилади для вимірювання кольору всіх трьох типів виконують не властиву людському оці операцію – вони призначають кольору певні числові значення, які потім можуть бути проаналізовані та інтерпретовані з точки зору допусків та обмежень контролю. Кожен інструмент виконує ці перетворення по-своєму.

Серед цих пристроїв найбільш широко застосовуються денситометри.

Денситометр – це фотоелектричний прилад, який вимірює і обчислює, який відсоток відомої кількості світла відбивається від об'єкта (або проникає в об'єкт). Цей простий інструмент в основному використовується для друку, додрукарської підготовки та фотографії для визначення та вимірювання інтенсивності кольорів.

Колориметр вимірює інтенсивність світла, але на відміну від денситометра, він розбиває світло на компоненти RGB (приблизно те саме, що робить людське око, кольоровий монітор або сканер). Потім він визначає числові значення, що відповідають досліджуваному кольору в колірному просторі CIE XYZ або в одному з його похідних, CIE L * a * b * або CIE L * u * v *. Потім ці вимірювання інтерпретуються візуально – будується графічне зображення кольорового простору.

Спектрофотометр вимірює спектральні дані, тобто кількість світлової енергії, що відбивається від об'єкта через кілька інтервалів уздовж усього видимого спектру. В результаті виходить складний набір – серія величин, які візуально трактуються як спектральна крива.

Спектрофотометр збирає найповнішу кольорову інформацію. Потім інформація може бути перетворена в колориметричні або денситометричні дані за допомогою декількох стандартних обчислювальних операцій. Коротше кажучи, з усіх перерахованих пристроїв найбільш точними та універсальними є спектрофотометри.

Про зміну кольору нагрітого тіла можна судити про його температуру, яку використовують у кольорових пірометрах.

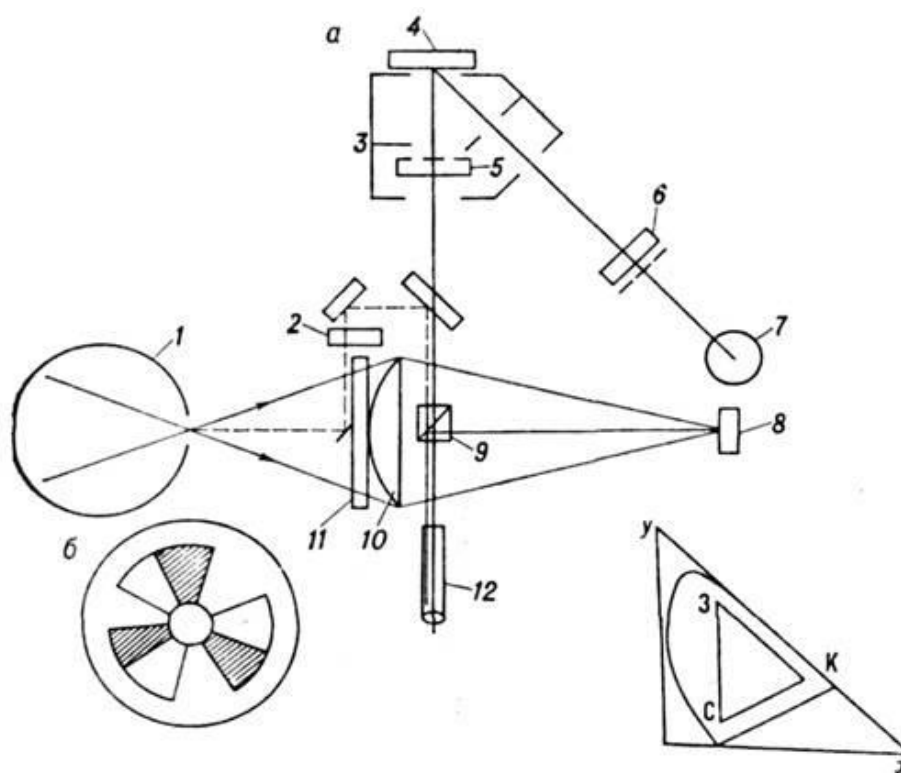


Рисунок 3.1 – Оптична схема колориметра GOI та положення кольорового трикутника колориметра KZS на кольоровій діаграмі XYZ

Розглянемо компоненти колориметра GOI, які представлені на рисунку 3.1:

а) 1, 7 – світильники; 2 – система розведення фільтрів; 3 – тримач коробки; 4 – зразок; S – місце для прозорого зразка; 6 – корекційний світлофільтр; 8 – екран змішувача; 9 – фотометричний куб; 10 – конденсатор; 11 – діафрагма зі світлофільтрами – червоний, зелений і синій;

б) діафрагма зі світлофільтрами – червоним, зеленим та синім;

в) колірний графік приладу.

У візуальних колориметрах колір вимірюється шляхом вирівнювання кольору двох половин поля зору, на одній з яких показано вимірюваний колір, а на іншому – колір суміші трьох основних кольорів інструменту, наприклад як червоний (Ч), зелений (З), синій (С). Регулюючи кількість первинних кольорів, можна досягти візуальної ідентичності кольору суміші з виміряним кольором. Зрівняні кольори є метамерними, тобто спектрально необов'язково однаковими. Визначення кольору проводиться шляхом вимірювання кольорових координат суміші, що є кількістю основних кольорів колориметра, присвоєних одиничним кількостям цих кольорів на трьох шкалах пристрою, пропорційним площам фільтрів, задають координати вимірюваного кольору в системі колориметра і дозволяють записати його у вигляді рівняння

$$Ц = \kappa' \cdot K + z' \cdot Z + c' \cdot C \quad (3.1)$$

Переваги візуального колориметра – простота вимірювань та висока точність визначення координат (до 0,03); недолік – суб'єктивна оцінка спостерігачем ідентичності кольорів. Крім того, колір виражається в основній колірній системі колориметра і необхідний для вираження його в міжнародній системі. Також важко безпосередньо вимірювати колір предметів цим методом; він корисний лише для вимірювання кольору зразків $\bar{X}(\lambda)$, $\bar{Y}(\lambda)$, $\bar{Z}(\lambda)$.

Фотоелектричні колориметри дозволяють вимірювати як колір випромінювання, що випромінюється джерелом, так і колір випромінюваного або

переданого об'єктом випромінювання. Суть методу полягає у вимірюванні спектрального розподілу енергії випромінювання $\varphi(\lambda)$ та подальшому обчисленні кольорових координат X , Y , Z шляхом множення знайденої функції $\varphi(\lambda)$ на три стандартизовані функції додавання основних кольорів і інтегруючи продукти відповідно.

При вимірюванні кольору випромінювання, відображеного (або переданого) об'єктом, також враховується функція спектрального відображення (або пропускання) $\rho(\lambda)$.

У цьому випадку вимірювані кольорові координати визначаються наступними виразами:

$$\begin{aligned} X &= \int_{380}^{760} \varphi(\lambda) \cdot \rho(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda) \cdot d\lambda \\ Y &= \int_{380}^{760} \varphi(\lambda) \cdot \rho(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) \cdot d\lambda \\ Z &= \int_{380}^{760} \varphi(\lambda) \cdot \rho(\lambda) \cdot \bar{z}(\lambda) \cdot d\lambda \end{aligned} \quad (3.2)$$

Аналіз вимірюваного випромінювання та обчислення кольорових координат у фотоелектричному колориметрі виконують автоматично за допомогою трьох селективних фотодетекторів, функції спектральної чутливості яких вибираються за допомогою корекційних світлових фільтрів, що збігаються з функціями додавання первинного кольори. Кожен з фотоприймачів перетворює випромінювання своєї спектральної області в електричний струм, виконуючи дію множення спектральних функцій та інтегруючи продукти. В результаті забезпечується пропорційність вихідних електричних сигналів до вимірюваних кольорів координат X , Y , Z . Один з інструментальних каналів, спектральна чутливість яких збігається з функцією, може служити вимірювачем яскравості. Фотоелектричні колориметри зазвичай мають електронні обчислювальні пристрої, які можуть перетворювати кольорові координати з системи XYZ в

координати інших колориметричних систем, наприклад (МСО, 1976), і порівнювати вимірюваний колір із кольором стандартного чи іншого зразка, представляючи результати у вигляді різниці кольорів або Δ (.,) тощо. Прилади, які виконують операцію порівняння близьких кольорів, називаються кольоровими компараторами.

Фотоелектричні колориметри дозволяють визначати колір та у випадку імпульсного освітлення здійснювати елементарний кольоровий аналіз зразків та здійснювати автоматичне розпізнавання кольорів складних об'єктів. Точність вимірювання хроматичності (x, y) досягає до 0,001, а точність визначення кольорових відмінностей порядку 0,5. Найбільш точні вимірювання кольорів проводяться спектроколориметрами, в яких виміряне випромінювання розкладається за допомогою дисперсійних призм або дифракційних решіток у спектр, "зчитуваний" фотоелектричним приймачем. Сигнали приймача безперервно (або через регулярні невеликі інтервали довжин хвиль) множать на функції додавання і інтегруються в межах довжин хвиль видимого спектру. Результати інтеграції – це координати вимірюваного випромінювання.

Колориметри використовуються в різних областях для контролю кольору (а отже, і якості) різних матеріалів і виробів, для контролю кольору джерел світла, світлових фільтрів, телевізійних і кінозображень, поліграфічних та текстильних виробів тощо.

У хімії колориметри використовують для вимірювання концентрації речовин у розчинах, які використовують властивість кольорових розчинів поглинати світло, що проходить через них, тим вище концентрація фарбувальної речовини. Всі вимірювання концентрації проводяться в монохроматичному світлі тієї частини спектру, яка найбільш сильно поглинається речовиною і слабо компонентами розчину. Колориметри, що використовуються для цього типу досліджень, використовують набори вузькосмугових (однотонних) фільтрів [34,40,41].

3.2 Фотометричні вимірювання

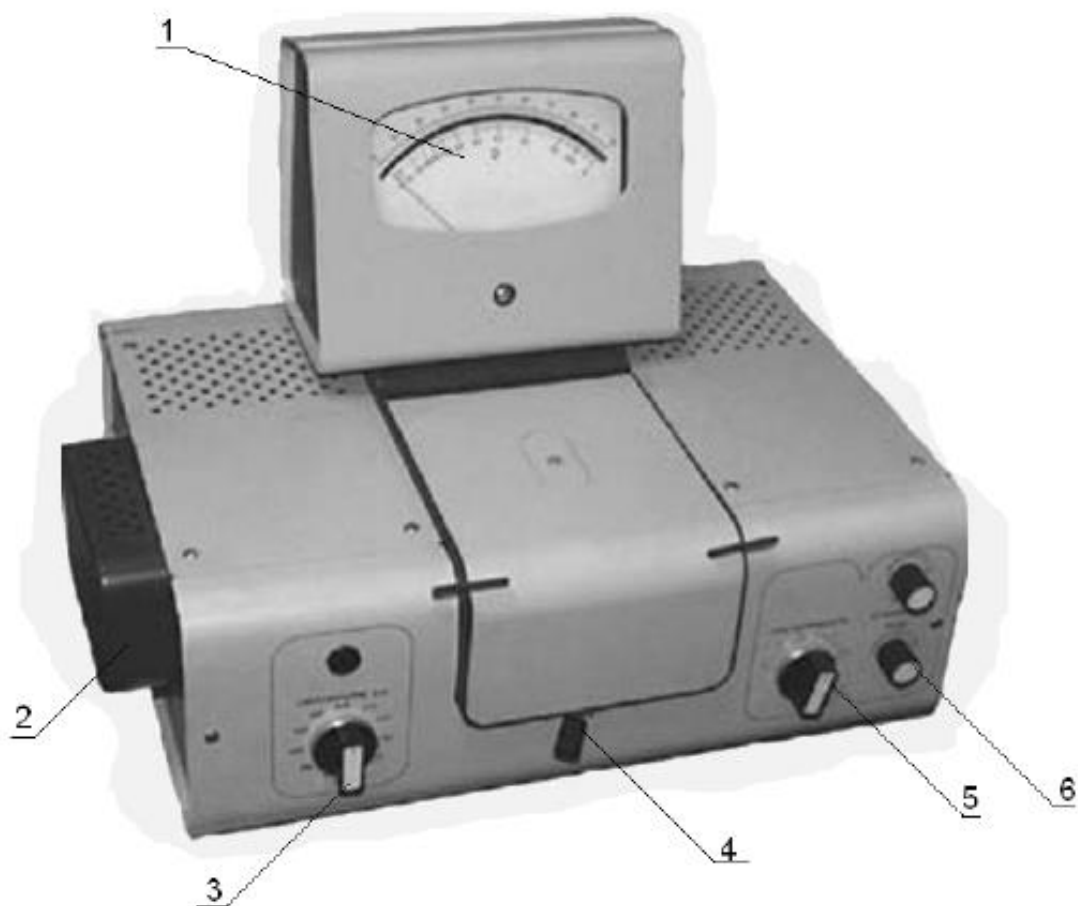
Для фотометричних вимірювань використовуються дві великі групи приладів: фотоколориметри та спектрофотометри. У колориметрах потрібні спектральні діапазони розрізняють за допомогою світлових фільтрів, що обмежують області спектру, в яких можна проводити вимірювання. У спектрофотометрах частини спектру розділені за допомогою призм або дифракційних решіток, що дозволяє встановити будь-яку довжину хвилі в заданому діапазоні [42 – 45].

Конкретна послідовність операцій при вимірюванні оптичної щільності або пропускання залежить від конструкції спектрофотометра або колориметра. Однак основні принципи залишаються незмінними. Спочатку встановіть необхідну довжину хвилі, вибравши світловий фільтр на колориметрі або обертаючи відповідну ручку на спектрофотометрі. Потім встановити нуль. Для цього помістіть кювету стандартного розчину в світловий потік. Змінюючи ширину зазору, вони переконуються, що показання пристрою відповідають значенню, вказаному в інструкції. На наступному етапі стандартний розчин замінюється випробуваним розчином і підраховується оптична щільність або коефіцієнт пропускання.

3.2.1 Концентрація колориметра КФК–2

На рисунку 3.2 показано зовнішній вигляд пристрою.

Колориметр фотоелектричної концентрації КФК–2 (рисунок 3.2) призначений для вимірювання в окремих ділянках діапазону довжин хвиль $\lambda = 315 \div 980$ нм, випромінюваних світлофільтрами, коефіцієнтами пропускання та оптичної щільності рідких розчинів і твердих тіл, а також для визначення графіки калібрування методу концентрації. Колориметр також дозволяє виміряти пропускну здатність суспензій, що розсіюються, емульсій та колоїдних розчинів у пропусканому світлі.



- 1 – шкала пропускання та оптична щільність;
- 2 – освітлювач;
- 3 – вимикач вимикачів світлових фільтрів;
- 4 – рукоятка руху вагона з осередками;
- 5 – ручка перемикання фотоприймачів;
- 6 – установочні ручки 100% пропускання

Рисунок 3.2 – Колориметр фотоелектричної концентрації KFK–2

Принцип вимірювання пропускання полягає в тому, що потоки світла, повні Φ і що проходять через досліджуване середовище 00, спрямовуються до фотоприймача і визначається співвідношення цих потоків.

Співвідношення потоків – це прохідність T досліджуваного розчину:

$$T = \Phi \cdot \Phi_0 \cdot 100\% \quad (3.3)$$

На колориметрі це співвідношення визначається наступним чином. Спочатку в промінь світла поміщають кювету з розчинником або контрольним розчином. Змінюючи чутливість колориметра, досягається, що підрахунок за шкалою пропускання колориметра умовно дорівнює 100. Таким чином, загальний світловий потік Φ_0 умовно вважається рівним 100%. Потім помістіть кювету з досліджуваним розчином у промінь світла. Отримане в результаті зчитування за шкалою пропускання колориметра буде відповідати F . Отже, коефіцієнт пропускання досліджуваного розчину у відсотках становитиме $T, \%$.

Оптична щільність D визначається за формулою:

$$D = -\lg \Phi \cdot \Phi_0 = 2 \cdot (-\lg T) \quad (3.4)$$

Оптична схема колориметра (рисунок 3.3) включає джерело світла 1 (галогенна лампа невеликого розміру КГМ 6,3–15), конденсатор 2, діафрагму 3, лінзу 4, тепловий фільтр для роботи у видимій області 5, нейтральний світловий фільтр 6 для ослаблення світлового потоку в 400–540 нм, змінний фільтр 7, захисні окуляри 8 і 10, між якими розміщена кювета 9, напівпрозоре дзеркальне відділення 11, що передає основну частину світлового потоку на фотоелемент 12 (який вимірює інтенсивність пропусканого світла в діапазоні 315 – 540 нм) меншу частину s світлового потоку через додатковий фільтр 13 на фотодіоді 14 (для вимірювання в діапазоні довжин хвиль вище 590 нм).

3.2.2 Оптична схема колориметра

Сигнали з фотоелемента або фотодіоду після ампліфікації подаються на мікроамперметр, масштаб якого запрограмований на значення пропускання T і оптичної щільності D . Схема підсилювача має дискретний перемикач типу і чутливості фотоприймача (ручка чутливості передньої панелі пристрою). Приблизно і ТОЧНО передня частина інструменту). На передній панелі також є ручка зміни кювети та ручка перемикання легкого фільтра. Під час роботи з приладом слід враховувати, що колір діапазону перемикача SENSITIVITY повинен відповідати кольору номерів вимикача світлофільтра.

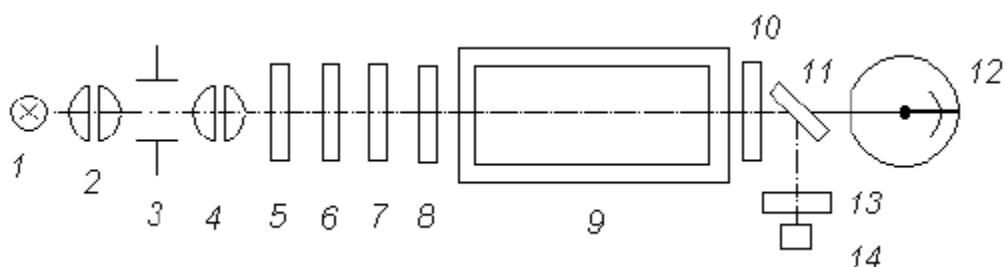


Рисунок 3.3 – Оптична схема колориметра

Оптичний блок включає: освітлювач, ободок з оптикою, світлофільтри; відділення кювети; тримачем кювети, фотометричний пристрій з підсилювачем постійного струму та елементами управління, що реєструє пристрій. Конструкція механізму освітлювача 2 (рисунок 3.3) забезпечує рух лампи в трьох взаємно перпендикулярних напрямках для її правильної установки. Конденсатор, отвір і об'єктив вбудовані в раму. Кольорові фільтри встановлені на диску. Світловий фільтр вставляється в світловий промінь ручкою 3 (рисунок 3.4). Спектральні характеристики фільтрів наведені в таблиці 3.1.

3.2.3 Електронний колориметр

Електронний колориметр розробив Ом [46]. Вимірювання кольору

проводиться шляхом розкладання тестового кольору на три компоненти, перетворення їх у фотоструми, підсилення отриманих сигналів до заданого рівня та подавання їх у три відхиляючі системи електронно-променевої трубки (CRT), розташовані на горловині під кутом 120 градусів відносно один одному. Схема розробленого електронного колориметра приведена на рисунку 3.4.

Таблиця 3.1 – Спектральні характеристики світлових фільтрів

№ Світлофільтра	Довжина хвилі, відповідна максимуму пропускання, нм	Ширина полоси пропускання, нм
1	315±5	35±15
2	364±5	25±10
3	400±5	45±10
4	440±10	40±15
5	490±10	35±10
6	540±10	25±10
7	590±10	25±10
8	670±5	20±5
9	750±5	20±5
10	870±5	20±5

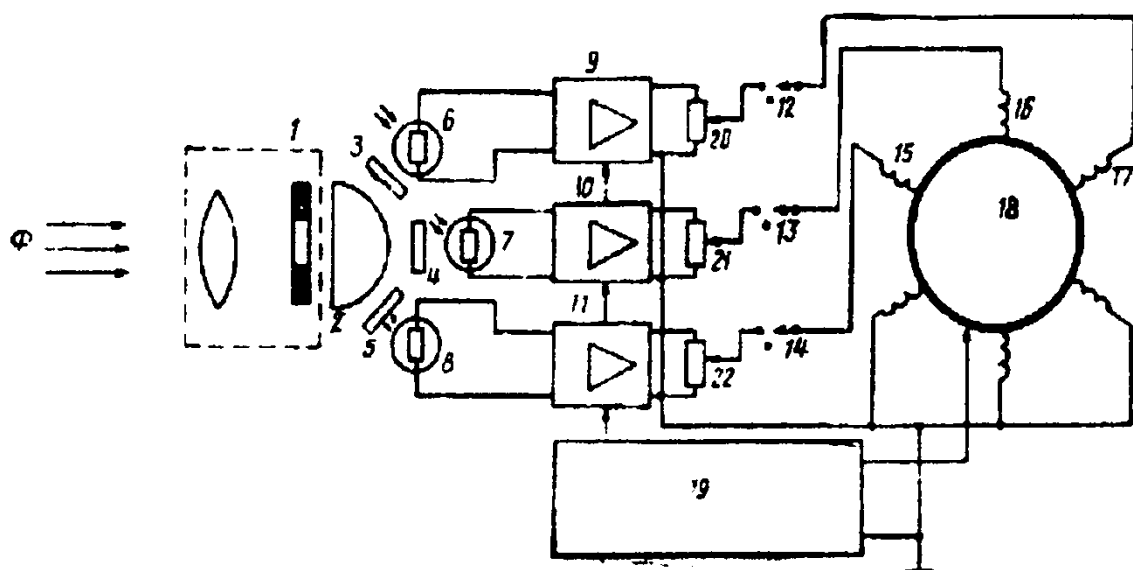


Рисунок 3.4 – Схема розробленого електронного колориметра

Калібрований градуйований трикутник зображений на екрані трубки (рисунок 3.5). Положення світлового променя на екрані в цій трубці дає відсоток трьох основних кольорів і одержуваний колір.

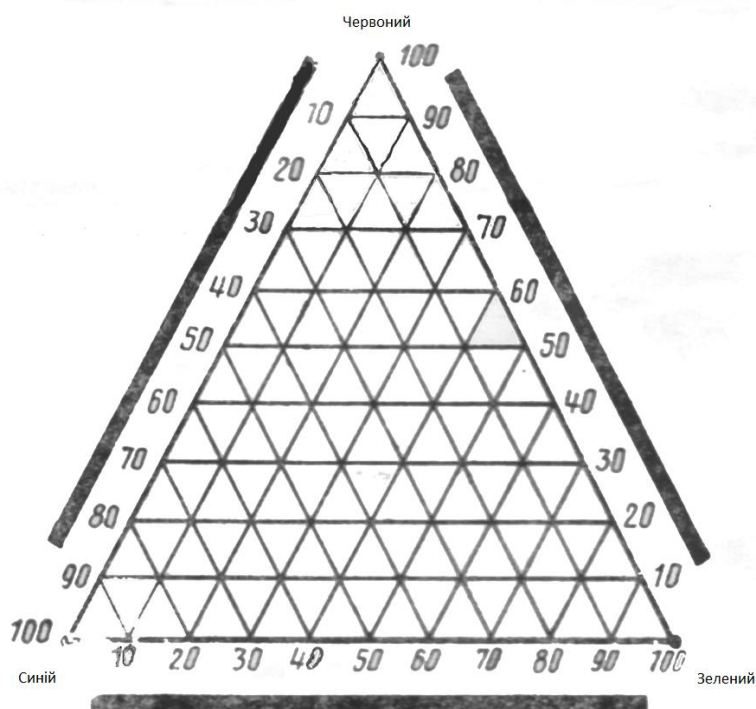


Рисунок 3.5 – Калібрований градуйований трикутник колориметра

Однак цей електронний колориметр має ряд недоліків – низька швидкість завдяки використанню інертних елементів, що унеможлиблює вимірювання світлового потоку, який швидко змінюється. Також недостатня точність вимірювання через помилку, пов’язану з товщиною точки на трикутнику кольору і помилок сітки координат самого кольорового трикутника.

Щоб усунути вищевказані недоліки, (рисунок 3.5) [47], запропоновано найбільш економний та простий у використанні колориметр та спосіб визначення кольорових характеристик зерна (рисунок 3.6). Розроблений автором цифровий колориметр дозволяє здійснювати експрес-контроль якості зерна з досить високими метрологічними показниками і не вимагає високої кваліфікації обслуговуючого персоналу.

Він має такі переваги: можливість експрес-контролю, простота в експлуатації, висока ймовірність (точність) вимірювання, відносна дешевизна. Можливості оптоелектронного колориметра значно перевершують інші кольорові вимірювальні прилади за аналогічними параметрами.

Основним елементом електронного колориметра, запропонованого для цих цілей, є датчик кольору, який призначає кожному випромінюванню три сигнали які пропорційні кольоровим координатам. Три фотоприймачі використовуються для перетворення світлової енергії в електричну енергію, спектральна характеристика якої повинна знаходитись у видимій області спектру та відтворювати одну з кольорових кривих складання. Оскільки фотоприймачі з такими характеристиками важко вибрати, необхідно встановити перед ними фільтри, підібрані так, щоб результати фотоприймача та фільтра збігалися з однією з кривих складання.

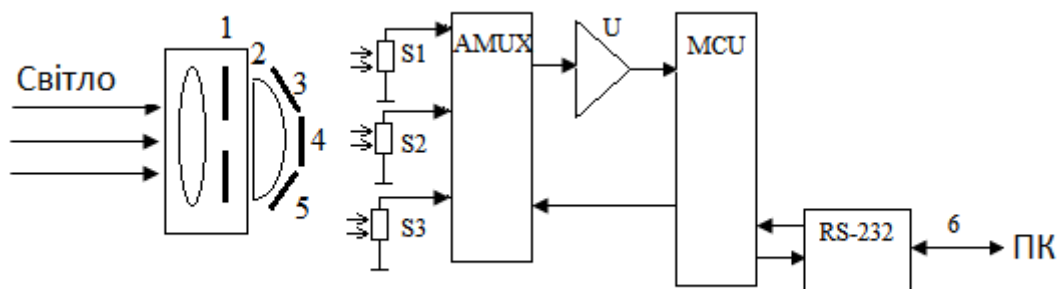


Рисунок 3.6 – Схема оптоелектронного колориметра (розроблено автором)

Сигнали від фотоприймачів надходять на окремі входи аналогових мультиплексорів (AMUX). Цей аналоговий мультиплексор передає один з трьох вхідних сигналів на вхід нормалізуючого підсилювача U. З виходу нормалізуючого підсилювача сигнал подається на вхідний порт мікроконтролера (MCU). Нормалізуючий підсилювач призначений для виведення вхідного сигналу від датчиків світла до діапазону $0 \dots 4096\text{В}$, достатнього для оцифрування сигналу вбудованих 10-бітових аналого-цифрових перетворювачів (АЦП) мікроконтролера, який приймає сигнал. Мікропроцесор вибирає потрібний канал, подаючи відповідний цифровий код на входи адрес мультиплексора. Програма управління пристроєм прошита всередині мікропроцесора.

Програмне забезпечення мікропроцесора забезпечує роботу всього пристрою. Для цього програма використовує наступний набір функцій: управління перемиканням каналів аналогового мультиплексора; оцифрування нормалізованого сигналу від світлових датчиків, що надходять на вхід мікропроцесора АЦП; калібрування сигналів, що надходять від світлових датчиків; цифрова фільтрація та усереднення отриманих результатів вимірювань; перетворення результатів вимірювань освітленості у стандартний вигляд RGB; передача на вимогу від комп'ютера, результати вимірювань та обчислення на комп'ютері через послідовний канал зв'язку RS-232.

Зв'язок з ПК здійснюється за допомогою асинхронного послідовного порту даних мікропроцесора USART. Інтерфейсний чіп RS-232 використовується для узгодження рівнів цифрового сигналу EIA RS-232.

Це дозволяє однозначно визначити колір об'єкта дослідження. Таким чином, методом, розробленим і впровадженим його пристроєм для вимірювання кольорів поза лабораторіями в майстерні та польових умовах, оснащений простим і зручним інтерфейсом, можна створити власні комп'ютерні стандарти. Значною перевагою пристрою є рухливість при русі, швидкість швидких вимірювань; відсутність спеціалізованої лабораторії та висококваліфікованих фахівців.

Перетворення результатів вимірювання рівня світла у стандартний вигляд RGB полягає в наступному: сигнал, отриманий на вході мікропроцесорного порту, перетворюється на систему XYZ, що стандартизована Міжнародною комісією зі формул ЦСЄ:

$$\begin{aligned} X &= \frac{1}{3} \left(R_{\text{red}} + G_{\text{green}} + B_{\text{blue}} \right) \\ Y &= \frac{1}{3} \left(R_{\text{red}} + G_{\text{green}} + B_{\text{blue}} \right) \\ Z &= \frac{1}{3} \left(R_{\text{red}} + G_{\text{green}} + B_{\text{blue}} \right) \end{aligned} \quad (3.5)$$

де X, Y, Z – відповідні координати системи XYZ;

$R_{\text{red}}, G_{\text{green}}, B_{\text{blue}}$ – координати для підрахунку величини X;

$R_{\text{red}}, G_{\text{green}}, B_{\text{blue}}$ – координати для підрахунку величини Y;

$R_{\text{red}}, G_{\text{green}}, B_{\text{blue}}$ – координати для підрахунку величини Z.

Техніка контролю якості (типу) зерна за кольоровими характеристиками полягає в наступному: тестовий зразок поміщають на стіл, розташований у фокальній площині пристрою. У таблиці високий коефіцієнт поглинання. Зразок освітлюється збоку інструменту або знизу в просвіт через прозорий стіл. Освітлення червоне, зелене та синє. Освітлення здійснюється за методом

вимірювання: кожен колір окремо, або в будь-якій комбінації або всі джерела світла разом. Прилад вимірює поглинання світла від зразка і порівнює його з комп'ютерним стандартом. В автоматичному режимі звучить невідповідність. У ручному режимі він накопичує статистику та створює комп'ютерний стандарт.

Порівняння випробуваного зерна з комп'ютерним стандартом дозволяє надійно зафіксувати відмінності в характеристиках проб зерна та виключити суб'єктивність візуальної оцінки. Поєднання цифрових кольорових характеристик зерна та обчислених характеристик є "цифровим стандартом зерна".

Висновок. Розроблений цифровий колориметр дозволяє здійснювати експрес-контроль кольорових характеристик з досить високими метрологічними показниками і не вимагає високої кваліфікації обслуговуючого персоналу.

3.3 Стандартні умови вимірювання кольору

Оскільки кольорове відчуття повністю визначається складом світла лише за умови дотримання відомих стандартних умов спостереження, необхідно зафіксувати ці умови, щоб отримати порівнянні результати, усуваючи всі фактори, які можуть спотворювати вимірювання. Таких побічних ефектів на вимірюваннях багато, хоча не всі вони можуть спричинити великі помилки. У багатьох випадках, коли вимірювання не повинні бути дуже точними (технічні вимірювання), можна повністю знехтувати однією з умов стандартного спостереження, а інші не відповідають такій жорсткості, як при вимірюваннях наукової важливості.

Найбільш важливими факторами, які можуть впливати на результати вимірювань, є: розмір полів, що порівнюються, колір фону, на якому розташовані ці поля; стан адаптації ока. Крім того, коли вимірювальні стандарти або об'єкти, що підлягають вимірюванню, не випромінюють власне світло, велике значення мають: спектральний склад світла, на якому проводяться вимірювання; кут, під яким освітлюються порівняні поля, і кут, під яким ці поля розглядаються. Це

обмежує основні моменти, які слід враховувати при проведенні вимірювань кольору. Всі інші перешкоди, які можуть виникати, істотно не змінюють результатів вимірювань.

Вимога дотримуватися розмірів поля впливає з вищесказаного (неоднорідності в структурі сітківки ока, в яких поряд з шишками є палички, які реагують на колір трохи по-іншому. Палички практично повністю не беруть участь у роботі ока, якщо зображення порівняних полів повністю вміщуються в межах жовтої плями сітківки, де є тільки конуси, ця вимога виконується, якщо кут, під яким ми бачимо порівняні поля, не перевищує $0,85$ кутових градусів у кожному менші розміри поля зору ухилення будуть невеликими, оскільки частини сітківки, що прилягають до жовтої плями, також в основному складаються з конусів; лише більш ретельні вимірювання виявляються в цих випадках розбіжності, для експериментів тієї ж технічної природи вони не можуть має велике значення також, якщо фон, який оточує порівняні поля, світлий, однак такий фон зазвичай знижує чутливість очей до кольорових відмінностей.

Питання передумови та адаптації є дуже серйозним питанням, тим більше, що надзвичайно важко тримати адаптацію на постійному рівні, оскільки вона змінюється під час самого процесу вимірювання.

Існує кілька типів адаптаційного впливу на вимірювання. По-перше, коли при проведенні вимірювань порівнюються два різних кольорових поля і спостереження проводяться більш-менш тривалий час, в сусідніх областях сітківки створюються різні стани очей, завдяки чому навіть однакові кольори здаються різними. Для триколірних вимірювань це не дуже важливо, оскільки ми намагаємося встановити повну тотожність двох полів, ми завжди тримаємо їх близькими кольорами під час вимірювання, і тому стан сусідніх ділянок сітківки буде таким закрийте, що помітних спотворень не буде.

При гетерохромній фотометрії можливість різної адаптації сусідніх ділянок становить більш серйозну небезпеку, а тому, при тривалих спостереженнях, рекомендується проводити їх з перервами, під час яких потрібно деякий час

шукати на рівномірному кольорі поверхня (наприклад, сіра), так що встановлена вся адаптація. Крім нерівномірної адаптації, деякий її рівень може мати певний вплив тут. З якісного боку на той самий колір впливає колір фону, з яким порівнюються поля.

Ефект тла частково полягає в зміні адаптації ока. Оскільки око ніколи не буває повністю нерухомим, вимірюваний колір постійно потрапляє на ту саму ділянку сітківки, слідуючи за впливом кольору фону на неї.

Характерною особливістю триколірних вимірювань є їх повна незалежність (принаймні у випадках, коли поля не надто великі) від рівня адаптації та фону, за умови досягнення однакової адаптації для двох порівняних полів та загальної рівномірності тло.

Цю надзвичайно важливу особливість триколірних вимірювань можна вважати повністю доведеною у випадках, коли спостерігаються розміри поля (чистий центральний зір), але навіть при великих розмірах поля похибка у визначенні коефіцієнтів колірних рівнянь настільки мала, що вона можна знехтувати, принаймні, в технічних вимірах. У виробництві гетерохромних установок, навпаки, дотримання стандартних передумов та адаптація абсолютно необхідні.

Набагато жорсткішими щодо триколірних вимірювань є вимоги стандарту джерела світла, оскільки зміна його спектрального складу змінює склад світла, відбитого об'єктом. У той же час, знаючи лише колір кольорового предмета чи фільтра при одній конкретній підсвічуванні, але не знаючи всієї кривої відображення чи передачі, принципово неможливо передбачити, який буде цей колір під іншим освітленням. Предмети, які не відрізняються за кольором в одній підсвічуванні, можуть бути дуже різними в іншій. Наприклад, світловий фільтр, який з'являється в денному світлі, може виявитися червоним при електричному світлі.

Такі фільтри дійсно існують. Однак стандарти, що застосовуються в інструментах, зазвичай не змінюють кольори настільки різко, але все-таки ці

зміни можуть бути істотними, а головне, їх неможливо передбачити заздалегідь. Тому наявність константи не тільки в кольорі, але і в спектральному складі освітлення є однією з важливих умов вимірювання кольору. Вимірювання слід вважати надійними, якщо кольорові стандарти висвітлюються тим самим джерелом, на якому вони були закінчені.

Використання природного денного світла для точних вимірювань виключається, оскільки воно є досить мінливим за спектральним складом. Однак природне освітлення часто використовується в технічних вимірах, і дуже часто відмінності внаслідок мінливості освітленості знаходяться в допустимих межах.

Практика, таким чином, показала, що при більш-менш грубих вимірах природне світло може бути задоволений, хоча в цьому випадку ми ніколи не можемо гарантувати помилок, хоч і рідкісних, але іноді дуже значних розмірів. У будь-якому випадку, використовуючи природне освітлення, вимірювання не можна проводити під прямими сонячними променями, і слід подбати про те, щоб поблизу не було великих, рівномірних кольорів. Рефлекси з таких поверхонь іноді можуть дуже істотно змінити колір предметів, при цьому людина зазвичай навряд чи помічає наявність рефлексу, якщо цей рефлекс захоплює велику площу і перед очима немає критерію порівняння. Навпаки, неприпустимо нехтувати різницею складу природного денного і штучного світла (наприклад, електричного).

Крім того, для вимірювань дуже важливі вимірювання кута, під яким освітлюється кольорова поверхня, та кута, під яким проводяться спостереження. Відомо, що поверхня завжди відбиває трохи інше світло, падаючи в різні боки. Це особливо яскраво виражено на глянцеvih поверхнях, які «світяться», тобто з'являються білими незалежно від їх кольору, якщо дивитися під кутом, рівним куту падіння світла. Навіть ідеально матові поверхні не відбивають світло у всіх напрямках однаково, але завжди відбиваються сильніше під кутом, рівним куту падіння світла, ніж в інших напрямках. Тільки для ідеально матових поверхонь характерна особливість незалежності відбиття від кута падіння світла, а також те, що відбиття від них менше, ніж менший кут відбиття. Однак ідеально матових

поверхонь не існує, і всі вони більш-менш блищать. Тому, залежно від кута падіння світла та кута, утвореного поверхнею з напрямком спостерігача, колір поверхні іноді може значно змінюватися.

Зазвичай у житті ми дивимось на предмети під різними кутами і за характером зміни кольору залежно від кута ми дізнаємось ступінь його блиску чи тьмяності. Це так звані текстурні особливості поверхні, які аж ніяк не є чимось незалежним від кольору, що є природним, оскільки око не може відчувати нічого, крім кольору. Текстурні особливості поверхні визначаються зміною кольору в різних напрямках спостереження та освітленості (а також невеликими нерівностями в кольорі), а в деяких випадках можуть ускладнити вимірювання кольорів.

Якщо припустити, що стандарти вимірювання глясові, а зразки – матові. У цьому випадку дуже важко встановити їх ідентичність у кольорі, оскільки колір обох змінюється залежно від кута зору, а якщо ми встановимо тотожність під одним кутом, то він буде порушений під іншим кутом. Більше того, якщо навіть спостерігач нерухомий, але порівняні поля великі, напрямок спостерігача буде відрізнятися від різних частин поля, і тому правильна установка буде утруднена.

Для усунення цих основних незручностей необхідно проводити вимірювання в умовах так званого без текстурного зору, тобто в умовах, коли ми розрізняємо лише колір предмета, але не його текстуру. Ці умови створюються відповідно до вимог:

- 1) обмежений розмір порівнюваних полів;
- 2) певний кут між пофарбованою поверхнею та напрямком спостерігача і, нарешті;
- 3) напрямок освітлення та кут падіння не повинні дорівнювати куту, під яким вони дивляться на поверхню.

Щодо способу освітлення поверхні, то були зроблені пропозиції двох родів:

- 1) що освітлення розсіяне, тобто рівномірне з усіх боків;
- 2) щоб поверхня освітлювалася під кутом 45 °.

Першу з цих пропозицій дуже важко реалізувати на практиці, тому освітлення під кутом 45° зараз загальноприйняте.

Спостереження знаходиться під прямим кутом до поверхні, а для обмеження розмірів порівняних полів між ними та оком спостерігача розміщують екран із прорізом потрібного значення.

Якщо ви використовуєте описаний окуляр hfyt, він автоматично обмежує розмір поля. Тому слід знову рекомендувати використання окуляра.

Стационарна установка цієї трубки також дозволяє реалізувати перпендикулярне напрямом спостереження до вимірюваної поверхні.

Якщо виконання стандартних умов спостереження з певних причин складно, а самі вимірювання є приблизно приблизними, тоді паліативна вимога полягає в тому, щоб текстура стандартів була максимально наближена до текстури об'єктів, що вимірюються. Але до цього слід вдаватися лише в самих крайніх випадках з цілковитою неможливістю дотримання умов спостереження, що зазвичай не становить великих труднощів.

Перелік умов, необхідних для отримання порівнянних результатів, не був би повним, якби ми не згадали про окремі відхилення, які виникають через певні відхилення в очах людей. Найважливішими є аномалії, що називаються дальтонізмом, про які йшлося вище.

Зрозумілість кольору, зроблена кольоровим штором, звичайно, здається часом абсолютно незрозумілою людині з нормальним зором. Тому кольорові сліпі люди, які в середньому відповідають приблизно 4 – 6%, не можуть проводити вимірювання кольорів. Справа дещо ускладнюється тим, що кольорових сліпих зазвичай вчать правильно називати кольори в житті, і часто трапляються випадки виявлення кольорового сліпого, який не підозрював, що у них є цей недолік. Однак перевірити дальтонізм досить просто за допомогою спеціальних таблиць.

Крім кольорової сліпоти існують і інші, менш значні відхилення, через те, що у деяких людей прозорі речовини очей мають певний колір. Найбільші аномалії такого роду зазвичай приписують більш-менш сильному забарвленню

жовтої плями, яка відіграє головну роль у кольоровому зорі. Особи з подібними аномаліями дають найбільші відхилення в вимірах синього та фіолетового кольорів; таким особам не слід допускати відповідальних вимірювань, але вони можуть брати участь у вимірюваннях технічного характеру, які не потребують великої точності. Крім того, недолік такого роду можна виправити спеціальними синюватими окулярами.

Описаний нами фотоелектричний прилад відтворює середній зір людини, і люди з нормальним і ненормальним зором можуть працювати з таким інструментом з однаковим успіхом.

3.4 Оцінка стандартних невизначеностей результатів вимірювань

За допомогою розроблених електронних колориметрів були проведені експериментальні дослідження для визначення залежності вихідних сигналів вимірювальних каналів від яскравості випромінювання світла та при різних положеннях фотодіодів щодо корпусу. У роботі визначено, що практична користь будь-якого вимірювання визначається його похибкою. Традиційний аналітичний підхід до визначення помилок полягає у поділі їх на компоненти, кожна з яких обумовлена певними чинниками.

Для кількісного представлення невизначеності вимірювання пропонується стандартна невизначеність – невизначеність результатів прямого вимірювання, яка виражається стандартним відхиленням.

Існує два типи стандартної невизначеності в методі обчислення та подання: тип А і тип В.

Перш ніж перейти до оцінки стандартних невизначеностей, слід встановити закон випадкового розподілу.

Отримано залежність вихідної напруги від схеми каналних червоних, синіх та зелених фотодіодів колориметра електронів від яскравості випромінювання світла при таких початкових умовах: крайнє нижнє положення фотодіода на 7 –

8 мм нижче від рівень корпусу, а крайній верхній на 10 – 11 мм вище рівня корпусу; без фільтра.

Для подальших досліджень ми використаємо отримані залежності вихідної напруги від схеми фотодіодів червоного, синього та зеленого та позначимо їх $U_i, i = \overline{1, n}$, де n – кількість спостережень у серії. Результати спостереження вважаються незалежними та справедливими (в експериментальних умовах). Загалом вони можуть містити систематичні та випадкові компоненти помилок вимірювань. Вказується вірогідність довіри $P = 0,96$ (або рівень значущості $\alpha = 0,04$) результатів вимірів. Задаємося $\Theta_\delta = \pm 0,9 \cdot \hat{\sigma}_{\bar{U}}$ виходячи з умов експерименту. На основі результатів багаторазових спостережень ми визначаємо найбільш надійне значення вимірюваної фізичної величини та меж її довіри та записуємо результат вимірювання.

3.5 Методи перевірки гіпотези закону розподілу

Композиційний критерій включає два незалежні критерії та використовується для перевірки гіпотези про нормальність розподілу вибірки результатів спостереження за їх кількістю $10 \leq n \leq 50$. На відміну від критерію χ^2 , яка є цілісною (тобто заснована на перевірці інтегрального відхилення теоретичного та експериментального законів розподілу по всьому діапазону результатів спостережень), складений критерій передбачає перевірку відповідності поблизу центру розподілу (критерій I) та по краях розподілу (критерій II). Якщо хоча б один із двох критеріїв не виконується, то гіпотеза про нормальність розподілу результатів спостережень відкидається.

3.5.1 Червоний фотодіодний канал.

З результатів спостережень U_i виключають систематичні складові похибки, якщо можливо їх виявити. Одержують виправлені результати U_i серії спостережень.

Якщо систематичні помилки неможливо виключити, вони класифікуються як несистематичні помилки. Оцінюємо межі Θ_j кожної j -тої (або накопичувальна) систематична помилка або їх залишки. Ми аналізуємо серію спостережень за пропусками. Якщо вони є, ми виключаємо їх з подальшої обробки.

Початкові дані для розрахунків наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Вихід червоного фотодіоду

№	U_i , мВ	№	U_i , мВ
1	149	17	151
2	149	18	150
3	150	19	150
4	150	20	149
5	149	21	150
6	148	22	149
7	150	23	150
8	150	24	150
9	149	25	149
10	150	26	148
11	149	27	150
12	150	28	148
13	149	29	150
14	150	30	150
15	230	31	149
16	150		

Результат №15 є пропуском і виключається з подальшої обробки.

Перевіряємо відповідність експериментального закону розподілу результатів спостережень U_i нормальний.

Для цього використовуються різні критерії згоди, серед яких найбільш широко використовуються складений критерій та критерій W. При виконанні роботи використовуємо складений критерій.

Композиційний критерій містить два незалежні критерії, позначені I і II. Перший із цих критеріїв (критерій I) забезпечує, що розподіл експериментальних

даних відповідає нормальному закону розподілу, а другий критерій (критерій II) по краях розподілу.

Якщо хоча б один із цих критеріїв не виконується, гіпотеза про нормальність розподілу результатів спостереження відкидається.

Перевіряємо гіпотезу про нормальність розподілу початкової серії спостережень:

а) за критерієм I обчислюємо параметр (показник) d , викликаний співвідношенням

$$d = \frac{\sum_{i=1}^n |U_i - \bar{U}|}{n\hat{\sigma}_U^*}, \quad (3.6)$$

де $\bar{U}$ – середнє арифметичне результатів спостережень $U_i, i = \overline{1, n}$;

$$\bar{U} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U_i \quad (3.7)$$

$$\hat{\sigma}_U^* = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (U_i - \bar{U})^2} \quad (3.8)$$

$\hat{\sigma}_U^*$ – оцінка зміщення квадратичного відхилення (SLE) результатів спостереження U_i . Результати спостережень U_i вважаються розподіленими за нормальним законодавством.

Якщо умова виконана

$$d_{(1-\frac{1}{2}\alpha_1)} < d < d_{(\frac{1}{2}\alpha_1)}, \quad (3.9)$$

де $d_{(1-\frac{1}{2}\alpha_1)}, d_{(\frac{1}{2}\alpha_1)}$ – квантілі розподілу параметра d . Їх знаходять по таблиці 1 значень α – відсоткових крапок розподілу параметра d по заданому обсязі вибірки n і прийнятому для критерію I рівню значимості α_1 .

Примітка. Рівні значимості α_1 (для критерію I) і α_2 (для критерію II) вибираються за умови, що рівень значущості складеного критерію α ($\alpha = 1-P$) з тими ж експериментальними даними вона не перевищувала суму рівнів значущості α_1 й α_2 , тобто $\alpha \leq \alpha_1 + \alpha_2$.

Результати обчислень зводимо в таблиці 3.3

Таблиця 3.3 – Результати обчислень

№	U_i , мВ	$\bar{U}$, мВ	$ U_i - \bar{U} $, мВ	$(U_i - \bar{U})^2$, мВ
1	149	149,5	0,5	0,25
2	149		0,5	0,25
3	150		0,5	0,25
4	150		0,5	0,25
5	149		0,5	0,25
6	148		1,5	2,25
7	150		0,5	0,25
8	150		0,5	0,25
9	149		0,5	0,25
10	150		0,5	0,25
11	149		0,5	0,25
12	150		0,5	0,25
13	149		0,5	0,25
14	150		0,5	0,25
15	150		0,5	0,25
16	151		1,5	2,25
17	150		0,5	0,25
18	150		0,5	0,25
19	149		0,5	0,25
20	150		0,5	0,25
21	149		0,5	0,25
22	150		0,5	0,25
23	150		0,5	0,25
24	149		0,5	0,25
25	148		1,5	2,25

26	150		0,5	0,25
27	148		1,5	2,25
28	150		0,5	0,25
29	150		0,5	0,25
30	149		0,5	0,25
			$\sum_{i=1}^n U_i - \bar{U} = 19$	$\sum_{i=1}^n (U_i - \bar{U})^2 = 15,5$

Графічне відображення процесу представлено на рисунку 3.7.

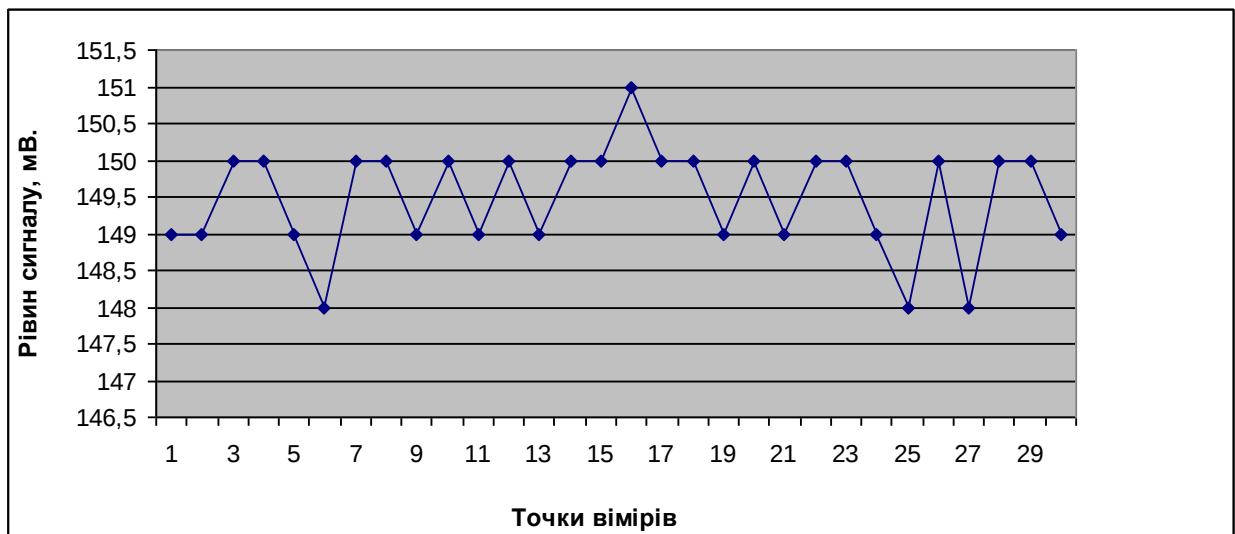


Рисунок 3.7 – Результати спостережень за зміною напруги в каналі червоного діода

Зміщена оцінка квадратичного відхилення (SLE) результатів спостереження U_i

$$\hat{\sigma}_U^* = \sqrt{\frac{15,5}{30}} = 0,719 \text{ мВ}$$

$$d = \frac{19}{30 \cdot 0,719} = 0,8808$$

Тому що рівень значущості забезпечений $\alpha = 0,04$, ми приймаємо α_1 и α_2 равними 0,02, що не суперечить умові $\alpha \leq \alpha_1 + \alpha_2$.

Визначаємо значення $d_{(\frac{1}{2}\alpha_1)} = d_{(0,01)}$. Тому що в таблиці [2] вимірювань не дорівнює 30, тоді ми використовуємо інтерполяцію

X_1	X	X_2
Y_1	Y	Y_2

$$Y = \left| \frac{(X_2 - X) \cdot (Y_2 - Y_1)}{(X_2 - X_1)} - Y_2 \right|$$

26	30	31
0,8901	Y	0,8827

$$Y = d_{(0,01)} = \left| \frac{(31 - 30) \cdot (0,8827 - 0,8901)}{(31 - 26)} - 0,8827 \right| = 0,8841.$$

Визначаємо значення $d_{(1-\frac{1}{2}\alpha_1)} = d_{(0,99)}$. Оскільки в таблиці [2] немає числа вимірів рівне 30, то скористаємося інтерполяцією

26	30	31
0,7040	Y	0,7110

$$Y = d_{(0,99)} = \left| \frac{(31 - 30) \cdot (0,7110 - 0,7040)}{(31 - 26)} - 0,7110 \right| = 0,7096.$$

$$0,7096 < 0,8808 < 0,8841.$$

Отже, умова (1.4) виконується.

б) відповідно до критерію II, результати спостережень U_i належать до нормального закону розподілу, якщо не більше m відмінностей $|U_i - \bar{U}|$ перевершили значення $z_{\frac{1+P_2}{2}} \cdot \hat{\sigma}_U$,

$$\hat{\sigma}_U = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (U_i - \bar{U})^2}, \quad (3.8)$$

де $\hat{\sigma}_U$ – незміщена оцінка СКВ результатів спостережень U_i ;

$z_{\frac{1+P_2}{2}}$ – верхня квантіль розподілу інтегральної функції нормованого нормального розподілу, який відповідає вірогідності довіри P_2 . Значення m і P_2 знаходять по числу спостережень n і рівню значимості α_2 для критерію II по таблиці [2]. Потім обчислюють $\frac{1+P_2}{2} = \Phi(z_{\frac{1+P_2}{2}})$ і по таблиці [2] інтегральної функції нормованого нормального розподілу знаходять $z_{\frac{1+P_2}{2}}$, що відповідає обчисленому значенню функції $\Phi(z_{\frac{1+P_2}{2}})$. Потім перевірте виконання критерію II.

$$\hat{\sigma}_U = \sqrt{\frac{1}{30-1}} \cdot 15,5 = 0,7311 \text{ мВ.}$$

Визначаємо значення P_2

$$P_2 = 0,98, m = 2, \text{ отже } \frac{1+0,98}{2} = \Phi(z_{\frac{1+P_2}{2}}) = 0,99 \text{ при цьому } Z = 2,58.$$

$$z_{\frac{1+P_2}{2}} \cdot \hat{\sigma}_U = 2,58 \cdot 0,7311 = 1,89.$$

Без різниці $|U_i - \bar{U}|$ не перевищує 1,89. Тому другу умову виконують. Закон розподілу є нормальним.

Проводимо перевірку грубих помилок результатів спостережень або, з іншого боку, оцінку аномальності окремих результатів спостережень. Для цього:

а) складаємо впорядковану серію результатів спостереження, упорядкувавши початкові елементи у порядку зростання та виконуючи їх перенумерування $U_1 \leq U_2 \leq \dots \leq U_n$ (таблиця 3.4);

б) для крайніх членів (результати спостереження) впорядкованого ряду U_1 й U_n , які найбільш віддалені від центру розповсюдження (визначаються як середнє арифметичне $\bar{U}$ цього ряду) і тому, швидше за все, містять грубі помилки, знайдіть модулі різниці $|U_1 - \bar{U}|, |U_n - \bar{U}|$ і для більшості з них параметр обчислюється

$$t_l = \frac{\max(|U_l - \bar{U}|)}{\hat{\sigma}_U}, \quad (3.9)$$

де $\max(|U_l - \bar{U}|)$ – найбільше значення $|U_l - \bar{U}|$ при $l = \overline{1, n}$

$$t_l = \frac{\max(|U_l - \bar{U}|)}{\hat{\sigma}_U} = \frac{1,5}{0,7311} = 2,0517;$$

Таблиця 3.4 – Впорядкований ряд результатів спостережень

№	U_i , мВ	№	U_i , мВ
1	148	17	150
2	148	18	150
3	148	19	150
4	149	20	150
5	149	21	150
6	149	22	150
7	149	23	150
8	149	24	150
9	149	25	150
10	149	26	150
11	149	27	150
12	149	28	150
13	149	29	150
14	150	30	151

15	150		
16	150		

в) по таблиці t_T [2], вхід якого – кількість елементів вибірки n та задана вірогідність впевненості P (або рівень значущості α), знайдемо теоретичне або порогове значення параметра t_T і порівняємо його з обчисленим фактичним значенням параметра t_l .

Критерій аномальності результату спостережень U_l є умова $t_l \geq t_T$. Тому, якщо виявиться, що $t_l \geq t_T$, те даний елемент вибірки U_1 (U_1 або U_n) повинен бути виключений з подальшої обробки як утримуючу грубу похибку;

г) відповідно до ПП. 4.а, б, с повторюється для $(n-1)$, $(n-2)$ та ін. Зразків предметів, поки умова $t_l \geq t_T$ не перейде в умову $t_l < t_T$. При цьому значення $\bar{U}$ й $\hat{\sigma}_U$ обчислюємо заново для кожного зменшеного обсягу вибірки.

Остаточне значення середнього арифметичного $\bar{U}$, отримане для серії без аномальних (грубих) результатів спостереження, являє собою найбільш надійне значення вимірюваної величини та значення неупередженої оцінки RMSE $\hat{\sigma}_{\bar{U}}$ ця серія спостережень використовується для обчислення довірчого інтервалу випадкової складової помилки численних спостережень.

Оскільки $t_l < t_T$ тобто $2,05 < 2,7$, тому ми робимо висновок, що вибірка не містить грубих помилок.

Обчислемо неупереджену оцінку SLE результату вимірювання відповідно до виразу

$$\hat{\sigma}_{\bar{U}} = \frac{\hat{\sigma}_U}{\sqrt{n'}}, \quad (3.10)$$

де значення неупередженої оцінки SLE $\hat{\sigma}_U$ результатів спостережень U_i , який розраховується для обсягу вибірки n' , що не містить аномальних (валових)

результатів спостереження ($n' \leq n$).

$$\hat{\sigma}_{\bar{U}} = \frac{0,7311}{\sqrt{30}} = 0,133_{\text{мВ}}.$$

Визначимо межі довіри $\overset{\circ}{\Delta}_{\bar{x}_\theta}$ випадкової складової похибки вимірювання з декількома спостереженнями залежно від кількості спостережень n у вибірці, яка не містить аномальних результатів, $\overset{\circ}{\Delta}_{\bar{x}_\theta}$ довірчого інтервалу обчислюємо за одною з наступних формул:

– при $n > 30$ за формулою:

$$\overset{\circ}{\Delta}_{\bar{x}_\theta} = \pm z \hat{\sigma}_{\bar{x}}, \quad (3.11)$$

де z знайдено в таблиці [2] інтегральної функції нормалізованого нормального розподілу відповідно до заданої вірогідності довіри P ;

– при $n \leq 30$ за формулою:

$$\overset{\circ}{\Delta}_{\bar{x}_\theta} = \pm t_s \hat{\sigma}_{\bar{x}}, \quad (3.12)$$

де t_s – Коефіцієнт Стюдента визначається на основі розподілу Стюдента за заданою вірогідністю довіри P або рівнем значущості α і числу ступенів волі $K_s = n - 1$.

Знаходимо значення коефіцієнта Стюдента методом інтерполяції:

0,95	0,96	0,98
2,045	Y	2,462

$$Y = t_s = \left| \frac{(0,98 - 0,96) \cdot (2,462 - 2,045)}{(0,98 - 0,95)} - 2,462 \right| = 2,184$$

$$\overset{\circ}{\Delta \bar{U}_\partial} = \pm t_s \hat{\sigma}_{\bar{U}} = 2,184 \cdot 0,133 = 0,29 \text{ мВ.}$$

Визначено межі Θ_∂ сумарної невиключеної систематичної складової похибки результату вимірів з багаторазовими спостереженнями.

$$\Theta_\partial = 0,9 \cdot 0,133 = 0,1197 \text{ мВ.}$$

Визначаємо довірчі границі Δ_∂ сумарної (повної) похибки вимірів з багаторазовими спостереженнями.

Розрахунок Δ_∂ засновано на співвідношенні між СКВ $\hat{\sigma}_{\bar{x}}$, випадкові межі складової та Θ_∂ систематичної складової похибки вимірювань з повторними спостереженнями. Можливі три випадки:

а) при $\Theta_\partial / \hat{\sigma}_{\bar{x}} < 0,8$ систематичною складовою помилки вимірювання нехтують і вважають, що $\overset{\circ}{\Delta_\partial} = \overset{\circ}{\Delta_{\bar{x}_\partial}}$;

б) при $\Theta_\partial / \hat{\sigma}_{\bar{x}} > 8$ знехтувати випадковою складовою помилки вимірювання та прийняти $\Delta_\partial = \Theta_\partial$;

в) при $0,8 \leq \Theta_\partial / \hat{\sigma}_{\bar{x}} \leq 8$ межі достовірності сумарної похибки вимірювань з декількома спостереженнями визначаються за формулою:

$$\Delta_\partial = \pm \frac{\Theta_\partial + \overset{\circ}{\Delta_{\bar{x}_\partial}}}{\hat{\sigma}_{\bar{x}} + (\Theta_\partial / \sqrt{3})} \cdot \sqrt{\sigma_{\bar{x}}^2 + \left(\frac{\Theta_\partial}{\sqrt{3}}\right)^2} . \quad (3.13)$$

Формула (3.13) використовує рекомендоване припущення ДСТУ, що якщо закон розподілу невиключеної похибки систематичного вимірювання невідомий,

то він вважається рівномірним (отже, SLE невиключеної систематичної помилки

$\sigma_{\Theta} = \frac{\Theta_{\partial}}{\sqrt{3}}$). Тож маємо справу з третім випадком, а саме:

$$\Delta_{\partial} = \pm \frac{0,1197 + 0,29}{0,133 + (0,1197/\sqrt{3})} \cdot \sqrt{0,133^2 + \left(\frac{0,1197}{\sqrt{3}}\right)^2} = \pm 0,304 \text{ мВ}.$$

Запишемо результат вимірювань за допомогою декількох спостережень. Він подається у формі

$$X = \bar{X} \pm \Delta_{\partial}; P = \dots,$$

$$U = (149,5 \pm 0,3) \text{ мВ}; P = 0,96.$$

Переконаємося, що закон розподілу є нормальним для виконання тієї ж процедури для каналів синього та зеленого фотодіодів колориметра.

3.5.2 Синій фотодіодний канал

Початкові дані для розрахунків наведені в таблиці 3.5

Таблиця 3.5 – Вихід із синього фотодіодного каналу

№	U_i , мВ	$\bar{U}$, мВ	$ U_i - \bar{U} $, мВ	$(U_i - \bar{U})^2$, мВ
1	2	3	4	5
1	92	91,8	0,2	0,04
2	92		0,2	0,04
3	91		0,8	0,64
4	91		0,8	0,64
5	90		1,8	3,24
6	91		0,8	0,64
7	92		0,2	0,04
8	92		0,2	0,04
9	92		0,2	0,04
10	92		0,2	0,04

11	90		1,8	3,24
12	93		1,2	1,44
13	92		0,2	0,04
14	93		1,2	1,44
15	93		1,2	1,44
16	93		1,2	1,44
17	92		0,2	0,04
18	91		0,8	0,64
19	92		0,2	0,04

Продовження таблиці 3.5

1	2	3	4	5
20	92		0,2	0,04
21	92		0,2	0,04
22	91		0,8	0,64
23	92		0,2	0,04
24	92		0,2	0,04
25	92		0,2	0,04
26	91		0,8	0,64
27	91		0,8	0,64
28	92		0,2	0,04
29	92		0,2	0,04
30	93		1,2	1,44
			$\sum_{i=1}^n U_i - \bar{U} = 17$	$\sum_{i=1}^n (U_i - \bar{U})^2 = 18,8$

Графічне відображення процесу представлено на рисунку 3.8.

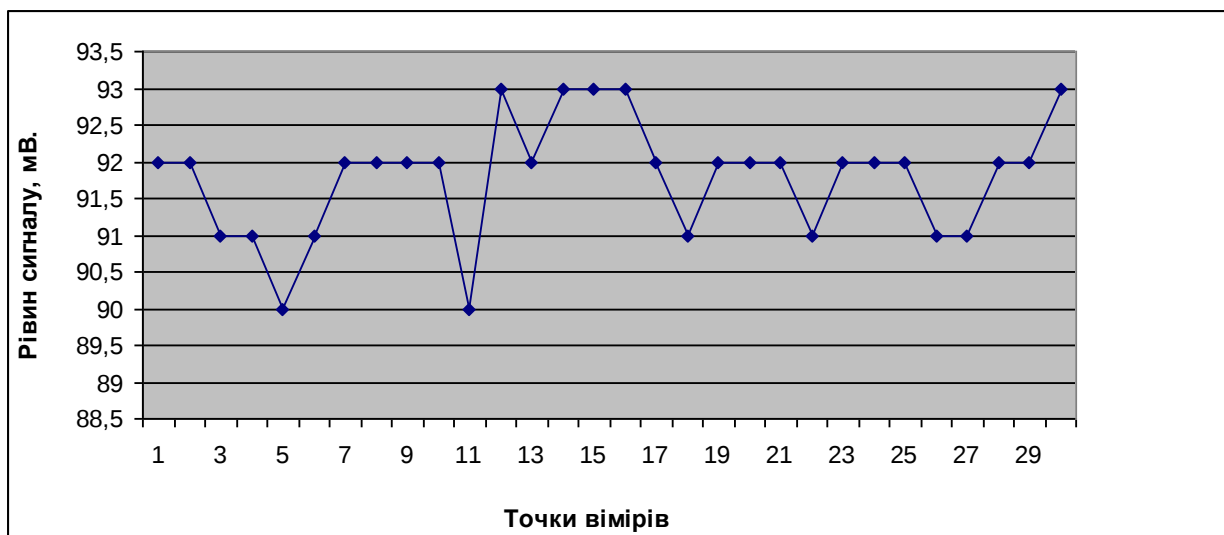


Рисунок 3.8 – Результати спостережень за зміною напруги у каналі синього діода

Зміщена оцінка квадратичного відхилення (SLE) результатів спостереження U_i

$$\hat{\sigma}_U^* = \sqrt{\frac{18,8}{30}} = 0,7916 \text{ мВ.}$$

$$d = \frac{17}{30 \cdot 0,7916} = 0,716$$

$$0,7096 < 0,716 < 0,8841 .$$

Отже умова (1.4) виконується.

Згідно 1.6

$$\hat{\sigma}_U = \sqrt{\frac{1}{30-1} \cdot 18,8} = 0,805 \text{ мВ.}$$

Визначаємо значення P_2

$$P_2 = 0,98, m = 2, \text{ отже } \frac{1+0,98}{2} = \Phi(z_{\frac{1+P_2}{2}}) = 0,99 \text{ при цьому } Z = 2,58.$$

$$z_{\frac{1+P_2}{2}} \cdot \hat{\sigma}_U = 2,58 \cdot 0,805 = 2,077 .$$

Жодна різниця $|U_i - \bar{U}|$ не перевищує значення 2,077. Тому другу умову виконують. Закон розподілу є нормальним.

Ми робимо впорядковану серію спостережень, упорядковуючи початкові елементи у порядку зростання і виконуючи їх перенумерування:

$$U_1 \leq U_2 \leq \dots \leq U_n \text{ (таблиця 3.6);}$$

$$t_l = \frac{\max(|U_l - \bar{U}|)}{\hat{\sigma}_U} = \frac{1,8}{0,805} = 2,24 .$$

Оскільки $t_l < t_T$ тоб-то $2,24 < 2,7$, тому ми робимо висновок, що вибірка не

містить грубих помилок.

Таблиця 3.6 – Впорядкований ряд результатів спостережень

№	U_i , мВ	№	U_i , мВ
1	90	17	92
2	90	18	92
3	91	19	92
4	91	20	92
5	91	21	92
6	91	22	92
7	91	23	92
8	91	24	92
9	91	25	92
10	92	26	93
11	92	27	93
12	92	28	93
13	92	29	93
14	92	30	93
15	92		
16	92		

Обчисліть неупереджену оцінку ШКВ результату вимірювання за формулою (3.10)

$$\hat{\sigma}_{\bar{U}} = \frac{0,805}{\sqrt{30}} = 0,147 \text{ мВ.}$$

Визначають довірчі границі $\overset{\circ}{\Delta}_{\bar{x}_\delta}$ випадкова складова похибки вимірювання з повторними спостереженнями за формулою (3.12)

$$\overset{\circ}{\Delta}_{\bar{U}_\delta} = \pm t_s \hat{\sigma}_{\bar{U}} = 2,184 \cdot 0,147 = \pm 0,321_{\text{мВ}}.$$

Визначаємо довірчі границі Θ_δ загальна не виключена систематична складова похибки результату вимірювання з декількома спостереженнями.

$$\Theta_{\partial} = 0,9 \cdot 0,147 = 0,132 \text{ мВ.}$$

Визначаємо довірчі границі Δ_{∂} загальна (загальна) похибка вимірювань з декількома спостереженнями за формулою (3.13)

$$\Delta_{\partial} = \pm \frac{0,132 + 0,321}{0,147 + (0,132/\sqrt{3})} \cdot \sqrt{0,147^2 + \left(\frac{0,132}{\sqrt{3}}\right)^2} = \pm 0,336 \text{ мВ.}$$

Запишіть результат вимірювань за допомогою декількох спостережень. Він подається у формі $U = (91,8 \pm 0,3) \text{ мВ}$; $P = 0,96$, перевірка відповідності закону нормального розподілу буде проведена аналогічним методом для каналу зеленого фотодіодного електронного колориметра.

3.5.3 Зелений фотодіодний канал

Початкові дані для розрахунків наведені в таблиця 3.7

Таблиця 3.7 – Вихід із синього фотодіодного каналу

№	U_i , мВ	$\bar{U}$, мВ	$ U_i - \bar{U} $, мВ	$(U_i - \bar{U})^2$, мВ
1	97	97,1	0,1	0,01
2	97		0,1	0,01
3	96		1,1	1,21
4	96		1,1	1,21
5	98		0,9	0,81
6	97		0,1	0,01
7	96		1,1	1,21
8	97		0,1	0,01
9	95		2,1	4,41
10	95		2,1	4,41
11	96		1,1	1,21
12	96		1,1	1,21
13	97		0,1	0,01
14	97		0,1	0,01

Продовження таблиці 3.7

15	97		0,1	0,01
16	98		0,9	0,81
17	98		0,9	0,81
18	98		0,9	0,81
19	97		0,1	0,01
20	98		0,9	0,81
21	98		0,9	0,81
22	97		0,1	0,01
23	98		0,9	0,81
24	98		0,9	0,81
25	97		0,1	0,01
26	99		1,9	3,61
27	98		0,9	0,81
28	98		0,9	0,81
29	97		0,1	0,01
30	97		0,1	0,01
			$\sum_{i=1}^n U_i - \bar{U} = 21,8$	$\sum_{i=1}^n (U_i - \bar{U})^2 = 26,7$

Графічне відображення процесу представлено на рисунку 3.9

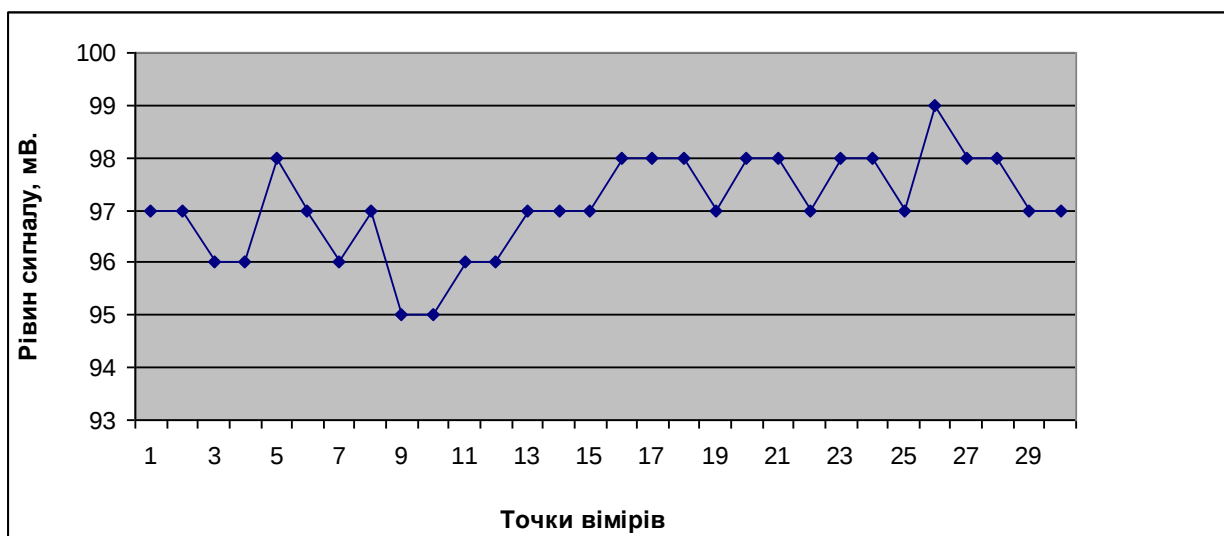


Рисунок 3.9 – Результати спостережень за зміною напруги у каналі зеленого діода

Зміщена оцінка квадратичного відхилення результатів спостереження U_i

$$\hat{\sigma}_U^* = \sqrt{\frac{26,7}{30}} = 0,943 \text{ мВ.}$$

$$d = \frac{21,8}{30 \cdot 0,943} = 0,771$$

$$0,7096 < 0,771 < 0,8841 .$$

Отже умова (1.4) виконується.

Згідно 1.6

$$\hat{\sigma}_U = \sqrt{\frac{1}{30-1} \cdot 26,7} = 0,959 \text{ мВ.}$$

Визначимо значення P_2

$$P_2 = 0,98, m = 2,$$

отже

$$\frac{1+0,98}{2} = \Phi(z_{\frac{1+P_2}{2}}) = 0,99 ,$$

при цьому

$$Z = 2,58.$$

$$z_{\frac{1+P_2}{2}} \cdot \hat{\sigma}_U = 2,58 \cdot 0,959 = 2,47 .$$

Жодна різниця $|U_i - \bar{U}|$ не перевищує 2,47. Тому другу умову виконують.

Закон розподілу є нормальним.

Робимо впорядковану серію спостережень, упорядковуючи початкові елементи у порядку зростання і виконуючи їх перенумерування (таблиця 3.8):

$$U_1 \leq U_2 \leq \dots \leq U_n;$$

Таблиця 3.8 – Впорядкований ряд результатів спостережень

№	$U_i, \text{ мВ}$	№	$U_i, \text{ мВ}$
1	95	17	97
2	95	18	97
3	96	19	97
4	96	20	98
5	96	21	98
6	96	22	98
7	96	23	98
8	97	24	98
9	97	25	98
10	97	26	98
11	97	27	98
12	97	28	98
13	97	29	98
14	97	30	99
15	97		
16	97		

$$t_l = \frac{\max(|U_l - \bar{U}|)}{\hat{\sigma}_U} = \frac{2,1}{0,959} = 2,19$$

Оскільки $t_l < t_T$ тобто $2,19 < 2,7$, тому робимо висновок, що вибірка не містить грубих помилок.

Обчислимо неупереджену оцінку ШКВ результату вимірювання за виразом (3.10)

$$\hat{\sigma}_{\bar{U}} = \frac{0,959}{\sqrt{30}} = 0,175 \text{ мВ}.$$

Визначемо довірчі границі $\overset{\circ}{\Delta_{\bar{x}_\delta}}$ випадкової складової похибки вимірів з багаторазовими спостереженнями по формулі (3.12)

$$\overset{\circ}{\Delta_{\bar{U}_\delta}} = \pm t_s \hat{\sigma}_{\bar{U}} = 2,184 \cdot 0,175 = \pm 0,382_{\text{мВ}}.$$

Визначаємо границі Θ_δ загальної не виключена систематична складова похибки результату вимірювання з декількома спостереженнями.

$$\Theta_\delta = 0,9 \cdot 0,175 = 0,157_{\text{мВ}}.$$

Визначаємо довірчі границі Δ_δ сумарної (повної) похибки вимірів з багаторазовими спостереженнями по формулі (3.13)

$$\Delta_\delta = \pm \frac{0,157 + 0,382}{0,175 + (0,157/\sqrt{3})} \cdot \sqrt{0,175^2 + \left(\frac{0,157}{\sqrt{3}}\right)^2} = \pm 0,399_{\text{мВ}}.$$

Записують результат вимірів з багаторазовими спостереженнями. Його представляють у вигляді

$$U = (97,1 \pm 0,4)_{\text{мВ}}; P = 0,96.$$

3.6 Розрахунок стандартної невизначеності

Виконаємо обчислення стандартної невизначеності результатів вимірювань.

Стандартна невизначеність – це невизначеність результату вимірювання, виражена як його стандартне відхилення [2, 3].

За методами обчислення невизначеності поділяють на дві групи:

- невизначеності типу А – невизначеності результатів вимірювання, оцінені статистичним аналізом повторних спостережень;
- невизначеності типу В – оцінюються нестатистичними методами.

Слід зазначити, що тип А і В не є заміниками слів "випадковий" або "систематичний". В одному випадку невизначеність, спричинена випадковими наслідками, може бути оцінена за типом А, в іншому – за типом В. Те саме можна сказати і про невизначеності, спричинені впливом систематичних факторів. Таким чином, неможливо безпосередньо порівняти невизначеності типу А або В з випадковими або систематичними помилками. Причина полягає в тому, що чи є помилки, пов'язані з компонентами невизначеності, систематичними чи випадковими, вони однозначно не визначені, але залежать від конкретного випадку. Таким чином, помилка внаслідок випадкових ефектів стає систематичною, якщо результат вимірювання включається як вхід до наступного вимірювання [2, 3].

Оцінюючи невизначеність як типу А, так і типу В, невизначеність подається за стандартним відхиленням. Той самий підхід до оцінки невизначеності, незалежно від джерела, особливо важливий, враховуючи, що стандартна невизначеність не є кінцевим параметром, але згодом використовується для обчислення загальної стандартної невизначеності. Це дозволяє враховувати всі компоненти невизначеності однаково при обчисленні загальної невизначеності, не турбуючись про їх походження.

Зазвичай професіонали віддають перевагу оцінкам на основі повторних спостережень (оцінки типу А). Однак ці оцінки можуть бути недостатньо точними. Неточність може бути особливо великою, якщо кількість спостережень менше десяти. У цьому випадку слід використовувати оцінки типу В. Експертна оцінка може бути настільки ж реалістичною, як і тип А.

Курс завжди базується на певних припущеннях, але ці припущення виправдовуються знаннями процедури вимірювання та досвідом, накопиченим у

процесі. Крім того, вибір закону розподілу за описаними вище правилами запобігає недооцінці невизначеності, тобто переоціненню точності вимірювань. У переважній більшості випадків точність знижується, але вона менш небезпечна, ніж переоцінювати її. Звичайно, це може (хоча і не обов'язково) призвести до матеріальних втрат.

Зниження точності є своєрідною "платою" за те, що не хочуть встановлювати вид реального закону розподілу. Така установка вимагає як часу, так і матеріальних ресурсів, і не факт, що ці витрати будуть меншими, ніж втрати через недостатню точність. Крім того, часто неможливо встановити тип реального закону розподілу з певних причин.

Тому в нашому випадку, коли відомі граничні значення параметрів керування та є інформація про закон розподілу та статистику змін параметрів на інтервалі управління, доцільно використовувати оцінку стандартних невизначеностей результати вимірювань за типом А (для визначення випадкової складової помилки) та типом В (для визначення систематичної складової).

$$u_A(\bar{x}_i) = \sqrt{\frac{\sum_{q=1}^{n_i} (x_{iq} - \bar{x}_i)^2}{n_i(n_i - 1)}}, \quad (3.14)$$

де n_i – кількість спостережень проведених при вимірюванні x_i .

Стандартна невизначеність вимірювань типу А вхідної величини – напруги зі схеми каналів червоного діоду розраховується за формулою (3.14)

$$u_A(\bar{U}_i)_{red} = \sqrt{\frac{15,5}{30 \cdot (30 - 1)}} = 0,133, \text{ мВ.}$$

Стандартна невизначеність вимірювань типу А вхідної величини – напруги зі схеми каналів синього діоду розраховується за формулою (3.14)

$$u_A(\bar{U}_i)_{blue} = \sqrt{\frac{18,8}{30 \cdot (30 - 1)}} = 0,147, \text{ мВ.}$$

Стандартна невизначеність вимірювань типу А вхідної величини – напруги зі схеми каналів зеленого діоду розраховується за формулою (3.14)

$$u_A(\bar{U}_i)_{green} = \sqrt{\frac{26,7}{30 \cdot (30 - 1)}} = 0,03, \text{ мВ}$$

Розрахунок стандартної невизначеності за типом В.

Як правило, оцінка стандартної невизначеності типу В обмежується застосуванням апіорного закону розподілу. Наприклад, для результату вимірювання, описаного нормальним розподілом, стандартна невизначеність типу В оцінюється за формулою:

$$u_B(x) = \frac{b - a}{6}, \quad (3.15)$$

де a і b – ліва і права межі розподілу відповідно.

Тому розрахунок стандартної невизначеності за типом В можливий за наявності певної інформації про значення, для якого робиться оцінка. Така інформація – це пізнання природи закону розподілу та його меж. Ми можемо отримати ці знання з певних джерел, а саме:

– з даних попередніх (архівних) або спеціальних додаткових вимірювань;

- із специфікацій (документації) виробника на прилади та матеріали, що використовуються в процесі вимірювання;
- з протоколів або сертифікатів калібрування та калібрування вимірювальних приладів;
- з довідкових даних;
- ґрунтується на знаннях поведінки та властивостей речовин чи пристроїв.

Ситуація є досить поширеною, коли межі розподілу відомі, і будь-яка інформація про розподіл значень у межах не існує. У цьому випадку при обчисленні стандартної невизначеності ми використовуємо формулу рівномірного розподілу, яка виглядає так

$$u_B(x) = \frac{b-a}{2\sqrt{3}}. \quad (3.16)$$

Оскільки закон розподілу результатів вимірювань є нормальним, то для подальших обчислень слід використовувати (3.14).

Рівень вихідної напруги ланцюга каналу червоного діода коливається від 148 мВ до 151 мВ, тому стандартна невизначеність (тип В) результатів вимірювань дорівнює

$$u_B(U)_{red} = \frac{151-148}{6} = 0,5 \text{ мВ}.$$

Вихідна напруга від синього діодного контуру коливається від 90 мВ до 93 мВ, тому стандартна невизначеність (тип В) результатів вимірювань становить

$$u_B(U)_{blue} = \frac{93-90}{6} = 0,5 \text{ мВ}.$$

Сигнал вихідної напруги із схеми зеленого каналу коливається від 95 мВ до 99 мВ, тому стандартна невизначеність (тип В) результатів вимірювань дорівнює

$$u_B(U)_{green} = \frac{99 - 95}{6} = 0,667 \text{ мВ.}$$

На основі даних, отриманих за результатами повномасштабних вимірювань вихідної напруги від червоних, синіх та зелених фотодіодів колонометрів електронів від яскравості світлового випромінювання, можна було обчислити стандартні невизначеності для типів А і В. Отримані значення невизначеності цілком задовольняють умовам.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Аналіз умов праці на робочому місці дослідника

Доступ до роботи маємо з приміщення ХНУРЕ, яке знаходиться на другому поверсі п'ятиповерхової споруди. Розміри приміщення зала ПК: довжина 20м., ширина 11м., висота 4,5м, що складає площу – 220м² та об'єм – 990м³. Кількість робочих місць – 15. Тому на 1 робоче місце відводиться площа –14,7м² (>6м²) та об'єм – 66м³ (>21м³), що відповідає вимогам НПАОП 0.00–1.28–10.

Переріз чотири провідного кабелю з алюмінієвими жилами обрано за економічною щільністю струму. Розподіл напруги по рядах робочих місць виконано трьохпровідними кабелями з мідними жилами і максимальною довжиною, рівною периметру приміщення. Трансформатор підстанції масляний. Потужність – 100кВ*А. Потужність комп'ютерного обладнання 6,0 кВт, що живиться від джерела напруги 220В, відстань до підстанції 150м.

Недостатня освітленість робочої зони, а також відсутність або нестача природного світла, викликають труднощі в розпізнаванні зорових образів, знижує швидкість сприйняття, що в кінцевому підсумку порушує сприйняття візуальної інформації і призводить до помилок при виконанні робіт.

Розумовий перенапруження, викликане переробкою великої кількості інформації, монотонність праці через одноманітних рухів при роботі з клавіатурою призводить до зниження працездатності.

У приміщенні була проведена оцінка факторів виробничого середовища і трудового процесу.

Так як значення всіх факторів виробничого середовища знаходяться межах норми, тому вимоги праці на робочому місці відносяться до 2 класу умов праці. Домінуючим небезпечним фактором є підвищене значення напруги в електричному ланцюзі, замикання якого може відбутися через тіло людини.

4.2 Промислова безпека

Приміщення належить до класу приміщень без підвищеної небезпеки. Приміщення сухе, вологість повітря до 65%, струмопровідний пил відсутній, й так само відсутні високі температури і можливість одночасного дотику людини до мають з'єднання із землею металоконструкцій будівлі і до металевих корпусів електрообладнання.

Живлення здійснюється від трифазної чотирьохпровідної мережі з глухозаземленою нейтраллю з напругою 220В. У таких мережах для захисту від ураження електричним струмом використовують систему заземлення типу TN–C–S. Для виконання необхідно в приміщенні прокласти шину (нульовий захисний провідник), яку з'єднати з нейтраллю мережі. Повна провідність PEN–провідника повинна бути не менше 50% провідності фазного провідника. Перетин PEN–провідника при алюмінієвих і мідних жилах повинний бути не менше 50% перетину фазного проводу. Приєднання заземлюючих і нульового провідників до частин обладнання, виконують зварюванням або болтовим з'єднанням. Кожну частину електроустановок приєднують до мережі за допомогою окремого відгалуження. Необхідно, щоб шина була доступна для огляду.

Проведемо розрахунок струму спрацьовування автомату захисту, т.к. найбільш несприятливим фактором є підвищене значення напруги в електричному ланцюзі, замикання якої може статися через тіло людини, і це може привести до летального результату.

Визначимо максимальний розрахунковий струм в лінії:

$$I = \frac{P_H 10^3}{U_H} = \frac{6000}{220} = 27.3 \text{ A}, \quad (4.1)$$

де P – потужність, споживана електроустаткуванням;

$U_{ном}$ – фазна напруга в мережі.

Визначаємо площу поперечного перерізу для алюмінію та міді:

$$\begin{aligned} S_{\text{алюм}} &= I_{\text{ном}} / I_{\text{ек}} = \frac{27.3}{1.9} = 14,4 \text{ мм}^2, \text{ беремо } 16 \text{ мм}^2 \\ S_{\text{мідь}} &= I_{\text{ном}} / I_{\text{ек}} = \frac{27.3}{3.5} = 7,8 \text{ мм}^2, \text{ беремо } 10 \text{ мм}^2, \end{aligned} \quad (4.2)$$

де $I_{\text{ном}}$ – максимальний розрахунковий струм;

$I_{\text{ек}}$ – економічна щільність струму.

Знаходимо активний опір кабельної з алюмінієвих і мідних провідників:

$$\begin{aligned} R_{\phi}^{\text{алюм}} &= R_n^{\text{алюм}} = \rho \cdot \frac{l}{S} = 0,028 \cdot \frac{150}{16} = 0,26 \text{ Ом.}, \\ R_{\phi}^{\text{мідь}} &= R_n^{\text{мідь}} = \rho \cdot \frac{l}{S} = 0,018 \cdot \frac{62}{10} = 0,11 \text{ Ом.}, \end{aligned} \quad (4.3)$$

де ρ – опір провідника, який для алюмінію $0,028 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$, а для міді $0,018 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$;

l – довжина провідника, м (для алюмінію відстань до підстанції 150 м, а для міді периметр приміщення $P=(a+b) \cdot 2=(20+11) \cdot 2=62$);

S – перетин провідника, мм^2 .

Індуктивний опір алюмінієвих та мідних дротів дуже незначні, тому ними можна знехтувати. Опір взаємодукції залежить від відстані між D та їх діаметра d . Зазвичай приймають $X_{\phi H} = 6 \cdot 10^{-4} \cdot l$.

Знаходимо довжину петлі «фаза–нуль»:

$$l_n = l_{\phi}^{\text{мідь}} + l_n^{\text{мідь}} + l_{\phi}^{\text{алюм}} + l_n^{\text{алюм}} = 62 + 62 + 150 + 150 = 424 \text{ м.} \quad (4.4)$$

Визначаємо опір петлі «фаза–нуль»:

$$X_{\phi H} = 6 \cdot 10^{-4} \cdot l = 6 \cdot 10^{-4} \cdot 424 = 0,25 \text{ Ом.} \quad (4.5)$$

Повний опір петлі «фаза–нуль»:

$$Z_n = \sqrt{(R_{\phi}^{мід} + R_n^{мід} + R_{\phi}^{алюм} + R_n^{алюм})^2 + X_{\phi H}^2} = \sqrt{(0.11 + 0.11 + 0.26 + 0.26)^2 + 0.25^2} = 0.8 \text{ Ом. (4.6)}$$

За даними в умові маємо трансформатор потужністю $P_{тр}=100 \text{ кВ}\cdot\text{А}$. Його опір дорівнює $Z_{тр}=0.26 \text{ Ом}$.

Струм однофазного короткого замикання буде:

$$I_{кз} = \frac{U}{\frac{Z_{тр}}{3} + Z_n} = \frac{220}{\frac{0.26}{3} + 0.8} = 244 \text{ А. (4.7)}$$

Дія автомата виключення забезпечується, якщо виконується умова:

$$I_{кз} \geq K \cdot I_n$$

Знаходимо струм спрацювання автоматичного вимикача (I_n):

$$I_n = I_{кз} / K = \frac{244}{1.25} = 195,2 \text{ А, (4.8)}$$

де K – коефіцієнт кратності ($k = 1,25$ для автомата виключення більш як 100 А).

Обираємо автомат захисту DPN N Vigi, який використовують для захисту людини від ураження електричним струмом, захисту обладнання від пожеж при порушенні ізоляції електропроводки, а також захисту від струмів короткого замикання та перевантаження.

Проводять інструктажі згідно з НПАОП 0.00–4.12–05. Вступний інструктаж проводять з усіма знову прийнятими на роботу за програмою служби охорони праці з урахуванням особливостей виробництва. Програма інструктажу

затверджуються керівником підприємства. Інструктаж фіксується в журналі вступного інструктажу, а так само в документах про прийняття працівника на роботу.

Первинний інструктаж проводиться на робочому місці перед початком робіт з знову прийнятим працівником, з працівником, який перевівся на дане підприємство. Програма розробляється керівником відділу адміністрування, узгоджується зі службою охорони праці і затверджується керівником підприємства. Інструктаж фіксується в журналі реєстрації первинних інструктажів. Повторний інструктаж проводиться на робочому місці з усіма працівниками один раз на півріччя. Якщо порушення техніки безпеки призвели до травм, повторний інструктаж проводиться відразу ж. Повторний інструктаж проводиться за програмою первинного інструктажу. Запис про повторні інструктажі робиться в журналі первинного інструктажу.

У разі необхідності проводять позаплановий інструктаж (при зміні технологічного процесу, порушення техніки безпеки, впровадженні нового електрообладнання). Цільовий інструктаж проводять при виконанні робіт. Всі інструктажі фіксуються у спеціальних журналах.

Для підвищення безпеки нульовий захисний провідник потрібно повторно заземлити. Контроль ізоляції проводять не рідше 1 разу на рік при відключеній напрузі в мережі. Вимірювати опір необхідно між нулем і фазою, і між фазами.

4.3 Виробнича санітарія

Робота інженерів відноситься до категорії Ia: робота, виконувана сидячи, не вимагає систематичного фізичної напруги і переміщення важких речей. Оптимальні норми мікроклімату згідно ДСН 3.3.6.042–99 наступні:

- в холодний період: температура 22 – 24 ° C;
- відносна вологість: 40 – 60%;
- швидкість руху повітря: не більше 0.1 м / с;

- в теплий період: температура: 23 – 25 ° С;
відносна вологість: 40 – 60%;
швидкість руху повітря: не більше 0.1–0.2 м/с.
- для підтримки метеопараметрів в теплий період використовується кондиціонування, а в холодний період – опалення.

Зорова робота оператора ПК є роботою найвищої точності, найменший розмір об'єкта відмінності складає 0,3–0,5 мм. Рекомендовано освітленість для роботи становить 300 лк, а освітленість при роботі над документами – 400 лк. Для штучного освітлення використовують світильники з люмінесцентними лампами. Найбільш прийнятними є лампи ЛБ (білого світла) і ЛТБ (тепло-білого світла) потужністю 20, 40 і 80 Вт. Робочі місця повинні бути розташовані так, щоб віконні прорізи перебували переважно з лівого боку. Вікна необхідно забезпечити світлорозсіювальними шторами.

Робота в приміщенні відноситься до висококваліфікованої розумової праці, що вимагає зосередженості. Тому згідно з ДСН 3.3.6.037–99 рівень шуму не повинен перевищувати 50 дБ.

Робоче місце організовано відповідно до вимог ГОСТ 12.2.032–78. На малюнку 3 показано розміщення робочих місць та обладнання у обчислювальному центрі.

При організації робочого місця клавіатуру розміщують на столі або на спеціальній, регульованій по висоті робочій поверхні окремо від столу на відстані 100–30 мм від краю, що ближче до працюючого. Дисплей рекомендується поміщати таким чином, щоб його екран розташовувався у вертикальній площині під кутом менше 15° від нормальної лінії погляду, а кут спостереження екрана в горизонтальній площині не перевищував 60°. Для комп'ютерів повинні використовуватися стандартні столи висотою 800 мм.

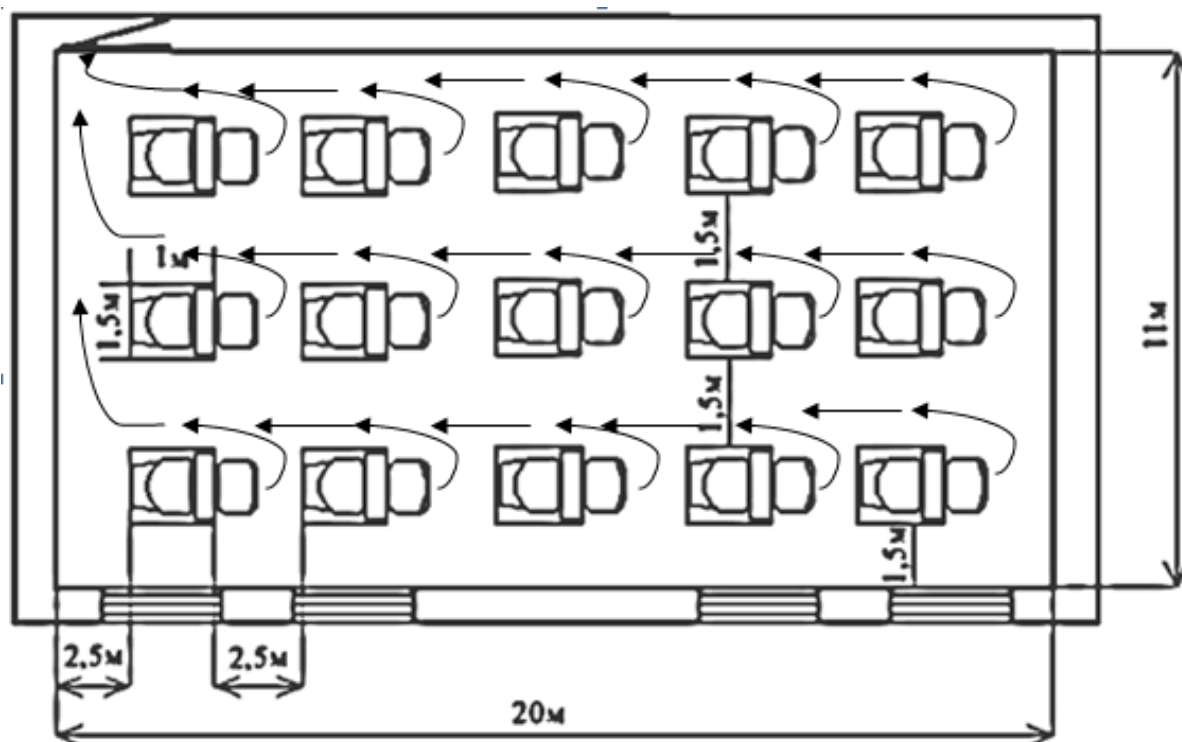


Рисунок 4.1 – Схема розміщення робочих місць та евакуації в залі ПК

Оптимальне положення працюючого за комп'ютером має забезпечуватися за допомогою регульованого крісла з підлокітниками і підставки для ніг. З метою виключення відблисків і відображення від екрана монітора планування робочих місць в приміщенні виконати таким чином, щоб напрямок погляду було паралельно розташуванню світильників і вікон. Щоб уникнути перенапруги органів зору рекомендується дотримуватися відстань до монітора 600–700 мм при діагоналі 15". Розташування принтера на робочому місці має забезпечувати добру видимість екрану дисплея. Роботи, що проводяться в приміщенні, відносяться до категорії В, тривалість дня для якої перевищує 4 години (робоча зміна 8 годин). Необхідно робити 20-ти хвилинні перерви через 2 години після початку роботи, через 1,5 години після обідньої перерви і ще один через годину, або ж щогодинні перерви по 5–15 хвилин. Загальна тривалість перерв (не рахуючи обідньої) за 8-годинний день має становити 60 хв.

4.4 Протипожежна безпека

По пожежній небезпеці лабораторія відноситься до класу П–Па по НПАОП–40.1–1.21–98, тому що в приміщенні знаходяться тверді горючі речовини без пилу. У лабораторії є речовини і матеріали, що можуть горіти (папір, пластмаса, паркетна підлога). Дане приміщення за ступенем вогнестійкості, згідно ДБН В.1.1.7–2002, відноситься до II ступеня вогнестійкості. Причинами займання в даному приміщенні можуть бути: іскріння в комутаційної апаратури, можливості замикання в електричних ланцюгах, порушення правил пожежної безпеки.

Пожежна безпека, відповідно до ГОСТ 12.1.004–91, забезпечується системами запобігання пожежі, системою протипожежного захисту, організаційно-технічними заходами.

У приміщенні встановлено систему автоматичної пожежної сигналізації (по ГОСТ12.1.004–91), датчики якої спрацьовують від високої температури типу ІП–105–2 (один сповіщувач на 86 м²). Передбачається установка первинних засобів пожежогасіння: 11 вогнегасники ВВК–5 (1 вогнегасник на 20 м²) і ящик з піском.

Організаційні заходи щодо запобігання пожеж:

- щоквартальний інструктаж працівників щодо виконання вимог правил безпеки щодо запобігання пожеж;
- своєчасне прибирання приміщення від легкозаймистого сміття;
- видання необхідних інструкцій, планів евакуації (план евакуації при пожежі повинен вказувати максимально короткий шлях до виходу з будівлі, дотримуючись яких персонал не створював би перешкод для наступних ззаду);
- виготовлення та застосування засобів наочної агітації щодо забезпечення пожежної безпеки;
- організація як природного, так і штучного освітлення на евакуаційних шляхах.

Приміщення лабораторії має один робочий вихід шириною 1 м, що задовольняє вимогам для вимушеної евакуації людей, тому що відстань від найбільш віддаленого місця до виходу із приміщення не перевищує 25м, тому застосування цього виходу є допустимим для евакуації при пожежі. Додаткового евакуаційного виходу не потрібно. Схема евакуації повинна бути розміщена на стіні біля виходу з приміщення.

При виконанні розділу "Охорона праці " були виявлені НШВФ і розглянуто їх вплив на людину. Розроблено організаційні та технічні заходи, що зменшують або виключають вплив НШВФ на людину. Було проаналізовано стан робочого місця та визначено клас пожежовибухонебезпеки приміщення. Виявлено можливі причини пожежі, розроблені організаційні та технічні заходи, спрямовані на профілактику пожежі, проведений розрахунок штучного освітлення, розглянуто питання промислової санітарії та гігієни. Отримані результати дозволяють підвищити захищеність людини на робочому місці та забезпечує допустимі умови праці.

ВИСНОВКИ

В першому розділі було розглянуто найпоширеніші і часто використовувані моделі: Модель RGB, Субтрактивні моделі. Було проведено аналіз колориметрів, які працюють на основі моделей RGB, CMY та CMYK. Зроблені порівняння недоліків та переваг моделей RGB та CMYK.

У другому розділі розглянуто основні аспекти, параметри, розміри променистої енергії і світла, що характеризують стан самої променистої енергії.

У третьому розділі розглянуті основні питання кольорових вимірювальних приладів, які виконують не властиву людському оці операцію – вони призначають кольорові певні числові значення, які потім можуть бути проаналізовані та інтерпретовані з точки зору допусків та обмежень контролю. Розроблений цифровий колориметр дозволяє здійснювати експрес-контроль кольорових характеристик з досить високими метрологічними показниками і не вимагає високої кваліфікації обслуговуючого персоналу. Описаний прилад відтворює середній зір людини, і люди з нормальним і ненормальним зором можуть працювати з таким інструментом з однаковим успіхом.

На основі даних, отриманих за результатами повномасштабних вимірювань вихідної напруги на червоному, синьому та зеленому фотодіодах колонометра від яскравості світлового випромінювання, можна було обчислити стандартні невизначеності для типів А і В. Отримані значення невизначеності цілком задовольняють умовам.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ 3008 – 2015. Державний стандарт України. Документація, звіти у сфері науки. Структура і правила оформлення – Чинний від 1 липня 2017 р.
2. Ньюберг Н.Д. Вимірювання кольору та стандарти-1933 – 104с.
3. Бегунов Б.Н., Заказнов Н.П. Теорія оптичних систем [Текст] –1973 – 488с.
4. Бегунов Б.Н. Геометрична оптика [Текст] –1966 –206с.

5. Заказнов Н.П., Кирюшин С.И., Кузичев В.И. Теорія оптичних систем [Текст] .-1992 – 450с.
6. Шредер Г., Трайбер Х. Технічна оптика [Текст] – Техносфера, 2006 – 424с.
7. Тітов Л.Г. Довідкова книга оптико–механіка [Текст] – М.: Машинобудування, 1936 – 758с.
8. Вільна енциклопедія [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.wikipedia.org/>.
9. Афанасьєв В.А. Оптичні вимірювання [Текст] –Вища школа, 1981 –231с.
10. Щербаковський М.Г., Хорошайло Ю.Е., Краснікова О.Л. Особливості визначення кольору в криміналістичних дослідженнях[Текст]// Науковий журнал №1 (38), 2011.
11. Фестиваль педагогічних ідей. Відкритий урок [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://festival.1>
12. Калібровка монітору [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.ukr-print.net/article/60.htm>
13. Гуревич М.М. Колір і його вимірювання. – М.: Академія наук ССРСР, 1950 –267с.
14. Колір (Електронний ресурс).
15. Сегментація зображення (Електронний ресурс).
16. Прэтт У. Цифрова обробка зображень. – Кн. 1,2. – К.: Наука, 2000. – 1024с.
17. Розенфельд А. Распознавання та обробка зображень. – К.: Мир, 1987. – 274с.
18. Обработка зображень та цифрова фільтрація / Під ред. Т. Хуанга. Перев. с англ. –, 1979. – 318с.
19. Красильніков Н.Н. Цифрова обробка 2D та 3D зображень. Навчальний посібник.-2011 – 608с.
20. Кирилов Е.А. Кольорознавство: Навчальний посібник. – 1987. – 128с.

21. Марк Д. Фершильд. Моделі кольорового сприйняття: Пер. з англ. А.Шадріна, 2006. – 437с.
22. Агостон Ж. Теорія кольору і її використання в дизайну: Пер. з англ. – 1982 – 184с.
23. Домасєв М.В., Гнатюк С.П. Колір, управління кольором. -2009. – 224с.
24. Луїзов А.В. Око і світло. –Енергоатомвидав. 1983. – 144с.
25. Вікіпедія, вільна енциклопедія.
26. Вікінаука, вільна наукова енциклопедія.
27. Дитчгбен Р. Фізична оптика. – М.: 1965. – 632с.
28. Волкотруб І.Т. Основи художнього конструювання.– Київ: Вища школа. Головне вид-во, 1982. – 152с.
29. Устінов А.Г Колір у виробничому середовищі. Методичні вказівки.- 1967. – 62с.
30. Эллиот Л., Уилкокс У. Фізика. – М.: 1975. – 736с.
31. Wright W.D., The Measurement of Color, Higler and Watts. 1960.
32. Jves Le Grand, Light, Colour and Vision (translation published by Chapman and Hall).1960.
33. Wright, The Measurement of Color, Adam Hilger. 1960.
34. <http://polienci.at.ua/publ/21-1-0-21>.
35. Кривошеєв М.И., Кустарєв А.К., Світові вимірювання в телебаченні. - 1990. – 224с.
36. Ньюберг Н.Д. Вимірювання кольору.-1933.
37. Wright W.D., The measurement of colour, 3 ed., L., 1964.
38. Wyszecky G., Stiles W.S.,Color science, N.Y., 1967.
39. Шашлов Б.А.Колір та відтворення кольорів. –Книга. 1986. – 236с.
40. Шашлов Б.А. Природа кольору. Метрологія кольору. Навчальний посібник.-1980. – 72с.
41. Цой В.В. Вступ в теорію кольору.- 1985. – 72с.
42. Артющіна Л.Ф. Колір в науці і техніці: Пер. з англ. –1978. – 592с.

43. Кривошеєв М.И., Кустарєв А.К. Кольорові вимірювання. – 1990. – 239с.
44. Лукьянчук А.І. Колір в промисловості. Логос., 2002. – 396с.
45. Воронков А.С. Каталог фірми TECHCOM.– 2004., – 117с.
46. Савченко С.В. Каталог фірми X–Rite и Koehle. 2001., – 38с.
47. Каталог фірми AvaSpec. Вид–во Форум 2003. – 47с.
48. Ульштейн І.С. Колір і телебачення. –Знання. – 1973. – 64с.
49. Шахмаєв Н.М. Фізичні основи телебачення. – Просвіта. – 1970., – 127с.
50. Варбинський А.М. Навчальний посібник. –1973., – 454с.
51. Кустарєв А.К. Колориметрія кольорового телебачення [Текст] –1967. – 336с.