

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
(повна назва)

Кафедра Проектування та експлуатація електронних апаратів
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)

ГЮІК.345342.016 ПЗ

(позначення документу)

Дослідження сприйняття кольору електронними методами

(тема)

Виконав

студент 2-го курсу, групи РЕАЗм-21-1

Наумов М.Г.

(прізвище, ініціали)

Спеціальність 172 – Телекомунікації

та радіотехніка

(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Радіоелектронні

апарати та засоби

(повна назва освітньої програми)

Керівник проф. Хорошайло Ю.Є.

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри

(підпис)

Хорошайло Ю.Є.

(прізвище, ініціали)

20 22 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
Кафедра Проектування та експлуатація електронних апаратів
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
Спеціальність 172 – Телекомунікації та радіотехніка
(код і повна назва)
Тип програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)
Освітня програма Радіоелектронні апарати та засоби
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)
« _____ » _____ 20 22 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Наумову Максиму Геннадійовичу
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Дослідження сприйняття кольору електронними методами

Затверджена наказом університету від 14 11 20 22 р. № 1475 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 4 12 20 22 р.

3. Вихідні дані до роботи Цифрові колориметри, ЕОМ типу ПК

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі)

4.1 Перелік скорочень, умовних познач, одиниць і термінів, 4.2 Вступ, 4.3 Сприйняття кольорів,
4.3.1 Будова зорового апарату людини, 4.3.2 Механізм світлового та колірною відчуття,
4.3.3 Дослідження біофізичної природи зору, 4.3.4 Рухи очей, 4.3.5 Адаптація зорового
сприйняття, 4.4 Засоби колориметричного контролю на сучасному етапі розвитку
промисловості, 4.4.1 Аналіз роботи датчика, 4.4.2 Розв'язання задачі, 4.4.3 Візуальні
колориметри, 4.5 Охорона праці, 4.5.1 Вимоги до приміщення, 4.5.2 Забезпечення виробничої
санітарії за умов виробництва, 4.5.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях у приміщенні наукової
лабораторії, 4.5.4 Висновки до розділу, 4.6 Висновки, 4.7 Перелік інформаційних джерел,
4.8 Додатки, 4.9 Відомість кваліфікаційної роботи

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) Слайди
презентації, що наведені в додатках, а також записані окремо на CD-диск.

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	Отримання завдання		
2	Аналіз завдання		
3	Огляд літератури з теми дослідження		
4	Проведення експериментів		
5	Розрахунки		
6	Оформлення пояснювальної записки		
7	Подання атестаційної роботи в ЕК		

Дата видачі завдання 01 вересня 20 22 р.

Студент

(підпис)

Наумов М.Г.

(прізвище, ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

проф. Хорошайло Ю.Є.

(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 76 с., 19 рис., 3 табл., 18 джерел,
1 додаток.

ДОСЛІДЖЕННЯ, ЗІР, КОЛІР, КОЛОРИМЕТРІЯ, ОКО.

Об'єктом дослідження є оцінка кольору за допомогою ока людини.

Метою атестаційної роботи є вивчення роботи зорового апарату людини по сприйняттю та оцінюванню кольору та його відтінків, та подання пропозицій по створенню електронних пристроїв реалізуючи процеси колориметрії.

Представлену атестаційну роботу присвячено вивченню сприйняття людиною кольору та створенню рекомендацій та опануванню методів вимірювання кольору за допомогою електронних приладів по методу сприйняття людським оком.

Представлена атестаційна робота відповідає ДСТУ 3008:2015 – Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання [1].

ABSTRACT

Explanatory note: 76 p., 19 fig., 3 table, 18 sources, 1 app.

RESEARCH, SIGHT, COLOR, COLORIMETRY, EYE.

The object of the study is the evaluation of color by the human eye.

The purpose of the certification work is to study the work of the human visual apparatus in promoting and evaluating color and its shades, and to submit proposals for the creation of electronic devices implementing colorimetry processes.

The presented attestation work is devoted to the study of the human perception of color and the creation of recommendations and the mastering of color measurement methods using electronic devices according to the human eye perception method.

The presented attestation work complies with DSTU 3008:2015 – Reports in the field of science and technology. Structure and design rules [1].

ЗМІСТ

Перелік скорочень, умовних позначок, одиниць і термінів.....	7
Вступ.....	11
1 Сприйняття кольорів.....	12
1.1 Будова зорового апарату людини.....	12
1.2 Механізм світлового та колірної відчуття	20
1.3 Дослідження біофізичної природи зору	20
1.4 Рухи очей.....	25
1.5 Адаптація зорового сприйняття.....	28
2 Засоби колориметричного контролю на сучасному етапі розвитку промисловості	34
2.1 Аналіз роботи датчика.....	34
2.2 Розв'язання задачі.....	41
2.3 Візуальні колориметри	43
2.4 Фотоелектричні колориметри.....	45
3 Охорона праці	50
3.1 Вимоги до приміщення.....	50
3.2 Забезпечення виробничої санітарії за умов виробництва.....	52
3.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях у приміщенні наукової лабораторії	54
3.4 Висновки по розділу	56
Висновки	57
Перелік інформаційних джерел	58
Додаток А. Презентація	60
Відомість атестаційної роботи.....	76

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАК, ОДИНИЦЬ І ТЕРМІНІВ

Джерело типу А – джерело, відносний спектральний розподіл енергії якого у видимій області спектру відповідає випромінюванню абсолютно чорного тіла за температури 2856 К (ГОСТ 7721–89);

\bar{A} – колір;

Джерело типу В – джерело, відносний спектральний розподіл енергії якого у видимій області спектру відповідає випромінюванню абсолютно чорного тіла при температурі 4874 К. Відтворює умови прямого сонячного освітлення (ГОСТ 7721–89);

c – швидкість світла ($c = 3 \cdot 10^8$ м/с);

Джерело типу С – джерело, відносний спектральний розподіл енергії якого у видимій області спектра відповідає випромінюванню чорного тіла при температурі 6774 К. Відтворює умови освітлення розсіяним денним світлом (ГОСТ 7721–89);

CRI – повний індекс кольору;

CRI_i – одиничний індекс кольору;

d – відстань від точки, що характеризує досліджуване джерело випромінювання, до найближчої ізотермічної лінії на колірній діаграмі типу МКО 1976;

Джерело типу D₆₅ – джерело, відносний спектральний розподіл енергії якого у видимій області спектра відповідає випромінюванню абсолютно чорного тіла при температурі 6504 К. Відтворює умови освітлення усередненим денним світлом (ГОСТ 7721–89);

E – освітленість;

\bar{E} – колір білої поверхні, освітленої джерелом типу E;

Джерело типу E – джерело, спектральна щільність випромінювання якого у видимій області спектра постійна;

$f_B(Q)$ – розподіл носіїв у дозволивених зонах невиродженого напівпровідника;

h – стала Планка ($h = 6,6262 \cdot 10^{-34}$ Дж·с);

$h\nu$ – енергія кванта випромінювання;

I – сила випромінювання (сила світла);

K – ваговий коефіцієнт;

K_m – максимальна спектральна світлова ефективність випромінювання (при $\lambda = 0,555$ мкм ($K_m = 683$ лм / Вт));

k – стала Больцмана ($k = 1,38067 \cdot 10^{-23}$ Дж/К);

k_c – множник;

k_v – квазіхвильовий вектор;

L – яскравість;

M – світність;

$M(\lambda)$ – спектральний розподіл світності джерела випромінювання;

m_e^* – ефективна маса електрона;

m_h^* – ефективна маса дірки;

m_r^* – наведена маса.

\bar{n}_{air} – показник заломлення повітря.

\bar{n}_s – показник заломлення напівпровідника.

$R_\lambda(\lambda)$ – розподіл спектральної густини випромінювання джерела за довжиною хвилі.

$R_{\lambda \max}$ – максимум розподілу спектральної густини випромінювання джерела.

Q – енергія.

Q_C – енергія екстремуму зони провідності.

Q_E – енергія електрона у зоні провідності.

Q_g – ширина забороненої зони.

Q_H – енергія дірок у валентній зоні.

Q_V – енергія екстремуму валентної зони.

RGB – триколірна система вимірювання кольору через три основні кольори \vec{R} , \vec{G} та \vec{B} .

$R_i(\lambda)$ – спектральний розподіл відбивної здатності i -тої поверхні.

R – радіус.

$\bar{r}_0(\lambda)$, $\bar{g}_0(\lambda)$, $\bar{b}_0(\lambda)$ – фізіологічні криві додавання кольорів.

(r, f) – координати кольорів у колірному просторі Lu^l/v^l , що характеризують адаптивний колірний зсув координат (u^l, v^l) при використанні досліджуваного джерела освітлення.

T – температура у градусах Кельвіна.

T – тангенс нахилу ізотермічної лінії.

T_c – колірна температура джерела випромінювання.

T_c^l – корельована колірна температура джерела випромінювання.

T_s – час.

u^l, v^l – координати кольоровостей на колірній діаграмі МКО 1976 р.

$V(\lambda)$ – відносна крива видимості ока (відносна спектральна світлова ефективність монохроматичного випромінювання).

X, y – координати кольоровостей на колірній діаграмі МКО 1931 р.

$\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$ – координати кольору колірного простору XYZ.

$\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ – криві складання кольорів у XYZ системі вимірювання кольору.

$\bar{x}_w(\lambda)$, $\bar{y}_w(\lambda)$, $\bar{z}_w(\lambda)$ – координати кольору джерела білого світла у колірному просторі XYZ.

XYZ – триколірна система вимірювання кольору через три основні кольори \vec{X} , \vec{Y} та \vec{Z} .

φ_c – критичний кут повного внутрішнього відбиття.

λ – довжина хвилі.

λ_{begin} – довжина хвилі «початку» спектрального розподілу.

λ_{dom} – домінуюча довжина хвилі.

λ_{end} – довжина хвилі «закінчення» спектрального розподілу.

λ_{max} – довжина хвилі максимуму спектрального розподілу.

$P(Q)$ – комбінована густина енергетичних станів залежно від енергії.

ВД – випромінюючий діод;

ІЧ – інфрачервоний;

ККТ – корельована колірна температура;

МКО – міжнародна комісія з освітлення;

УФ – ультрафіолетовий;

КТ – колірна температура;

L колбочки – світлочутливі клітини сітківки, що містять пігмент Родопсин 5 еритролаб (чутливий у червоній області спектру);

M колбочки – світлочутливі клітини сітківки, що містять пігмент Родопсин 7 хлоролаб (чутливий у зеленій ділянці спектру);

S колбочки – світлочутливі клітини сітківки, що містять пігмент Родопсин 9 ціанолаб (чутливий у синій області спектру).

ВСТУП

Зір людини – здатність людини сприймати інформацію шляхом перетворення енергії електромагнітного випромінювання світлового діапазону, здійснюваний зоровою системою. Це дуже складний функціональний механізм, який починається проходженням потоку світла від обертів через наші очі, з перетворенням енергії квантів світла в нервовий імпульс, який несе інформацію до головного мозку. Закінчується зоровий процес формуванням в нашому мозку образу об'єкту. Кора головного мозку визначає якість зору, да і в основному можливість бачити.

Якщо вивчати та знати, як людина сприймає та оцінює кольорове випромінювання можливо розробити електронні прилади для вимірювання кольорового випромінювання або кольори відбитого випромінювання від об'єктів.

Оцінка кольору за допомогою ока людини – це дуже суб'єктивний та неточний вимірювальний метод. Колір можна вимірювати та описувати за допомогою математичних формул та цифр. Тому тема дипломної роботи актуальна, бо присвячена саме цій проблемі, а саме вивченню сприяння кольору людини та створенню рекомендацій та опануванню методів вимірювання кольору за допомогою електронних приладів по методу сприяння оком людини.

Метою кваліфікаційної роботи є вивчення роботи зорового апарату людини по сприянню та оцінюванню кольору та його відтінків, та подання пропозицій по створенню електронних пристроїв реалізуючи процеси колориметрії.

1 СПРИЙНЯТТЯ КОЛЬОРІВ

Згідно з [2] кольору надається наступне визначення: колір – це афінна векторна величина трьох вимірів, що виражає властивість, загальну всім спектральним складам випромінювання, візуально нерозрізненим у колориметричних умовах спостереження. Під словом «випромінювання» при цьому слід розуміти також світло, відбите і пропускається тілами, що не самосвітяться. Таким чином, саме поняття «колір» застосовується виключно до візуального апарату людини.

1.1 Будова зорового апарату людини

Око – це основний елемент візуального апарату людини.

По суті, він є складною біологічною системою формування зображення навколишнього світу [2], [3], [4].

На рисунку 1.1 наведено будова правого очного яблука людини.

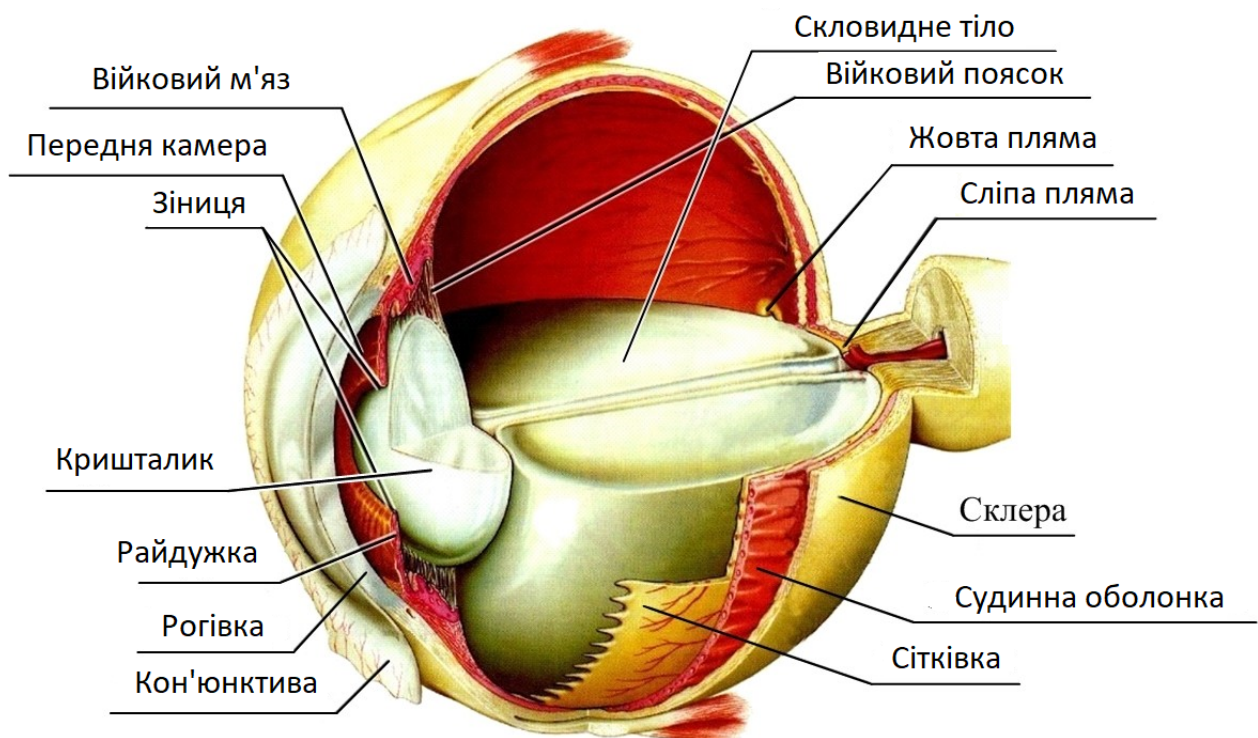


Рисунок 1.1 – Внутрішня будова ока людини

Очне яблуко зовні покрите непрозорою оболонкою, яка називається склерою. Вона містить невелику кількість нервових закінчень та судин. До склери кріпляться шість м'язів, які забезпечують рух ока. Склера непрозора по всій поверхні, крім невеликої передньої трохи опуклої області, яка називається рогівкою (або роговою оболонкою). Рогівка відрізняється високою прозорістю та пропускає світло у передню камеру ока. Передня камера заповнена прозорою рідиною – водянистою вологою.

З іншого боку передня камера обмежена непрозорою перегородкою, яка називається райдужкою (або райдужною оболонкою) і визначає колір очей людини. У центрі райдужної оболонки знаходиться круглий отвір - зіниця. За райдужкою розташовується задня камера ока. У передній частині задньої камери розташовується кришталік – «природна» лінза ока. У нормі він прозорий і еластичний, відрізняється шаруватим будовою. Кришталік може видозмінюватися за допомогою скорочення війкових м'язів (може змінювати свою форму, майже миттєво «наводячи фокус»), за рахунок чого людина бачить добре і зблизька, і вдалині.

Основну частину задньої камери ока заповнює драглиста прозора речовина – скловидне тіло. Воно підтримує форму очного яблука та бере участь у внутрішньоочному обміні речовин. Судинна оболонка вистилає задній відділ склери, до неї прилягає сітківка, з якою вона тісно пов'язана. Судинна оболонка відповідальна за кровопостачання внутрішньоочних структур. У ній немає нервових закінчень, тому при її захворюванні не виникають болі, які зазвичай сигналізують про якісь неполадки.

Сітківка ока. Сітківка ока є складною біологічною тканиною, що складається з декількох шарів і має велику кількість нервових клітин. Світло проникає крізь сітківку через шари нейронів, нервових клітин та закінчень та падає на справжні перетворювачі світла, прикріплені до пігментного епітелію – колбочки та палички. У цих фоточутливих клітинах відбувається перетворення енергії світла в електричну енергію нервової тканини.

Палички мають високу світлочутливість і дозволяють бачити при поганому освітленні, також вони відповідають за периферичний зір.

Колбочки, на відміну від паличок, вимагають для своєї роботи більшої кількості світла. Але саме вони дозволяють розглянути дрібні деталі (відповідають за центральний зір) і дають можливість розрізняти кольори. Найбільше скупчення колб знаходиться в жовтій плямі (або центральній ямці), що відповідає за найвищу гостроту зору. Слепа пляма – місце на сітківці ока, в якому збираються нервові волокна, що йдуть від рецепторів, і формується зоровий нерв. Положення сліпої плями правого ока не збігається зі становищем сліпої плями лівого ока, тому людина їх не помічає.

Сітківка являє собою не просто шар світлочувливих клітин (палички та колбочки), вона вміщує в себе також систему попередньої обробки зорових даних (горизонтальні, біполярні, амакринні та гангліозні клітини) і систему відновлення світлочувливих клітин після їх засвітлення (пігментний епітелій).

Будову сітківки наведено на рисунку 1.2.

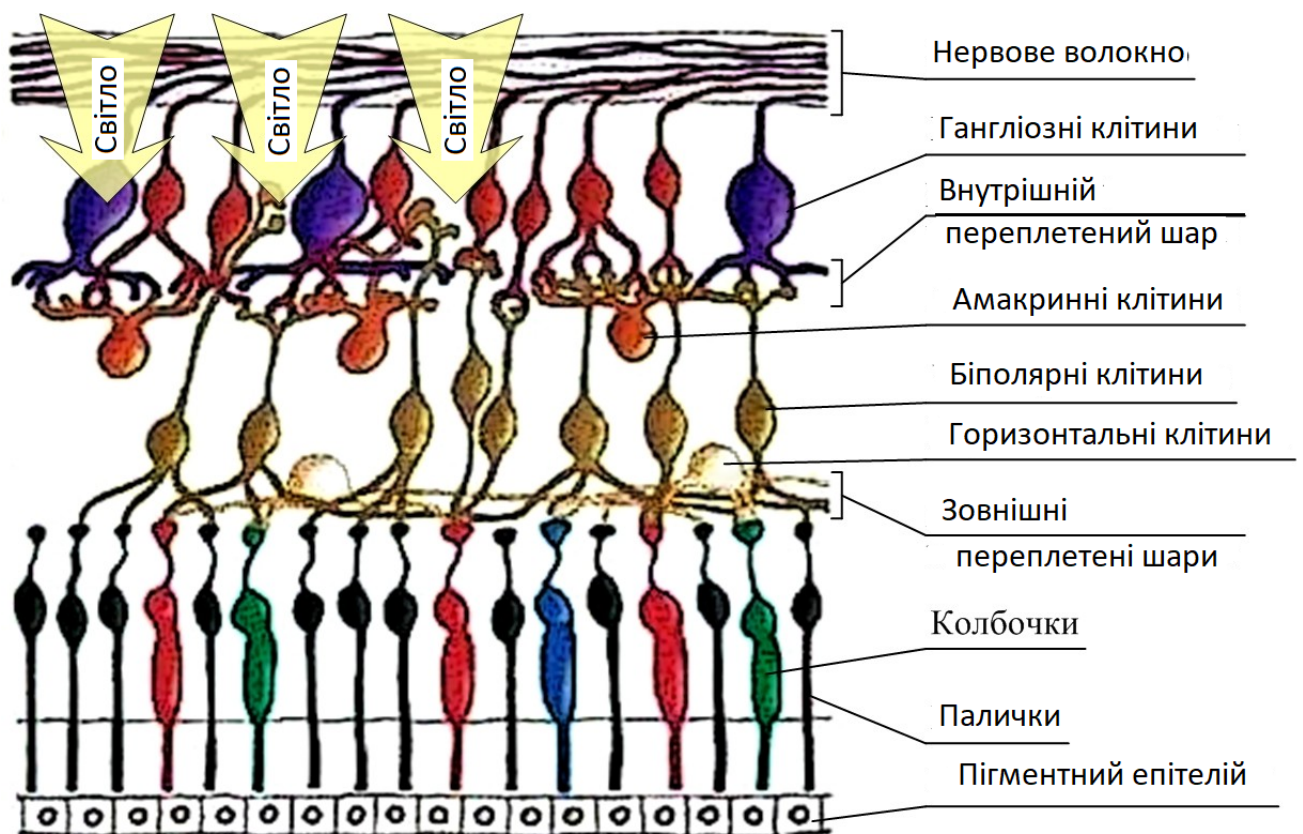


Рисунок 1.2 – Сітківка

Слід зазначити, що кількість синаптичних зв'язків клітин сітківки може суттєво змінюватись від 20 до 40000. За рахунок такої варіативності зв'язків

клітин відбувається своєрідне стиснення зображення, що дозволяє передавати в мозок лише необхідні дані про елементи зображення видимих об'єктів.

Світлочутливі клітини сітківки – палички та колбочки. Дані клітини містять пігменти, чутливі до світла. Ці пігменти перетворюють фотони світла, що падають на клітини в електричні сигнали. Дані сигнали транслюються через синаптичні зв'язки клітин, спочатку біполярних, потім гангліонарних. Потім вони передаються за допомогою аксонів до зорового нерву та кори головного мозку.

Палички – світлочутливі клітини сітківки ока, що відповідають за сутінковий чи нічний зір. Їхня кількість у сітківці перевищує 120 млн. Спектральна характеристика чутливості паличок має максимум при довжині хвилі близько 495 нм. Палички мають властивість повільної, але ефективної адаптації змін яскравості. Слід відзначити, що чутливість паличок у темряві така, що навіть один квант світла може викликати сигнал, що піддається виміру. Однак для того, щоб візуальний апарат був здатний сприйняти світло, необхідно активувати хоча б 7 паличок.

Колбочки – світлочутливі клітини сітківки ока, що зумовлюють кольоровий зір. Їх кількість у сітківці перевищує 6млн. Вони також відіграють велику роль у просторовому вирішенні очі. Колбочки мають властивість швидкої, але слабкої адаптації до 11 зміни яскравості. Щоб отримати вимірний сигнал у колбі, необхідно приблизно сто фотонів. Однак, реакція колбочки (приблизно 70 мс) у 4 рази швидше, ніж реакція палички (приблизно 300 мс).

Самі колбочки поділяються на три групи, чутливі до різних областей спектру: червоні (L), зелені (M) та сині (S). У деяких жінок було виявлено четвертий вид колб.

Світлочутливі клітини розташовуються на сітківці як мозаїки, подібної до мозаїки бджолиного вулика, і структура цієї мозаїки різна у різних людей. Більшість людей близько 65% червоних колб, 35% зелених колб і лише від 4% до 2% синіх колбочок. До того ж сині колбочки зовсім відсутні у центрі жовті плями.

З іншого боку, розмір колб на жовтій плямі набагато значніше розміру колб на периферії, і тому їх здатність сприйняття світлового сигналу вище.

Будову світлочутливих клітин сітківки – паличок та колбочок наведено на рисунку 1.3.

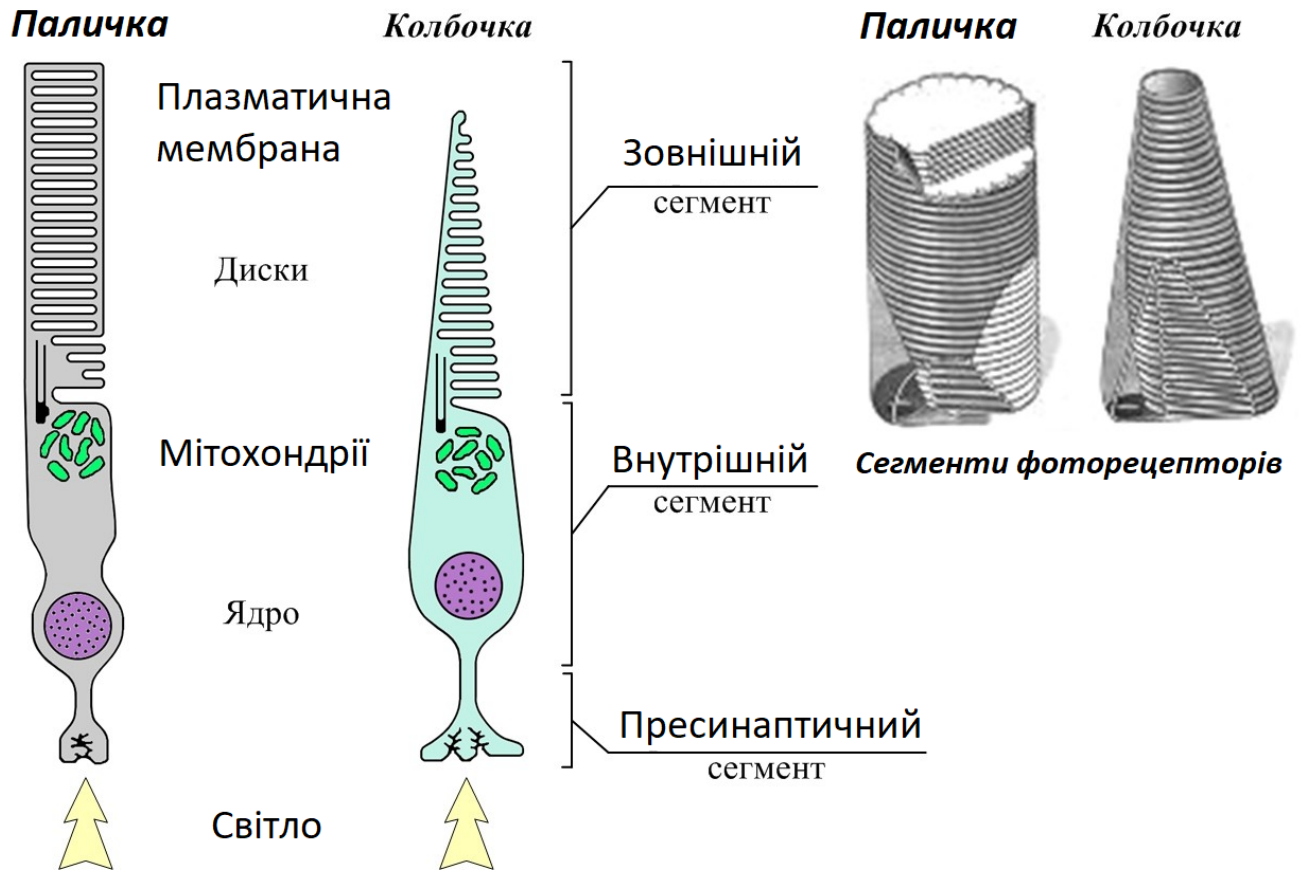


Рисунок 1.3 – Будова світлочутливих клітин сітківки – паличок та колбочок

Якщо розрізати сітківку правого ока по горизонталі площиною, що проходить через жовту пляму та зоровий нерв, то можна простежити зміну концентрації світлочутливих клітин.

Коли людина безперервно дивиться на навколишній світ, саме мозок постійно відтворює зображення цього світу в усьому полі зору. У центральній зоні жовтої плями розташовано найбільше кількість колб. Кількість паличок збільшується від центру до краю жовтої плями. У самому центрі жовтої плями густота колб складає близько 160 тисяч одиниць на квадратний міліметр, і немає палички. Тут розташована центральна частина жовтої плями – фовеола. Вона утворює зону найгострішого зору.

Кутове поле фовеоли не перевищує 2 градуси.

Графік зміни концентрації світлочутливих клітин від носової зони до скроневої наведено на рисунку 1.4.

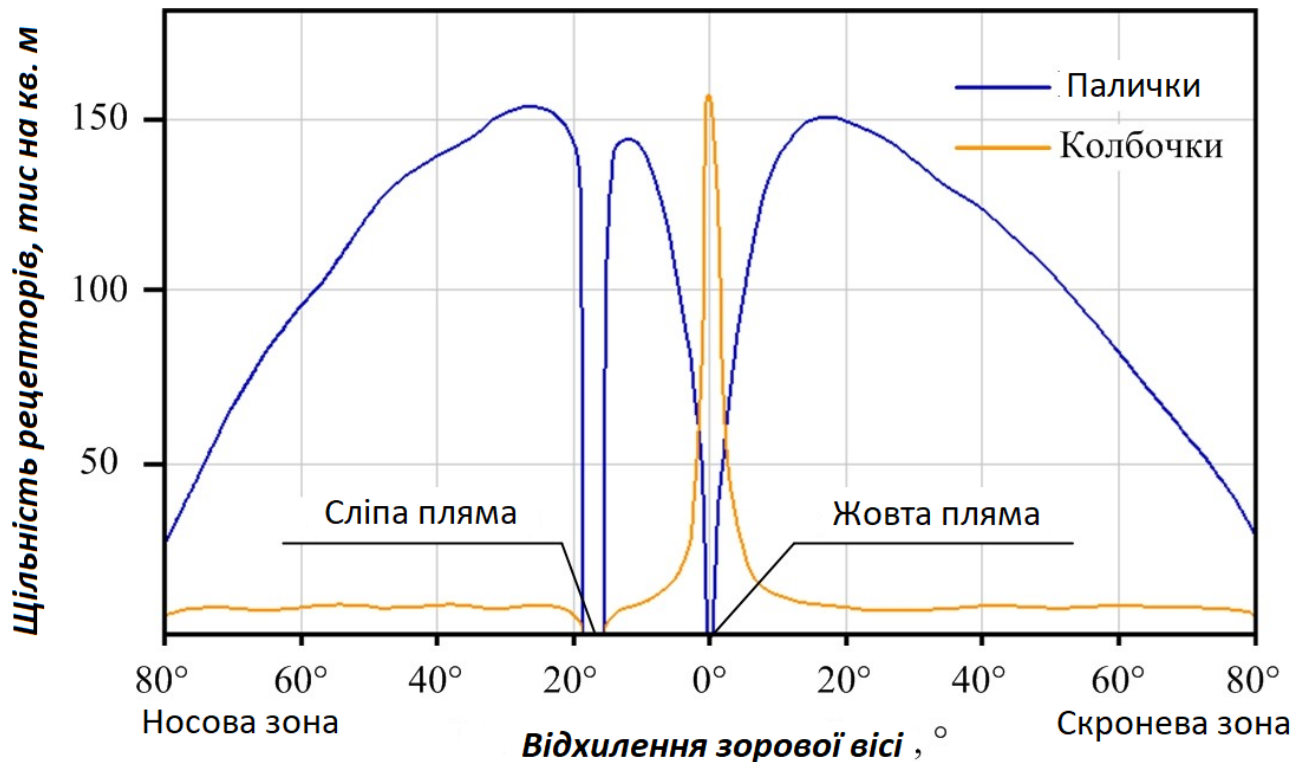


Рисунок 1.4 – Графік зміни концентрації світлочутливих клітин від носової зони до скроневої

Згідно рисунка 1.4 колбочки в основному зосереджені в центральній частині сітківки, а палички розподіляються симетрично щодо центру. Як було зазначено вище, у центрі сітківки знаходиться жовта пляма (макула), діаметром близько 3 мм і характеризується невеликим заглибленням у центрі. Слід зазначити, що жовта пляма дозволяє бачити зону трохи більше 14 градусів. За межами цієї зони, око практично не сприймає кольори та має низьку чіткість зображення.

Сприйняття візуальної інформації ґрунтується на протиріччі: з одного боку, у розпорядженні є дуже велике можливе кількість інформації, з іншого боку, цю інформацію необхідно обробити найефективнішим чином. Тому на сітківці набагато більше світлочутливих клітин, ніж передавальних нервових волокон зоровому нерві: понад 160 млн. паличок і колб на приблизно 1 млн. аксонів. Світлочутливі клітини, особливо палички, можуть «групується»

подібно до того, як це робиться при стисканні зображення. При цьому в сітківці виявлено нервові механізми, що реагують на особливі «візерунки зображення», з різними часовими та просторовими характеристиками[4].

Око виділяє рух, зміна освітленості та інші властивості об'єктів зображення і передає їх за допомогою мінімальної властивості об'єктів зображення, а також за допомогою мінімальної кількості нервових волокон відповідні зони мозку.

На рисунку 1.5 наведено електричну активність одного нервового волокна, що виникає у відповідь на зміну зорового подразника

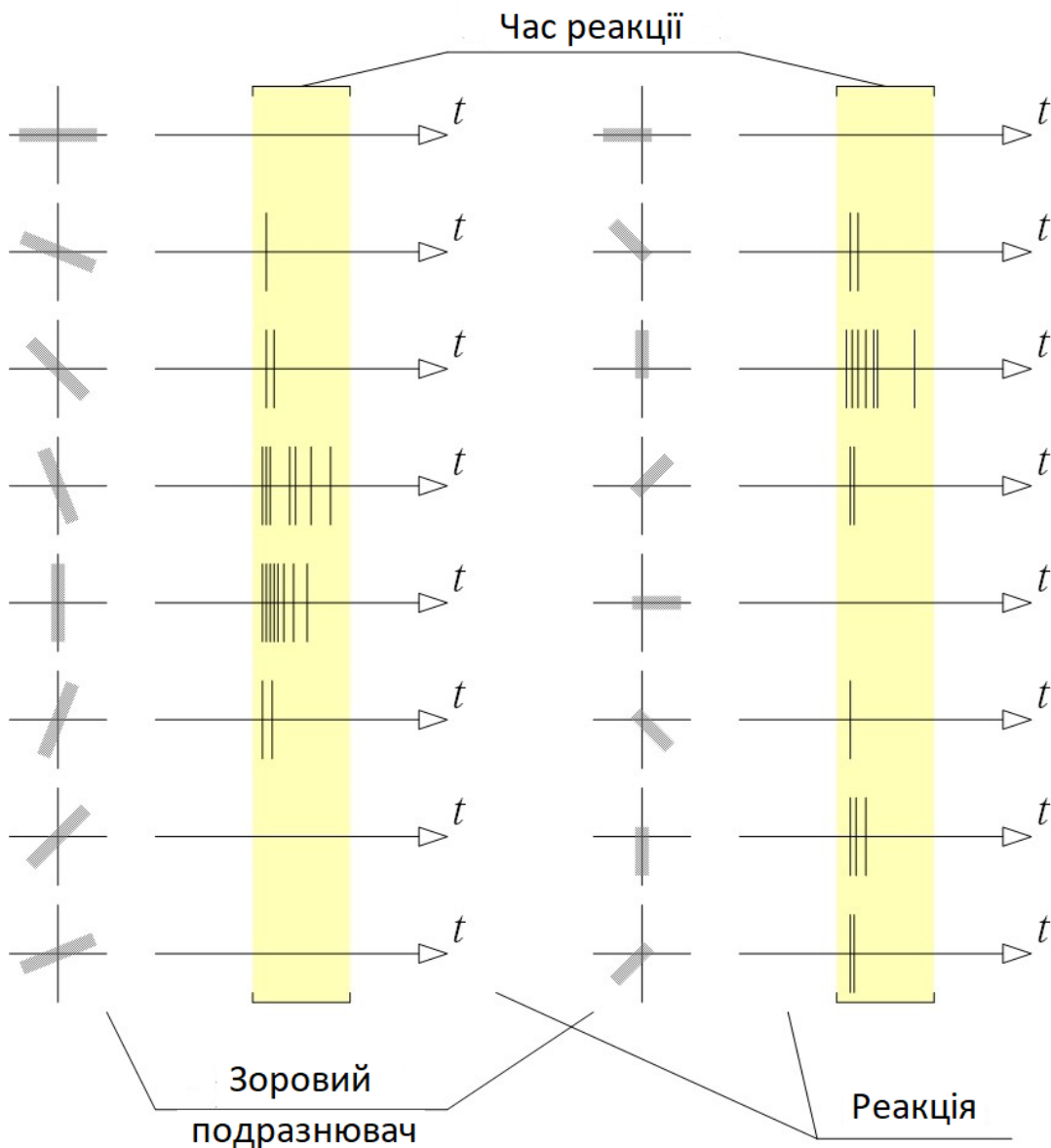


Рисунок 1.5 – Електрична активність одного нервового волокна, що виникає у відповідь на зміну зорового подразника

Таким чином, відразу кілька світлочутливих клітин можуть бути прикріплені до однієї і тієї ж біполярної клітини (рисунок 1.2). При цьому кількість «об'єднаних» світлочутливих клітин може змінюватись. Наприклад, на периферії сітківки можна знайти до 70 паличок на одну гангліозну клітину. Так підвищується чутливість рецептора в збитки дозволу. При цьому бічний зір також чутливий до сприйняття руху, хоча розпізнавання форм залишається нечітким.

Бічний зір є зону пильності та тривоги. Виходячи з усього сказаного вище, будова зорового апарату людини має можливість до надходження зорового сигналу в мозок виконувати певну його первинну обробку. Ця обробка може бути поділена на кілька етапів: колориметричну корекцію та стиск.

Будову зорового апарату людини наведено на рисунку 1.6.

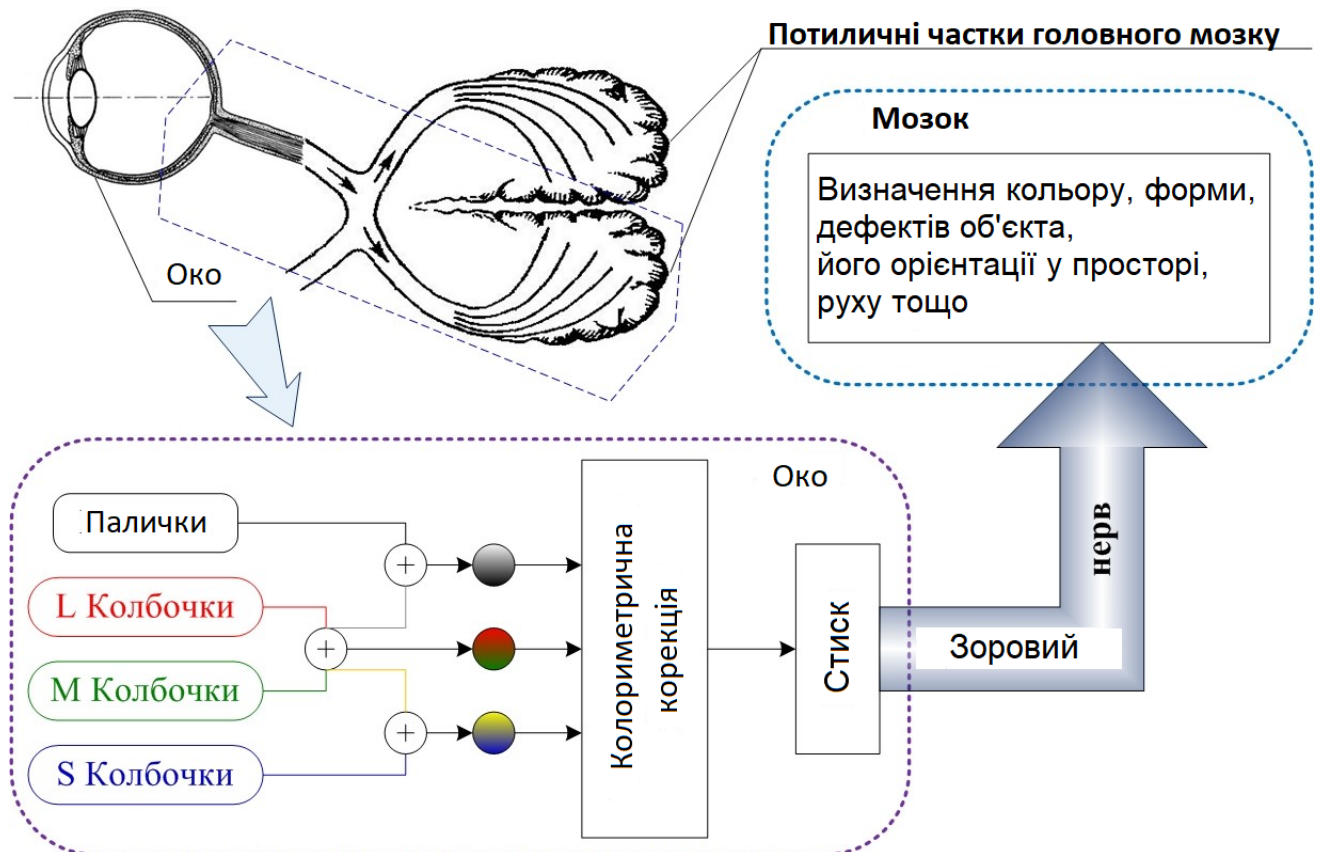


Рисунок 1.6 – Будова зорового апарату людини

Колориметрична корекція необхідна для зменшення впливу нерівномірності розподілу чутливих елементів сітківки (паличок та колбочок), а

стиснення обумовлено тим, що кількість волокон у зоровому нерві значно менше кількості світлочувливих клітин сітківки.

Волокна зорового нерву передають перетворений зоровий сигнал у мозок, де відбувається його інтерпретація і людина може бачити колір об'єкта, припустити його форму, дефекти, орієнтацію у просторі, як і куди він рухається тощо.

1.2 Механізм світлового та колірною відчуття

Біофізична природа зору базується на взаємодії окремих молекул (ретиноїдів) із випромінюванням. Ці молекули є похідними ретинолу (вітамін А1), який відповідає за жовто-помаранчеве забарвлення сітківки.

У паличках присутній лише один різновид ретиноїдів, що носить назву родопсин, а в колбочках містяться чимало видів. Загалом налічується понад дванадцять[5] різних видів, але з них виділяються чотири, особливо помітні у колбочках. Це родопсини 5, 7 та 9, а також речовина, що чутлива до ультрафіолетових хвиль – родопсин 11[6]. Однак, необхідно відзначити, що рогівка, рідка волога, кришталік і склоподібне тіло поглинають більшу частину ультрафіолетового випромінювання (УФ).

Червоні, зелені та сині колбочки містять суміш усіх цих ретиноїдів, але в кожному виді колб у більшій кількості присутній один вид ретиноїдів, причому у пропорції у 1000 разів більше, ніж решта.

У клітинах колб і паличок є тисячі мембранних дисків (рисунок 1.3), утворених плазматичними складками та на яких прикріплені довгими ланцюжками молекули ретиноїдів. Таким чином, утворюється справжній фрактальний простір для уловлювання світла.

1.3 Дослідження біофізичної природи зору

Деякі дослідження біофізичної природи зору (головним чином, дослідження у сфері сигналів, що передаються від біполярних клітин через

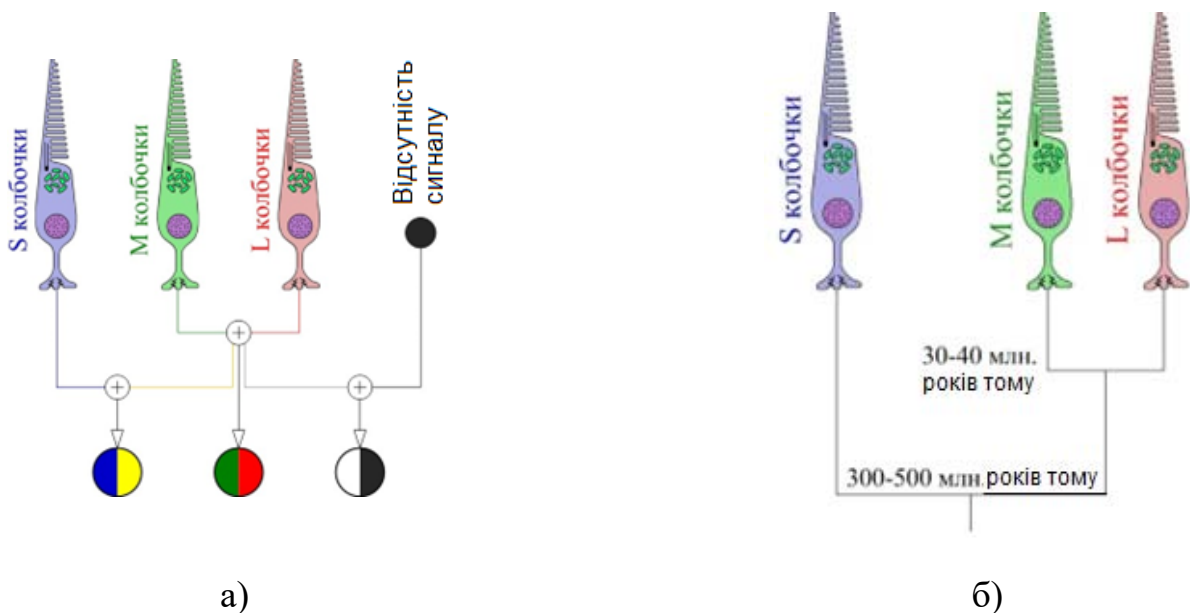
гангліозні до колінчастого тіла мозку) наводять на думку про те, що передача сигналів від сенсорних клітин може відбуватися трьома наступними способами:

- ахроматичний канал, побудований на протиставленні червоно-зеленого сигналу та відсутності сигналу взагалі;
- червоно-зелений канал, побудований на протиставленні сигналів, отриманих від червоних та зелених колб;
- синьо-жовтий канал, побудований на протиставленні червоно-зеленого сигналу від сигналу від синіх колб.

Ця ідея була вперше висунута Евальдом Герінгом (1834 – 1918 рр.).

Герінг заперечував теорію Германа фон Геймгольца про трьох типів світлочутливих клітин, що передають три певні види сигналів. На користь теорії Герінга говорять дослідження еволюції будови сітківки у ссавців та вищих приматів.

Еволюцію та структуру кольорового сприйняття у ссавців та вищих приматів наведено на рисунку 1.7.



а) – три способи передачі сигналів від сенсорних клітин;

б) – дослідження еволюції будови сітківки у ссавців та вищих приматів

Рисунок 1.7 – Еволюція та структура кольорового сприйняття

Відповідно до існуючої теорії еволюції, а також рисунку 1.7(б), розбіжність синіх та зелених колб відбулося близько 300 млн – 500 млн років тому. Поділ червоний та зелених колб відбувся набагато пізніше – у період близько 30 млн – 40 млн років тому.

Таким чином, структуру сигналів колірною сприйняття можна логічно вивести із представлених теоретичних даних.

У таблиці 1.1 наведено максимальні спектральні чутливості так званого «стандартного спостерігача» для різних типів колбочок.

Таблиця 1.1 – Максимальні спектральні чутливості так званого «стандартного спостерігача» для різних типів колбочок

Тип колбочок	Спектральна чутливість колбочок, нм
1	2
Червоні (L) колбочки	565
Зелені (M) колбочки	540
Сині (S) колбочки	440

Хоча з цього питання є розбіжності у різних авторів і у спостережуваних індивідів. Необхідно відзначити, що чутливість паличок досягає максимуму, коли спектральна чутливість колб становить 495 нм. Це значення знаходиться прямо посередині між синіми та зеленими колбочками.

На рисунку 1.8 наведено графіки чутливості світлочутливих клітин ока.

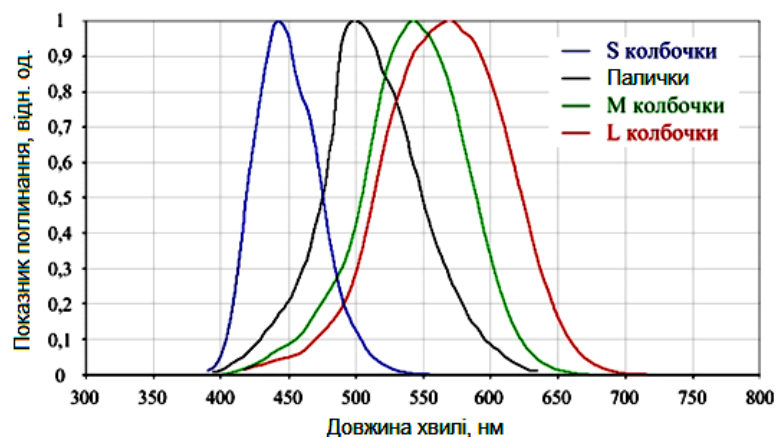


Рисунок 1.8 – Чутливість світлочутливих клітин ока

Виходячи з аналізу спектрів поглинання ретиноїдів світлочутливих клітин, напрошується перший висновок: спектральна чутливість червоних і зелених колб досить близька. Червоні колбочки насправді мають максимальну чутливість до жовтого кольору. Тому їх слід називати швидше жовтими. Але математично та логічно дуже складно розробити систему триколірного відтворення кольорового зображення, ґрунтуючись на точних значеннях чутливості колб, так як у цьому випадку колірний простір, що охоплюється, виходить занадто обмеженим.

Тому міжнародна комісія з висвітлення (МКО) прийняла за основні кольори спектру червоний, синій та зелений, піки чутливості очі до цих кольорів припадає відповідно на 605 нм, 545 нм та 445 нм відповідно.

Крім того, спектральна чутливість колб повинна бути обмежена поглинанням макулою жовтого кольору. Слід зазначити нелінійність відображення візуальним апаратом яскравості випромінювання, що сприймається [2].

На рисунку 1.9 наведено графік сприйняття яскравості оком людини.

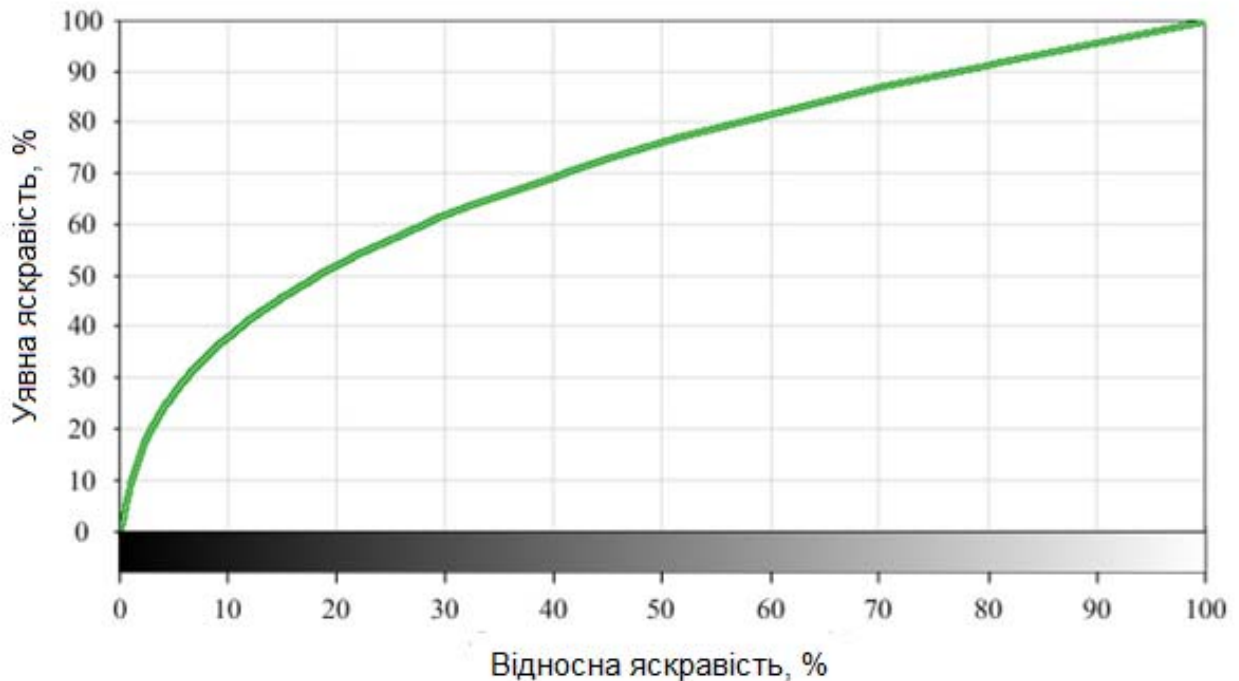


Рисунок 1.9 – Графік сприйняття яскравості оком людини

Якщо розглядати графіки спектральної чутливості червоних і зелених колб, можна зробити висновок, що відчуття насиченого червоного кольору може бути отримано тільки в тому випадку, якщо червоні колбочки передають сигнал кольору, а зелені колбочки – ні.

Очевидно і зворотне твердження про сприйняття насиченого зеленого кольору. Обидві системи працюють на протиставленні, інакше неможливо було б точно розрізнити кольори у гамі від зеленого до червоного.

Шляхом виміру на колориметрі кольорів монохроматичного випромінювання з подальшим енергетичним нормуванням були отримані функції додавання кольорів. Ці функції задаються таблицями та представляються графічно як про кривих складання [5].

Властивості сприйняття візуального апарату такі, що очі можна вважати ідеальним нуль-індикатором, тобто. з його допомогою можна з максимальною часткою достовірності стверджувати, що кольори різні (або однакові) у даних умовах спостереження, але неможливо точно визначити різницю між кольорами, якщо вони відрізняються.

На рисунку 1.10 наведено особливості сприйняття кольору.

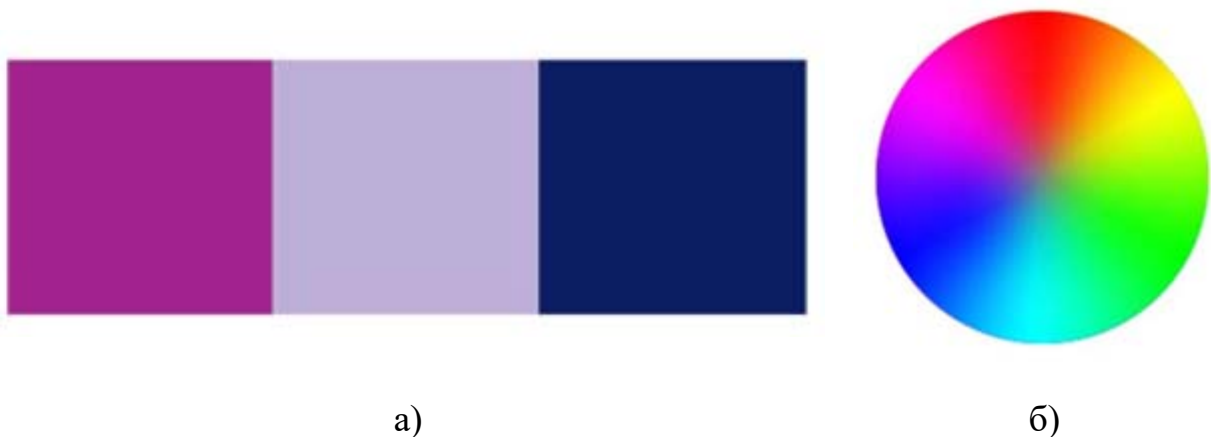


Рисунок 1.10 – Особливості сприйняття кольору

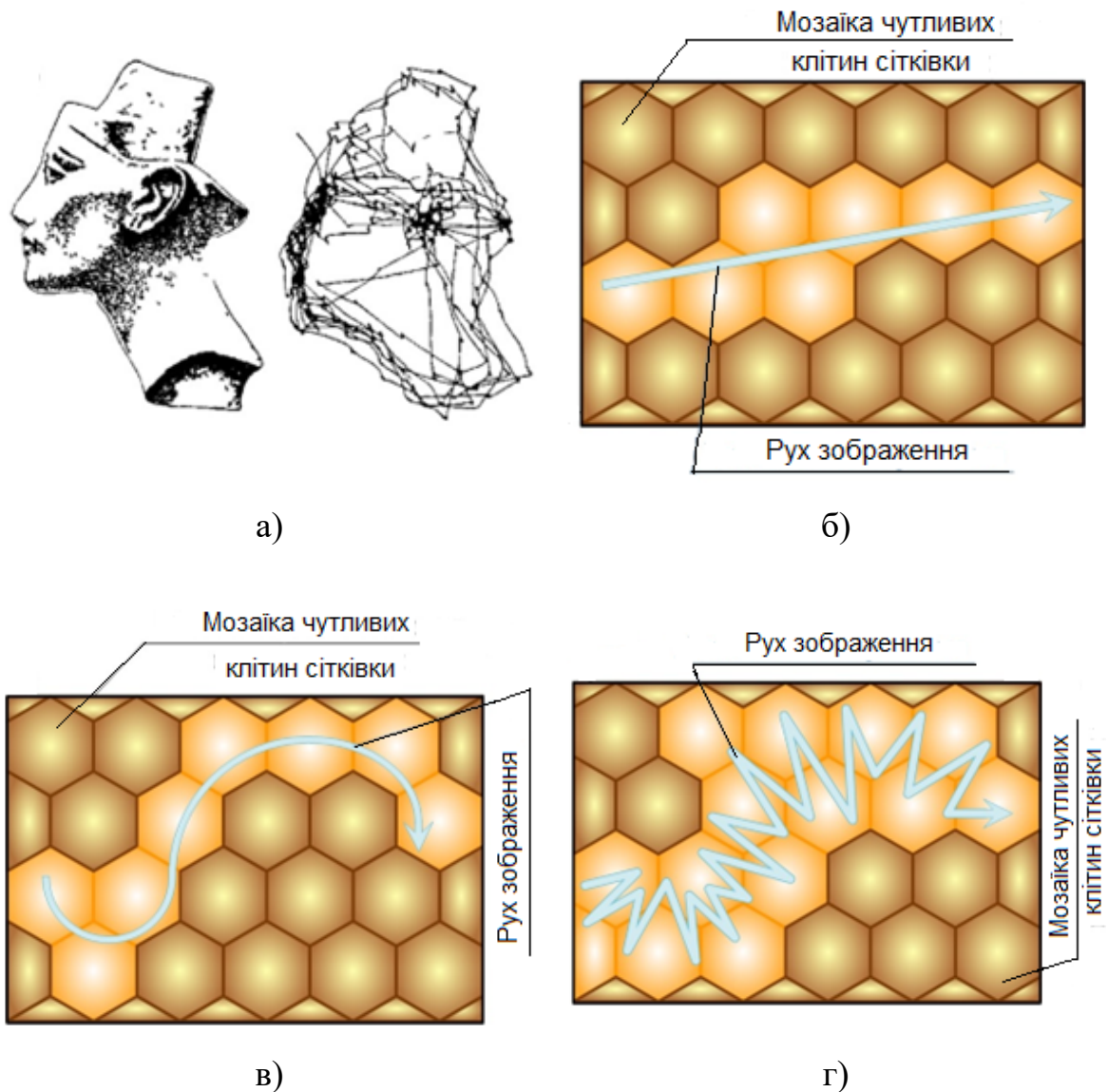
Крім того, людина не в змозі бачити більше семи колірних відтінків одночасно, тому в веселці одночасно ми бачимо тільки сім кольорів (наведено на рисунку 1.10 б). Якщо взяти шматочок веселки і подивитися на нього, то в

ньому оком ми помітимо ще сім різних відтінків – і так може продовжуватися дуже довго, до досягнення фізіологічного порогу поділу колірних відтінків.

1.4 Рухи очей

Візуальний апарат здатний отримувати зображення не лише внаслідок можливості сприйняття квантів випромінювання чутливими клітинами сітківки, а й унаслідок постійних рухів ока.

На рисунку 1.11 наведено варіанти руху ока людини.



а) – сакада, б) – мікросакада, в) – дрейф, г) – тремор

Рисунок 1.11 – Варіанти руху ока людини

Ці рухи викликаються скороченням шести м'язів очного яблука, що прикріплені до його зовнішньої поверхні.

Коли людина читає, її очі швидко переміщаються зліва направо маленькими стрибками, тож кожне наступне слово послідовно опиняється у фокусі зображення.

Спостерігаючи за собою, з'являється можливість вловити часті скорочення м'язів очей. Кожну частку секунди ока вони злегка зрушують положення вашого очного яблука, автоматично, без свідомих зусиль з вашого боку.

Сакади (великі довільні рухи очей) – це дуже швидкі рухи, подібні до ривка, які відбуваються кілька разів у секунду і використовуються очима у таких скануючих рухах, як читання чи розгляд об'єкта (наведено на рисунку 1.11 а).

Очі синхронно перескакують з одного дрібного елемента об'єкта на інший. У момент, коли відбуваються сакади, зір розмитий, тож між стрибками він припиняється, що дає системі очей-мозок час розшифрувати надруковані літери (скласти смислові фрази) або розпізнати запам'ятати елемент об'єкта, що розглядається.

Сакади складають лише незначну частину фізичного навантаження, що лягає на очні м'язи. Очі ніколи не зупиняються, навіть коли погляд зафіксовано. Якби вдалося зупинити очі в момент фіксації погляду, то статична сцена просто перестала б сприйматися. Як не дивно, але вчені лише недавно почали усвідомлювати величезне значення про фіксаційних рухів очей.

Найбільші з цих мимовільних рухів – мікросакади, що зміщують зображення по сітківці на ширину від десятків до кількох сотень світлочутливих клітин. Однак без цих мініатюрних рухів очей не сприймає нерухомі об'єкти [6].

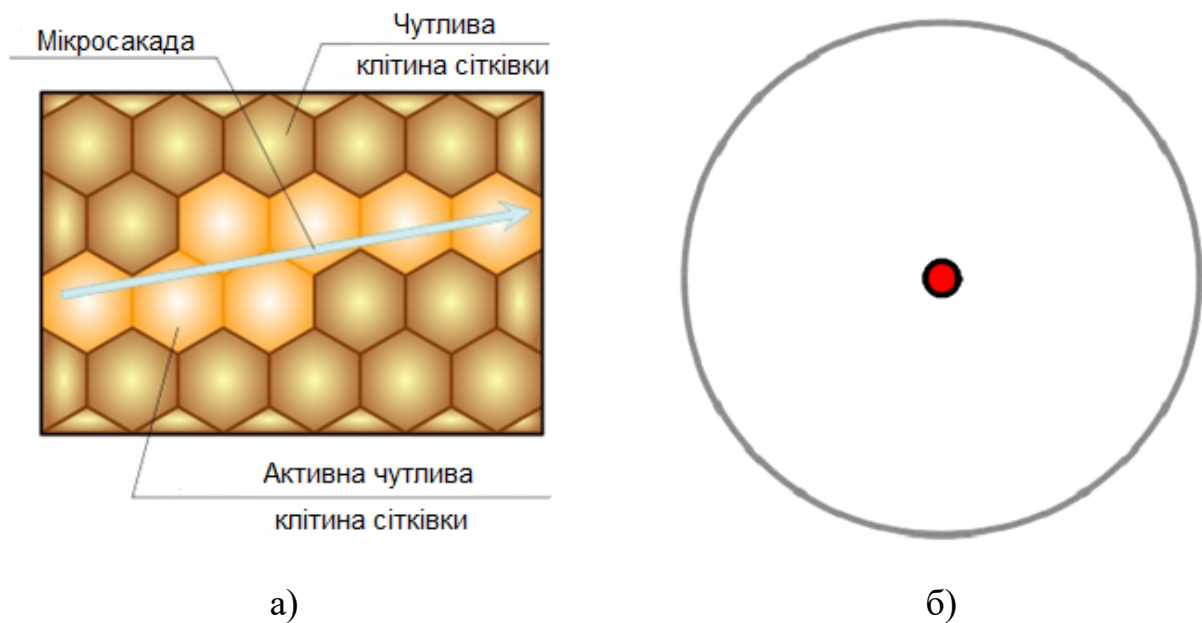
Найважливішим фактором, що визначає еволюцію нервової системи тварин, була необхідність виявляти зміни в навколишньому середовищі, оскільки така здатність забезпечує виживання. Рух в полі зору може сигналізувати про те, що наближається хижак або ж йде видобуток, змушуючи зорові нейрони реагувати електрохімічними імпульсами. Нерухомі об'єкти

зазвичай не несуть в собі ніякої загрози, тому мозок тварин та їх зорова система спочатку не призначені для того, щоб їх помічати.

Наприклад, муха, що сидить нерухомо, невидима для жаби, як і інші статичні об'єкти. Але варто мусі злетіти, як жаба одразу помітить і схопить її. Жаби неспроможні бачити нерухомі об'єкти, оскільки незмінний стимул веде до адаптації нейронів, коли вони поступово перестають реагувати на об'єкт.

Адаптація нейронів зберігає енергію, але одночасно й обмежує сенсорне сприйняття. Нейрони людини також адаптуються за незмінності стимулу. Однак наша зорова система набагато краще справляється зі сприйняттям нерухомих об'єктів, оскільки очі створюють власний рух.

На рисунку 1.12 наведено приклад мікросакади (а) та тест Трокслера (б).



а) – мікросакада; б) – тест Трокслера

Рисунок 1.12 – Мікросакада та тест Трокслера

Мікросакади переміщують всю зорову сцену по сітківці, змушуючи зорові нейрони постійно працювати, і тим самим протидіють адаптації (наведено на рисунку 1.12 а). Таким чином, вони дозволяють бачити нерухомі об'єкти.

Наша зорова система набагато краще справляється зі сприйняттям нерухомих об'єктів, оскільки очі створюють власний рух.

У клітинах колб і паличок є тисячі мембранних дисків, утворених плазматичними складками і на яких прикріплені довгими ланцюжками молекули ретиноїдів. Таким чином, утворюється справжній фрактальний простір для уловлювання світла.

З погляду фізики всі розглянуті молекули схожі між собою. Вони складаються із семи довгих ланцюжків опсину, що оточують невелику, але особливу молекулу -цис-ретиноаль. Коли фотон стикається з такою молекулою, є 50% ймовірність, що вона [молекула] «розгорнеться» і перетвориться на ізомер - транс-ретиноаль. [7].

В таблицю 1.2 зведено інформацію про параметри поглинання деяких ретиноїдів.

Таблиця 1.2 – Інформація про параметри поглинання деяких ретиноїдів

Пігмент	Спектральне поглинання		
	λ_{begin} , нм	λ_{max} , нм	λ_{end} , нм
1	2	3	4
Родопсин 5 (Еритролаб)	595	625	655
Родопсин 7 (Хлоролаб)	500	532	565
Родопсин 9 (Цианолаб)	400	437	475
Родопсин 11 (чутливий до УФ)	300	432	385

1.5 Адаптація зорового сприйняття

Візуальний апарат людини має приголомшливу особливість – інваріантність сприйняття кольору щодо спектрального складу освітлення у повсякденних умовах (тобто сприйняття кольору більшості об'єктів залежить від спектрального складу освітлення).

Це явище називається константністю кольору.

На рисунку 1.13 наведено фотохімічну реакцію просторового сприйняття оком людини.

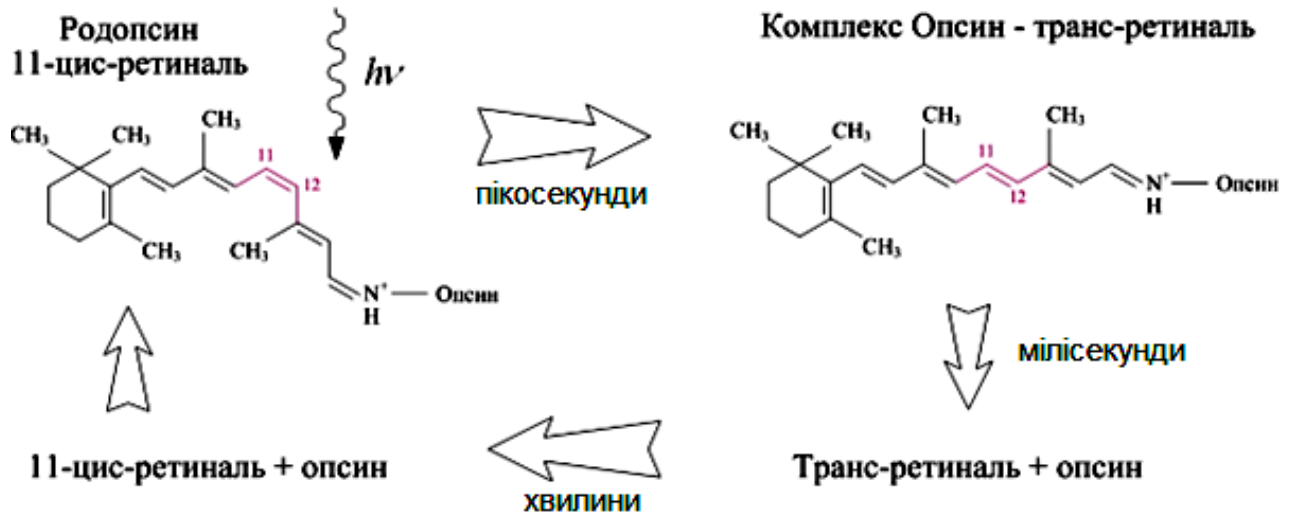


Рисунок 1.13 – Фотохімічна реакцію просторового сприйняття оком людини

Крім того, візуальний апарат людини має властивість константності сприйняття світлоти (оцінки світлоти не залежать від абсолютних рівнів енергії, а засновані на порівняння коефіцієнтів відбиття). Завдяки цій властивості зору людина може оцінити шматок вугілля, як чорний, а шматок крейди – білий за абсолютно різних умов освітленості. Константність сприйняття світлоти зберігається при безпосередньому порівнянні вугілля та крейди, навіть якщо при низьких рівнях освітленості абсолютна кількість світла, відбитого від шматка крейди менше, ніж світла, відбитого від вугілля при високих рівнях освітленості. Ці властивості зору зумовлюють можливість людині бачити світ стабільного кольору та яскравості, а не непостійний фізичний світ, у якому постійно змінюються довжина хвилі та інтенсивність світла, відбитого від об'єктів зорової сцени. Константність добре зберігається при спостереженні предмета з текстурованою поверхнею в складній зоровій сцені, що містить інші об'єкти з відносно високою відбивною здатністю.

Тоді, за умови, що джерело освітлення випромінює достатньо широкому діапазоні, між клітинами кори головного мозку, пов'язаними з різними світлочутливими клітинами сітківки, стають можливими безліч реакцій

порівняння. Таким чином, константність зберігається, навіть якщо освітлення має уривчастий спектр або суміш смуг довжин хвиль. Однак, при монохроматичному освітленні, відносини реакцій, пов'язаних колірним стимулом, стають спотвореними. Зміна колірного сприйняття спричинена порушенням константності.

Подібне відбувається, якщо є помітні зміни спектрального складу випромінювання в зоровій сцені або якщо є локалізовані яскраві вогні (наприклад, промені сонячного світла, проникають крізь листя на затіненій деревами площі, або прожектори для домашнього чи театрального освітлення).

Тоді відношення інтенсивностей відбитого світла різних довжин хвиль буде зберігатися постійним по всій зоровій сцені і буде відбуватися часткове чи повне порушення константності.

Чим менше порівнянь коефіцієнтів відображення довжин хвиль відбувається в полі зору, тим менше можливості для візуального апарату зберегти константність. Аналогічно, константність зазвичай порушується коли ізольовані об'єкти спостерігаються на чорному тлі.

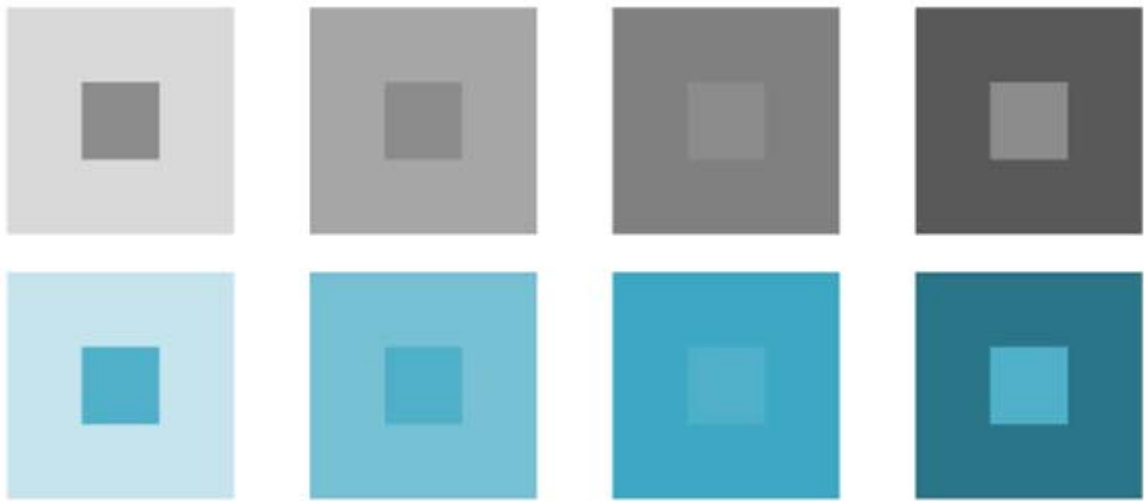
Константність порушується у разі спостереження малих об'єктів, змінималими змінами спектрального коефіцієнта відображення та поверхневої текстури. Більше того, виникає поступове порушення константності, при зменшенні зорового поля до дуже малого кутового розміру, що представляє так зване тунельний зір.

Візуальний апарат має різноманітні механізми для здійснення «оптимального» режиму зору незалежно від зміни умов освітлення або властивостей об'єкта, що спостерігається механізми адаптації. Адаптація може бути локальна або глобальна, часу та/або у просторі, до яскравості та/або кольору.

Глобальна адаптація – це перебудова повністю всього зорового апарату, наприклад, при вході в темну кімнату зі світлого приміщення, або, навпаки, при виході з темного під'їзду на яскраво освітлену сонцем вулицю тощо.

Локальна адаптація зорового апарату являє собою зміни у сприйнятті спостерігається об'єкта або його області.

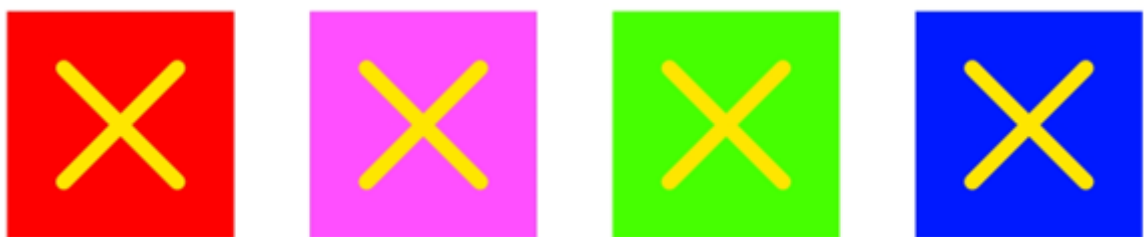
На рисунку 1.14 наведено приклади локальної адаптації до яскравості, кольору, яскравості та кольору.



а)



б)



в)

- а) – локальна просторова адаптація до яскравості;
- б) – локальна просторова адаптація до кольору;
- в) – локальна просторова адаптація одночасно до яскравості та кольору

Рисунок 1.14 – Приклади локальної адаптації

Локальна просторова адаптація до яскравості (наведено на рисунку 1.14 а) – відтінок, що спостерігається, здається темнішим на світлому фоні або світліше на більш темному фоні (при цьому кольоровість відтінку не змінюється).

Локальна просторова адаптація до кольору (наведено на рисунку 1.14 б) – відтінок, що спостерігається, здається, має додаткову кольоровість, протилежну кольору фону (при цьому яскравість відтінку не змінюється).

Локальна просторова адаптація одночасно до яскравості та кольору (наведено на рисунку 1.14 в) – спостерігається відтінок здається таким, що змінив і кольоровість і яскравість.

Необхідно мати на увазі, що механізми адаптації зорового апарата завжди активуються з появою контрасту в яскравості чи кольорі. У цьому контраст може бути одночасним чи послідовним.

Явище одночасного розмаїття пов'язані з протиставленням яскравості або кольору близько розташованих областей простору. Послідовний контраст обумовлений протиставленням колірних та яскравих параметрів об'єкта при його спостереженні протягом деякого часу та в момент, коли він зникає.

Просторова адаптація заснована на одночасному контрасті кольорів. При цьому один і той же колірний відтінок здаватиметься іншим при його спостереженні на фонах, що розрізняються.

Адаптація у часі обумовлена швидкістю реакції світлочутливих клітин сітківки на світловий стимул.

Особливості фізіології сприйняття такі, що колбочки відрізняються швидкою, але обмеженою адаптацією, а палички характеризуються повільнішою, але більш широкою адаптацією [3].

Адаптація у часі призводить до того, що з появою сильного світлового та/або колірною стимулу візуальний апарат сприймає послідовний колірний контраст і, відповідно, людина бачить додаткову яскравішу та/або колірну домінанту після зникнення попередньої домінанти. Слід зазначити, що у колориметрії існує поняття ідеально білої поверхні – поверхні, що розсіює випромінювання будь-яких довжин хвиль видимого спектра однаково в усіх напрямках і поглинання.

На рисунку 1.15 наведено криві адаптації світлочутливих клітин ока.

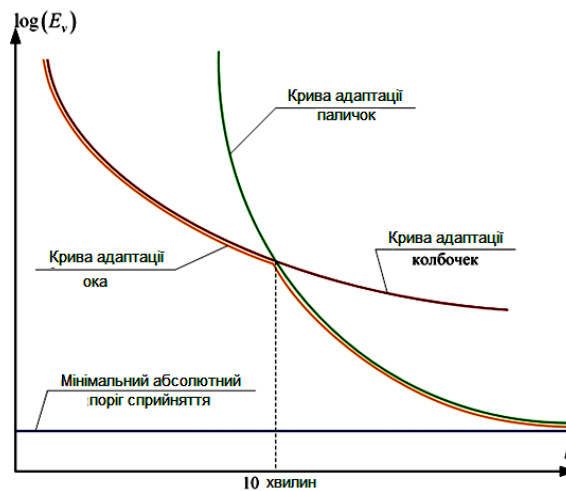


Рисунок 1.15 – Криві адаптації світлочутливих клітин ока

Згідно рисунка 1.15 можна зробити висновок про те, що період адаптації колб триває орієнтовно 10 хвилин. Адаптація ж паличок може тривати до півтори години.

Крім цього, існує поняття ахроматичних (сірих) кольорів. Кольорів, розташованих у колірному просторі на прямій лінії, проходить через початок координат і колір білої поверхні в умовах даного висвітлення [1]. Якщо два кольори при додаванні дають ахроматичний колір, їх називають додатковими.

Кольори монохроматичних випромінювань різної інтенсивності в будь-якій системі реальних основних кольорів, наприклад R, G та B, мають одну або дві негативних координат і розташовуються поза пірамідою, побудованої на основних осях виміру. Це відбувається навіть у системах вимірювання кольору, заснованих на використанні насичених спектральних кольорів як основні. При цьому кольори монохроматичних випромінювань різної інтенсивності утворюють конічну поверхню нескінченної протяжності, званої колірним конусом. За визначенням, колірний конус – частина колірного простору, що становить всю область реальних кольорів, обмежена конічною поверхнею нескінченної протяжності (з вершиною в початку координат), що представляє собою геометричне місце кольорів монохроматичних випромінювань.

2 ЗАСОБИ КОЛОРИМЕТРИЧНОГО КОНТРОЛЮ НА СУЧАСНОМУ ЕТАПІ РОЗВИТКУ ПРОМИСЛОВОСТІ

У 1920-х роках Вільям Девід та міжнародна комісія з освітлення (СІЕ) вирішила виміряти чутливість до тривалості хвилі шкірної з набору колб, розробивши три криві та діаграму кольоровості кольорового простору. Ця подія є початком колориметрії.

Методи виміру та кількісного вираження кольору, разом з різними способами математичного опису кольору становлять предмет колориметрії.

Основою математичного опису кольору в колориметрії є експериментально встановлений факт, що будь-який колір можна представити у вигляді суміші (суми) певних кількостей 3 лінійно незалежних кольорів, тобто таких кольорів, кожен з яких не може бути представлений у вигляді суми будь-яких кількостей 2 інших кольорів [5]. Груп (систем) лінійно незалежних кольорів існує нескінченно багато, але в колориметрії використовуються лише деякі з них. Три вибрані лінійно незалежні кольори називаються основними кольорами; вони визначають колірну координатну систему (ЦКС).

2.1 Аналіз роботи датчика

При вирішенні багатьох кольорових проблем доцільно доповнити опітне око контролера спеціальними засобами та методами кольорових вимірювань.

Оскільки постійно розробляється нова апаратура і вдосконалюється стара, важливо виявити прості методи колірних вимірювань та використовувати для цього прості засоби, важливо знати також, коли окупляться значні витрати на колориметричне обладнання та проведення вимірювань. Прообразом людського ока є первинний оптоелектронний перетворювач чи датчик.

На рисунку 2.1 наведено електричну структурну схему електронного колориметра, який має датчик, що розглядається.

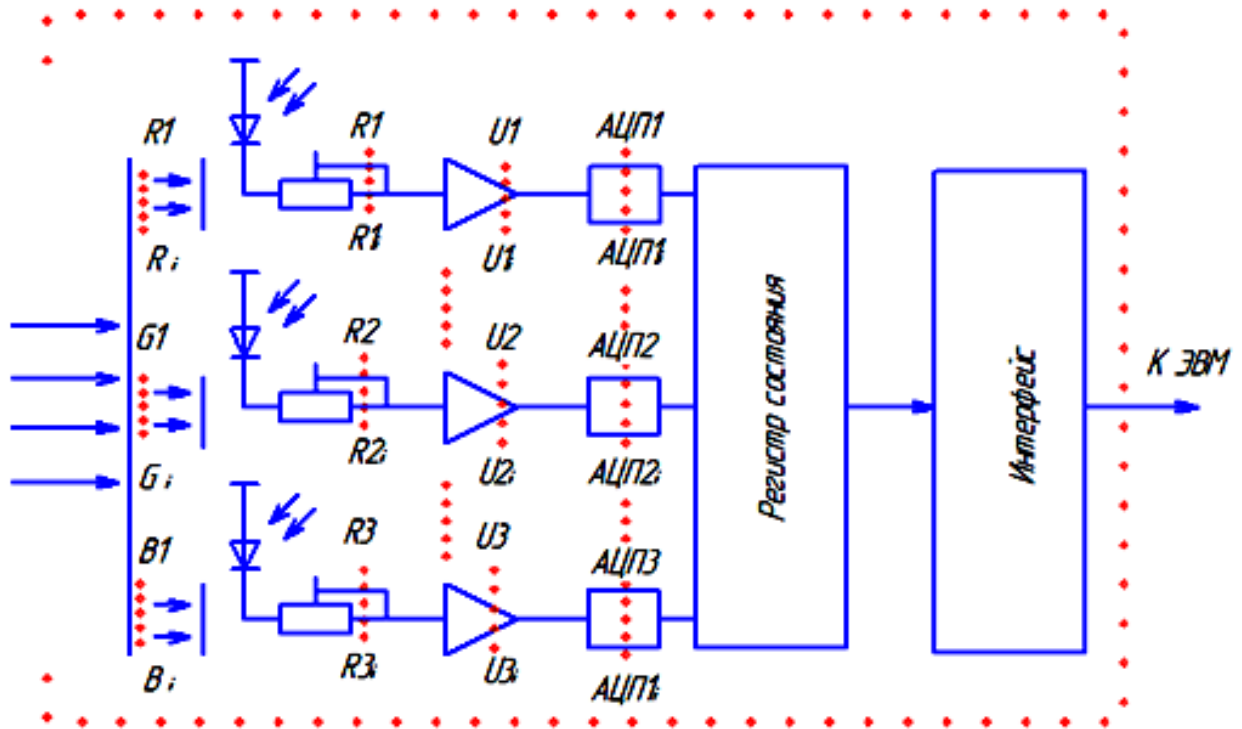


Рисунок 2.1 – Електрична структурна схема електронного колориметра, який має датчик, що розглядається

Розглянемо докладніше роботу датчика.

Датчик працює за рахунок того, що еталонний світловий потік (ЕСП) від джерела еталонного світла, колір та інтенсивність якого виміряні заздалегідь, до початку тесту, проходить через оптичне середовище, проникність якого вимірюється, частина ЕСП потрапляє на три кольорові фільтри R, G, і B (2), які поділяють світловий промінь на три складові – червону, зелену та синю, і через них потрапляє на фотодіоди R, G, B (3), а частина ЕСП напрямку потрапляє на фотодіоди W (3).

Фотодіоди (3) працюють у фотоперетворювальному режимі, тобто в залежності від інтенсивності світла відповідного каналу, змінюють величину струму, що проходить через них. Струм із фотодіодів (3) по чотирьох каналах передається на чотири нормувальні підсилювачі постійного струму (4), призначені для нормалізації вхідного сигналу від фотодіодів до рівня, достатнього для роботи чотирьох АЦП (5). Аналоговий сигнал, перетворений за

допомогою АЦП (5) на цифровий, передається на послідовний регістр даних (6), а з нього на мікросхему інтерфейсу RS-485 (7). Далі сигнал каналом RS-485 (8) передається на ЕОМ. В ЕОМ відбувається перетворення вхідного сигналу від фотодіодів R, G, B в систему XYZ, яка стандартизована міжнародною комісією з висвітлення CIE, за формулами

$$X = k_{XR}R + k_{XG}G + k_{XB}B, \quad (2.1)$$

$$Y = k_{YR}R + k_{YG}G + k_{YB}B, \quad (2.2)$$

$$Z = k_{ZR}R + k_{ZG}G + k_{ZB}B, \quad (2.3)$$

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

k_{XR} , k_{XG} , k_{XB} – коефіцієнти для підрахунку величини X;

k_{YR} , k_{YG} , k_{YB} – коефіцієнти для підрахунку величини Y;

k_{ZR} , k_{ZG} , k_{ZB} – коефіцієнти для підрахунку величини Z.

Після чого значення, отримані в результаті розрахунків, перераховуються в координати кольору x і y для діаграми кольору CIExy за формулами

$$x = \frac{X}{X + E + Z}, \quad (2.4)$$

$$y = \frac{Y}{X + E + Z}. \quad (2.5)$$

Отримані координати x і y визначають розташування кольору на площині діаграми кольору CIExy, що дозволяє однозначно ідентифікувати колір світлового променя, що пройшов через оптичне середовище, який досліджується.

У разі, якщо отримані результати будуть відповідати результатам, отриманим при вимірюванні ЕСП перед проходженням тесту, можна зробити висновок, що оптичне середовище не спотворює світловий потік і не вносить в

нього будь-якого забарвлення. Якщо ж результат буде відрізнятися від еталонного, то можна буде зробити висновок про те, що оптичне середовище змінює світловий потік за рахунок внесення в нього забарвлення, а ступінь та колір забарвлення можна визначити, виходячи з отриманих результатів.

Принцип роботи датчика кольору, схему якого наведено на рисунку 2.1, полягає в тому, що на вхід фотоприймачів Φ_1 , Φ_2 , Φ_n подається випромінювання $b(\lambda)$.

Електричні сигнали з цих фотоприймачів надходять через підстроювальні резистори R_1 , R_2 , R_3 на підсилювачі $У_1$, $У_2$, $У_3$, після яких – на АЦП, а далі, через регістр даних та інтерфейс – на ЕОМ причому на вхід кожного з каналів сигнал може бути поданий з різним коефіцієнтом передачі, що визначається з виразу

$$u_{\text{вих}j} = a_{ji} \cdot u_i = \frac{R_{0i}}{R_{ji}} \cdot u_i, \quad (2.6)$$

де u_i – сигнал на виході i -го фотоприймача ($i = 1, \dots, n$);

$u_{\text{вих}j}$ – сигнал на виході j -го підсилювача ($j = 1, 2, 3$);

R_{ji} – опір i -го резистора на вході j -го підсилювача;

R_{0i} – опір резистора зворотного зв'язку u -го підсилювача.

Електричний струм, що виникає в ланцюзі кожного фотодіода під дією випромінювання $b(\lambda)$, може бути визначений виразом

$$I_i = k \cdot \int_{\lambda_{i1}}^{\lambda_{i2}} b(\lambda) \cdot f_i(\lambda) d\lambda, \quad (2.7)$$

де $f_i(\lambda)$ – результуюча спектральна характеристика i -го фотоприймача та світлофільтра;

$\lambda_{i1}, \lambda_{i2}$ – довжини хвиль випромінювань, що відповідають початку та кінцю діапазону пропускання i -го світлофільтра;

k – коефіцієнт пропорційності.

Тоді напруга на виході кожного фотоприймача буде становити

$$u_i = I_i \cdot R_{Hi} = k \cdot \int_{\lambda_{i1}}^{\lambda_{i2}} b(\lambda) \cdot f_i(\lambda) d\lambda, \quad (2.8)$$

де R_{Hi} – опір навантаження в ланцюзі i -го фотоприймача.

Оскільки на вхід вирішального підсилювача подаються одночасно сигнали з усіх фотоприймачів, його вихідна напруга визначатиметься згідно з формулою

$$u_{\text{вих}} = \sum_{i=1}^n a_{ji} \cdot u_i = \sum_{i=1}^n k \cdot R_{Hi} \cdot \int_{\lambda_{i1}}^{\lambda_{i2}} b(\lambda) \cdot f_i(\lambda) d\lambda = k \cdot R_{Hi} \cdot \int_{\lambda_{i1}}^{\lambda_{i2}} b(\lambda) \cdot \left(\sum_{i=1}^n a_{ji} \cdot f_i(\lambda) \right) d\lambda. \quad (2.9)$$

Згідно виразу (2.9) спектральна характеристика кожного із трьох каналів проходження сигналів визначається із співвідношення

$$J_i(\lambda) = \sum_{i=1}^n a_{ji} \cdot f_i(\lambda). \quad (2.10)$$

Таким чином маємо: на відрізку $[\lambda_1, \lambda_2]$ задана система функцій $\{f_i(\lambda)\}_{i=1}^n$.

Необхідно знайти такі значення коефіцієнтів a_{ji} ($i=1 \dots n$), що визначають установки резисторів, щоб відмінності між $e_i(\lambda)$ – кривими складання спектральної чутливості людського ока та $J_i(\lambda)$, при $j=1,2,3 \dots$ були мінімальними.

Якщо розглядати ці функції як елементи гільбертового простору $L_z[\lambda_1, \lambda_2]$ то як міру відхилення полінома від заданої функції $e_i(\lambda)$, у значенні метрики цього простору, необхідно брати середньоквадратичне відхилення

$$\delta = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} (J_i(\lambda) - e_i(\lambda))^2 d\lambda \quad (2.11)$$

Для визначення середньоквадратичного відхилення розглянемо лінійну комбінацію $\sum_{i=1}^n a_{ji} \cdot f_i(\lambda)$, для якої

$$\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \left(e_i(\lambda) - \sum_{i=1}^n a_{ji} f_i(\lambda) \right) f_m(\lambda) d\lambda = 0, m = 1, \dots, n \quad (2.12)$$

Її існування випливає з того, що існуючі коефіцієнти a_{ji} однозначно розраховуються із системи лінійних рівнянь,

$$\sum_{i=1}^n a_{ji} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} f_i(\lambda) f_m(\lambda) d\lambda = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} e_i(\lambda) f_m(\lambda) d\lambda \quad (2.13)$$

Матриця вказанної системи лінійних рівнянь – є матрицею Граму для набору $\{f_i(\lambda)\}_{i=1}^n$ – лінійно незалежних функцій.

Отже її визначник не дорівнює нулю. Можна показати, що вираз (2.8) досягає свого мінімуму на цій лінійній комбінації. І тому слід взяти якусь іншу лінійну комбінацію $\sum_{i=1}^n a_{ji} \cdot f_i(\lambda)$.

Для неї вираз (2.8) з урахуванням (2.9) становить

$$\begin{aligned} & \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \left(e_j(\lambda) - \sum_{i=1}^n a_{ji} f_i(\lambda) \right)^2 d\lambda = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \left(e_j(\lambda) - \sum_{i=1}^n a_{ji} f_i(\lambda) + \sum_{i=1}^n (a_{ji} - a'_{ji}) f_i(\lambda) \right)^2 d\lambda = \\ & = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \left(e_j(\lambda) - \sum_{i=1}^n a_{ji} f_i(\lambda) \right)^2 d\lambda + \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \left(\sum_{i=1}^n (a_{ji} - a'_{ji}) f_i(\lambda) \right)^2 d\lambda \geq \\ & \geq \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \left(e_j(\lambda) - \sum_{i=1}^n a_{ji} f_i(\lambda) \right)^2 d\lambda. \end{aligned} \quad (2.14)$$

З отриманої нерівності випливає наше твердження.

Апроксимуємо інтеграли системи (2.10) на довільній множині точок

$$(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p) \in [\lambda_1, \lambda_2].$$

В результаті отримуємо вираз

$$\begin{aligned} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} f_i(\lambda) \cdot f_m(\lambda) d\lambda &= \sum_{k=1}^p f_i(\lambda_k) \cdot f_m(\lambda_k) \cdot \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \left(e_j(\lambda) - \sum_{i=1}^n a_{ji} f_i(\lambda) \right)^2 d\lambda = \\ &= \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \left(e_j(\lambda) - \sum_{i=1}^n a_{ji} f_i(\lambda) + \sum_{i=1}^n (a_{ji} - a'_{ji}) f_i(\lambda) \right)^2 d\lambda = \\ &= \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \left(e_j(\lambda) - \sum_{i=1}^n a_{ji} f_i(\lambda) \right)^2 d\lambda + \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \left(\sum_{i=1}^n (a_{ji} - a'_{ji}) f_i(\lambda) \right)^2 d\lambda \geq \\ &\geq \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \left(e_j(\lambda) - \sum_{i=1}^n a_{ji} f_i(\lambda) \right)^2 d\lambda. \end{aligned} \tag{2.15}$$

Для обчислення ступеня проникності оптичного середовища, тобто ступеня зменшення інтенсивності світлового потоку через оптичне середовище, використовується сигнал від фотодіодів W (3). Фотодіоди W (3) працюють у фотоперетворювальному режимі, тобто в залежності від інтенсивності світлового потоку, що пройшов через оптичне середовище, змінюють величину струму, що проходить через них. Порівнявши цю величину з величиною, яка була отримана при вимірі ЕСП перед проходженням тесту, можна однозначно визначити рівень проникності оптичного середовища.

Однак у разі значного забарвлення світлового потоку після проходження ним оптичного середовища даний варіант вимірювання може мати істотну похибку. Для виключення цієї помилки, у разі вимірювання забарвленого світлового потоку, розрахунок його інтенсивності буде проводитись за емпіричною формулою

$$Y = 0.2125R + 0.7154G + 0.0721B, \quad (2.16)$$

де 0.2125 - емпіричний коефіцієнт для червоного кольору (R);
0.7154 - емпіричний коефіцієнт зеленого кольору (G);
0.0721 – емпіричний коефіцієнт для блакитного кольору (B).

Порівнявши цю величину з величиною, яка була отримана при вимірі ЕСП перед проходженням тесту, можна однозначно визначити ступінь проникності оптичного середовища у разі фарбування світлового потоку.

Таким чином, досягнуто розширення функціональних можливостей датчика за рахунок додавання функції вимірювання ступеня проникності оптичних середовищ (матеріалів) світлом.

До недоліків даного пристрою відносяться: неможливість вимірювання проникності оптичних середовищ світловим потоком змінної яскравості; неможливість обробки даних безпосередньо пристроєм, без використання ЕОМ; низька швидкодія за рахунок послідовної передачі даних кожного з каналів виміру.

В основу запропонованого методу поставлено завдання з метою розширення функціональних можливостей пристрою за рахунок додавання функції вимірювання ступеня проникності оптичних середовищ (будь-яких матеріалів, що пропускають світло) світловим потоком змінної яскравості додавання функції обробки даних безпосередньо пристроєм; підвищення швидкодії за рахунок використання 4-канального АЦП, мікроконтролера та інтерфейсу USB.

2.2 Розв'язання задачі

Поставлене завдання вирішується тим, що цифровий датчик вимірювання проникності оптичних середовищ (наведено на рисунку 2.1) містить джерело еталонного освітлення, що складається з світлодіодів білого світіння з температурою світла 5600К, три світлофільтри (червоний, зелений, синій),

чотири світлочутливі елементи і чотири нормувальні підсилювачі, світловий потік, прохід від світлодіодів еталонного освітлення через оптичне середовище та світлофільтри, потрапляє на світлочутливі елементи, які з'єднані з входами підсилювачів, що нормуються, крім того світлодіоди, фотодіоди та об'єкт дослідження знаходяться в паралельних один одному площинах. Додатково введені 4-канальний АЦП, своїми входами з'єднаний з входами чотирьох підсилювачів, що нормуються, а виходами – з мікроконтролером, який виходами з'єднаний з блоком регулювання напруги, який регулює яскравість світіння світлодіодів, і мікросхемою інтерфейсу USB, вихід інтерфейсу об'єднаний з ЕОМ.

Фільтри RGB не повинні перекривати світловий потік, що падає на фотодіоди W. Для запобігання неточності в роботі датчика рекомендується використовувати світлодіоди HL1-HL4 білого кольору з температурою 5600K. Для роботи датчика потрібне джерело живлення із напругою + 5 В.

Розглянемо докладніше роботу датчика. Датчик працює за рахунок того, що еталонний світловий потік (ЕСП) від джерела еталонного світла, колір та інтенсивність якого виміряні заздалегідь, до початку тесту, проходить через оптичне середовище, проникність якого вимірюється, частина ЕСП потрапляє на три кольорові фільтри R, G і B (2), які поділяють світловий промінь на три складові – червону, зелену та синю, і через них потрапляє на фотодіоди R, G, B (3), а частина ЕСП напрямку потрапляє на фотодіоди W (3). Фотодіоди (3) працюють у фотоперетворювальному режимі, тобто в залежності від інтенсивності світла відповідного каналу, змінюють величину струму, який проходить через них. Струм із фотодіодів (3) по чотирьох каналах передається на чотири нормувальні підсилювачі постійного струму (4), призначені для нормалізації вхідного сигналу від фотодіодів до рівня, достатнього для роботи 4-канального АЦП (5), після чого сигнал передається на АЦП (5). Аналоговий сигнал, перетворений за допомогою АЦП (5) на цифровий, передається по чотирьох каналах одночасно на мікроконтролер (6), де за допомогою програмного забезпечення, встановленого на ньому, обробляється. Отримані дані передаються на мікросхему інтерфейсу USB (7) і далі каналом передачі

даних (8) на ЕОМ. При необхідності проведення вимірювань ступеня проникності оптичних середовищ світловим потоком змінної яскравості мікроконтролер подає відповідну команду на блок регулювання напруги (9).

Прилади для вимірювання кольору використовуються вже не одне десятиліття. Прогрес у колориметрії залежить від розробки та виробництва нових апаратів та методів вимірювання кольору з широкими операційними можливостями [8].

Існує кілька типів колориметрів, робота яких ґрунтується на різних фізичних принципах. Однак більшість з них є застарілими і вже не застосовуються, зважаючи на малу точність [9], [10].

Сучасні пристрої працюють за двома принципами:

- візуальному;
- фотоелектричного.

2.3 Візуальні колориметри

Візуальні колориметри – це найбільш прості прилади, що поступаються фотоелектричним в точності. Принцип їх роботи заснований на порівнянні двох кольорів, на які спочатку направляється світловий потік однакової яскравості. Оператором проводиться регулювання приладу таким чином, щоб поле кольору досліджуваного зразка стало на його думку аналогічним зразку. Після цього до уваги беруться зроблені поправки, які дозволили візуально на апараті зрівняти відтінки, і по ним робляться висновки про характеристики досліджуваного кольору.

У візуальних колориметрах колір вимірюється вирівнюванням кольору двох половин поля зору, на одній з яких спостерігається вимірюваний колір, а на іншій – колір суміші трьох основних кольорів приладу, наприклад, червоного (Ч), зеленого (З), синього (С). Регулюючи кількості основних кольорів, можна домогтися зорової тотожності кольору суміші з вимірюваним кольором. Зрівняні кольори є метамерними, тобто спектрально не обов'язково тотожними. Визначення кольору проводиться по вимірюванню колірних

координат суміші, які представляють собою кількості основних кольорів колориметра, що віднесені до одиничних кількостей цих кольорів по трьом шкалах приладу. Ці дані, пропорційні площам світлофільтрів, дають координати вимірюваного кольору в системі колориметра і дозволяють записати його у вигляді рівняння

$$K = c' \cdot Ч + z' \cdot З + c' \cdot С . \quad (2.17)$$

Колір виражається в системі основних кольорів колориметра і для вираження його в міжнародній системі необхідний перерахунок. Цим методом також важко вимірювати безпосередньо колір предметів, він зручний лише для вимірювання кольору зразків $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ [8].

Візуальні колориметри при порівняльній простоті все ж не можна назвати абсолютно неточними пристроями. Рівень похибки порівняння кольорів залежить від особливостей зору оператора. Справа в тому, що різні люди бачать одні й ті ж відтінки по-різному. Крім цього людським очам однаковими можуть здаватися кольори, які відрізняються на декілька тонів. Жінки мають більш високу чутливість органів зору до відтінків, тому аналіз на візуальному колориметрі зроблений ними виявляється більш відповідним дійсності, ніж оцінка чоловіком. Крім цього доведено, що з віком сприйняття кольорів знижується [9], [10].

Всі ці фактори не дозволяють вважати візуальний колориметр приладом лабораторної точності, на свідчення якого можна покластися. Однак пристрої цього типу цілком можна застосувати в сферах, де висока точність не потрібна. Такі апарати зараз представлені старими стаціонарними приладами, які ще зустрічаються на виробничих об'єктах [9].

Оскільки прилади цього класу представлені старим обладнанням, яке ще використовується, але вже не випускається промисловістю, то їх детальний розгляд недоцільний.

2.4 Фотоелектричні колориметри

Для фотометричних вимірювань використовують дві великі групи приладів: фотоколориметри і спектрофотометри. У колориметрах потрібні спектральні діапазони виділяються за допомогою світлофільтрів, що обмежують ділянки спектра, в яких можуть проводитись вимірювання. У спектрофотометрах ділянки спектра виділяються за допомогою призм або дифракційних решіток, що дозволяє встановлювати будь-яку довжину хвилі в заданому діапазоні [8; 61–63].

Конкретна послідовність операцій при вимірюванні оптичної щільності або пропускання залежить від конструкції спектрофотометра або колориметра. Однак основні принципи залишаються незмінними. Спочатку встановлюють необхідну довжину хвилі, вибираючи світлофільтр на колориметрі або обертаючи відповідну рукоятку на спектрофотометрі. Потім встановлюють нуль. Для цього в світловий потік поміщають кювету зі стандартним розчином. Змінюючи ширину щілини, домагаються того, щоб показання приладу відповідали величині, передбачуваній інструкцією. На наступному етапі стандартний розчин замінюють досліджуваним і роблять відлік величини оптичної щільності або пропускання [8].

Фотоелектричні колориметри працюють з високою точністю, при цьому вони абсолютно не залежать від об'єктивного сприйняття людини. Пристрій оснащується лампою, яка висвітлює об'єкт. При цьому колір аналізується фотоелементами. Для підвищення точності приладу, зокрема при роботі зі специфічними речовинами, використовуються спеціальні фотофільтри. Вони дозволяють відсівати непотрібні колірні спектри, і аналізувати тільки ті, які цікавлять [9].

Фотоелектричні колориметри дозволяють вимірювати як колір випромінювання, що випускається джерелом, так і колір випромінювання, відбитого або пропущеного предметом. Суть методу полягає у вимірюванні спектрального розподілу енергії випромінювання $\varphi(\lambda)$ і подальшому обчисленні колірних координат X , Y , Z шляхом перемноження знайденої функції $\varphi(\lambda)$

відповідно на три стандартизовані функції складання основних кольорів і інтегрування добутку [8].

При вимірюванні кольору випромінювання, відбитого (або пропущеного) предметом, враховується ще функція спектрального відображення (або пропускання) $\rho(\lambda)$.

В цьому випадку вимірювані координати кольору визначаються наступними виразами [8]:

$$X = \int_{380}^{760} \varphi(\lambda) \cdot \rho(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda) d\lambda; \quad (2.18)$$

$$Y = \int_{380}^{760} \varphi(\lambda) \cdot \rho(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) d\lambda; \quad (2.19)$$

$$Z = \int_{380}^{760} \varphi(\lambda) \cdot \rho(\lambda) \cdot \bar{z}(\lambda) d\lambda. \quad (2.20)$$

Аналіз вимірюваного випромінювання і обчислення координат кольору в фотоелектричному колориметрі виконуються автоматично за допомогою трьох селективних фотоприймачів, функції спектральної чутливості яких за допомогою коригуючих світлофільтрів підбираються співпадаючими з функціями складання основних кольорів. Кожен з фотоприймачів перетворює випромінювання своєї спектральної області в електричний струм, виконуючи при цьому дію перемноження спектральних функцій і інтегрування добутків. У результаті цього забезпечується пропорційність вихідних електричних сигналів координатам вимірюваного кольору X , Y , Z . Прилад оцінює результуюче випромінювання від предмета, враховуючи як його виборче відображення (або пропускання), так і освітленість предмета. Один з каналів приладу, спектральна чутливість якого збігається з функцією $\bar{y}(\lambda)$, може служити яскравоміром.

У фотоелектричному колориметрі зазвичай є електронно-обчислювальні пристрої, що дозволяють перераховувати координати кольоровості із системи XYZ в координати інших колориметричних систем,

наприклад, L^* , a^* , b^* (МКО, 1976), і виконувати порівняння вимірюваного кольору з кольором еталону або іншого зразка, представляючи результати у вигляді колірних відмінностей ΔE або $\Delta(L^*, a^*, b^*)$ і т. п. Прилади, що виконують операцію порівняння близьких один до одного кольорів, називаються компараторами кольору [19].

Фотоелектричні колориметри дозволяють визначати колір і при імпульсному освітленні, виконувати поелементний колірний аналіз зразків і проводити автоматичне розпізнавання кольору складних об'єктів. Точність вимірювання кольоровості (x , y) досягає до 0,001, а точність визначення колірних відмінностей ΔE близько 0,5. Найбільш точні вимірювання кольору здійснюються спектроколориметрами, в яких випромінювання, що вимірюється, розкладається за допомогою дисперсійних призм або дифракційних решіток у спектр, що «зчитується» фотоелектричним приймачем. Сигнали приймача безперервно (або через рівні малі інтервали довжин хвиль) множаться на функції складання $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ і інтегруються в межах довжин хвиль видимого спектру. Результати інтегрування є координати вимірюваного випромінювання.

Колориметр може застосовуватися для аналізу абсолютно будь-яких речовин, однак він повинен бути для цього розрахований.

По об'єкту аналізу прилади бувають:

- для твердих поверхонь;
- для рідин;
- універсальні.

Колориметри для твердих поверхонь використовуються для аналізу кольору твердих предметів. Вони впритул прикладаються до об'єкта своєї чутливою частиною, тому поверхня, що аналізується повинна мати як мінімум розмір ділянки освітленості приладу.

Сучасні пристрої оснащуються світлодіодами або ксеноновими лампами. Останні висвітлюють зразок дуже яскраво, що позитивно впливає на точність. Однак таке джерело світла має в рази менший ресурс, ніж світлодіоди. Також важливим параметром є діаметр вимірюваної площі зразка. У самих

компактних портативних пристроїв цей показник може скласти 8 мм. При аналізі однорідної поверхні цього цілком достатньо. Але якщо доводиться працювати з рельєфними предметами з дрібними вибоїнами, наприклад, штукатуркою, то потрібно захопити якомога більше поверхні для її більш точного аналізу [9], [10].

Однією з найважливіших функцій сучасних фотоелектричних колориметрів є можливість відображення результатів вимірів.

На рисунку 2.2 наведено приклади фотоелектричних колориметрів за способом відображення результатів вимірів.



- а) – відображення інформації на сенсорному екрані;
- б) – відображення інформації на несенсорному екрані

Рисунок 2.2 – Приклади фотоелектричних колориметрів за способом відображення результатів вимірів

Вони можуть відображатися в різному вигляді:

- колориметричні значення (наведено на рисунку 2.2, а) [9];
- кольорові відмінності (наведено на рисунку 2.2, б) [9];

– підтвердження або спростування сумісності.

Колориметри застосовуються в різних сферах для контролю кольору (а звідси і якості) різних матеріалів і продуктів, для контролю кольору джерел світла, світлофільтрів, телевізійних і кіно-зображень, поліграфічної і текстильної продукції тощо.

У хімії для вимірювання концентрації речовин в розчинах застосовуються колориметри, що використовують властивість забарвлених розчинів поглинати світло, що проходить через них тим сильніше, чим вище концентрація фарбувальної речовини. Усі вимірювання концентрації проводяться у монохроматичному світлі тієї ділянки спектру, яка найбільш сильно поглинається даною речовиною і слабо – компонентами розчину. У колориметрах, що застосовуються для такого роду досліджень, використовуються набори вузько-смугових (монохроматичних) світлофільтрів [8], [11] – [13].

Можливості електронного колориметра значно перевершують аналогічні параметри інших приладів для вимірювання кольору [8].

Таким чином, подальше вивчення механізмів роботи фотоелектричного колориметра, особливостей його застосування, є актуальним і становить значний інтерес, як для розробників цього типу пристроїв, так і для споживачів.

Разом з тим не можна не визнати, що розробка методів і засобів вимірювання кольору знаходиться поки що в стадії становлення. Не викликає сумнівів необхідність розширення кола завдань і ситуацій використання електронного колориметра, удосконалення його конструкції як з точки зору практичних потреб, так і з метою накопичення теоретичного досвіду [8].

3 ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1 Вимоги до приміщення

Згідно ДСН 3.3.6-042-99 робота в лабораторії з ПК по категорії робіт відноситься до легких (категорія І а – легкі фізичні роботи з енерговитратами до 139 Вт або 120 ккал/ч). Робота ведеться сидячи, не вимагає систематичного фізичного напруження і переміщення важких предметів.

У робочій зоні приміщення згідно з ДСН 3.3.6.042-99 повинні бути встановлені оптимальні значення параметрів мікроклімату. Для категорії робіт І а в приміщенні повинні підтримуватися наступні параметри мікроклімату:

- температура повітря 22-24° С в теплий період і 23-25° С в холодний період;
- відносна вологість повинна бути в межах 40-60%;
- швидкість руху повітря не повинна перевищувати 0,1 м/с.

Для підтримки потрібної температури повітря в лабораторії рекомендується встановити кондиціонер.

Згідно ДБН В.2.5-28-2006 в лабораторії застосовується суміщений тип освітлення, рекомендована освітленість від загального рівномірного штучного освітлення при роботі з монітором становить 300-500 лк при використанні газорозрядних ламп білого кольору. Коефіцієнт природного освітлення – 1,5%. Рівень загального штучного освітлення приміщення можна перевірити за допомогою методу питомої потужності по формулі:

$$W = \frac{W_{\Sigma}}{S}, \quad (3.1)$$

де W – питома потужність, Вт/ м²;

S – площа приміщення, м²;

W_{Σ} – загальна потужність освітлювальної установки Вт, яка розраховується за формулою:

$$W_{\Sigma} = W_{cv} \cdot n_{cv}, \quad (3.2)$$

де W_{cv} – потужність одного світильника, $W_{cv} = 80$ Вт;

n_{cv} – кількість світильників в приміщенні, $n_{cv} = 6$ світильників.

$$W_{\Sigma} = 80 \cdot 6 = 480 \text{ Вт},$$

$$W = \frac{480}{24} = 20 \text{ Вт/м}^2.$$

Взаємозв'язок питомої потужності (W) і освітленості (E) для приміщення площею 24 м^2 наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Взаємний зв'язок питомої потужності і освітленості

Площа приміщення S, м ²	Споживана потужність при освітленості E, лк						
	200	300	400	450	500	550	600
17 – 25	12,2	16,3	24	32	49	65	81

Згідно таблиці 3.3 питомій потужності 20 Вт/м^2 відповідає освітленість 350 лк , що задовольняє вимогам ДБН В.2.5.-28-2006. Обрана кількість світильників (6 штук) задовольняє вимоги освітленості приміщення площею 24 м^2 .

Згідно ДСН 3.36.037-99 необхідно забезпечити рівень шуму в лабораторії не більше 50 дБ (А) . Забезпечення необхідного рівня шуму досягається використанням звукопоглинальних матеріалів [15].

3.2 Забезпечення виробничої санітарії за умов виробництва

Технічний та організаційний рівень робочих місць відповідає умовам, що описані в ГОСТ 12.2.032–78 ССБП. «Робоче місце під час виконання робіт сидячи. Загальні ергономічні вимоги (2.2.032–78)». Робочі місця відносно світлових отворів розташовуються так, що природне світло падає з лівого боку, розташовані на відстані 1 м від стін зі світловими отворами.

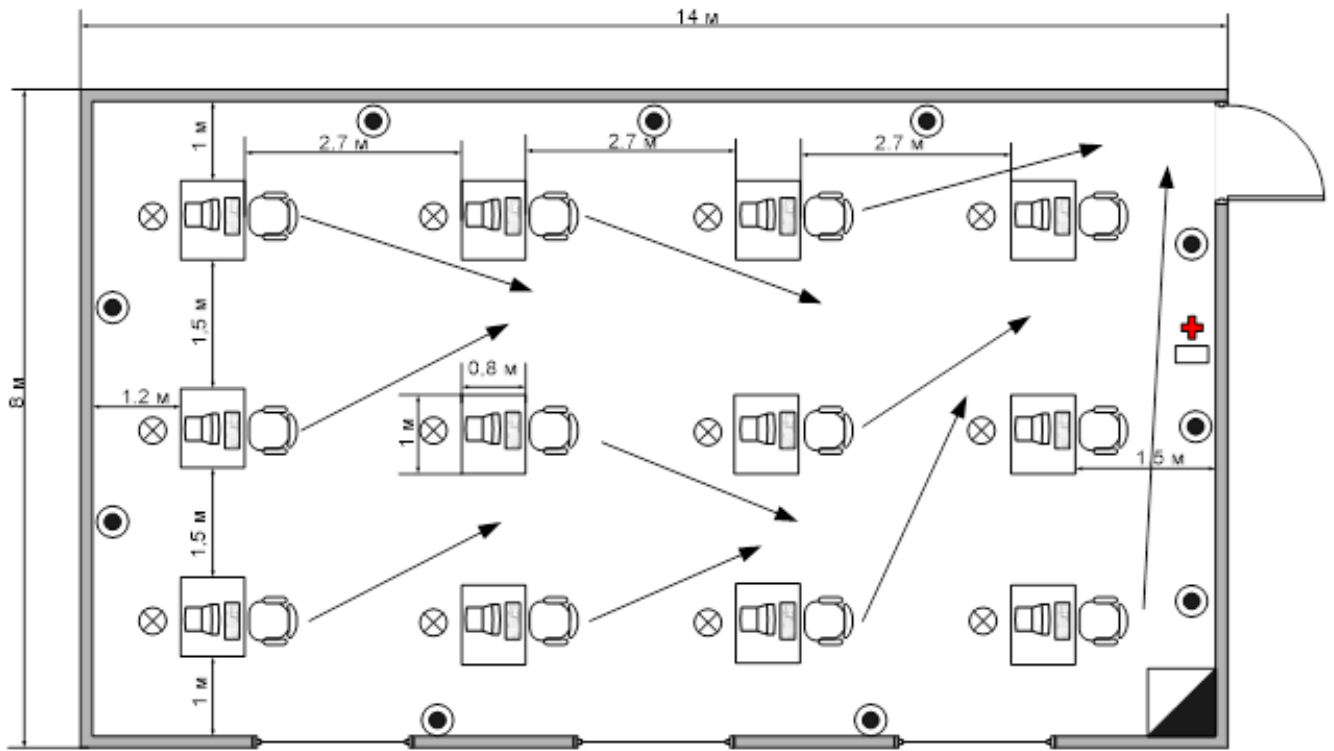
Конструкція робочого місця повинна забезпечувати підтримку оптимальної робочої пози з такими ергономічними характеристиками:

- стопи ніг – на підлозі або на підставці для ніг;
- стегна – у горизонтальній площині;
- передпліччя – вертикально;
- лікті – під кутом $70^{\circ}\text{C} - 90^{\circ}\text{C}$ до вертикальної площини;
- зап'ястя – зігнуті під кутом трохи більше 20°C відносно горизонтальної площини;
- нахил голови – $15^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}$ відносно вертикальної площини.

Робочі місця розташовані у два ряди. Апарати для паяння знаходяться на дерев'яних столах. Висота робочої поверхні столу становить 725 мм, ширина – 800 мм, глибина – 1000 мм. Робочий стіл має простір для ніг заввишки щонайменше 600 мм, шириною 500 мм, глибиною на рівні колін 450 мм, глибиною на рівні витягнутої ноги 650 мм. Робочий стіл обладнаний підставкою для ніг шириною 300 мм, глибиною 400 мм з можливістю регулювання по висоті в межах 150 мм та кута нахилу опорної поверхні – в межах 20°C , що має рифлену поверхню та борт на передньому краї, висота якого становить 10 мм [15].

Робоче сидіння – підйомно-поворотне та регулюється: по висоті, куту нахилу сидіння та спинки, по відстані спинки до переднього краю сидіння, висоті підлокітників [16].

На рисунку 3.1 наведено план розміщення робочих місць.



Умовні позначення: ● – вогнегасник; ⊗ – датчик диму;

⊕ – аптечка; ▴ – ящик з піском

Рисунок 3.1 – План розміщення робочих місць

У лабораторії метеорологічні параметри підтримуються відповідно до ДСН 3.3.6.042–99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» та становлять:

– у холодний період: температура повітря в межах 22 °С – 24 °С, відносна вологість 40 % – 60 % та швидкість руху повітря близько 0,1 м / с;

– у теплий період: температура повітря в межах 23 °С – 25 °С, відносна вологість 40 % – 60 % і швидкість руху повітря близько 0,1 м / с.

Підтримка значень метеорологічних параметрів на оптимальних значеннях забезпечується за рахунок радіаторів центрального опалення в холодний період та припливно-витяжної вентиляції у теплий період [17].

Рівень шуму в приміщенні лабораторії становить близько 50 дБ, що не виходить за межі допустимого значення згідно ДСН 3.3.6.037–99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку».

Приміщення мають природне та штучне освітлення, рівень якого відповідає ДБН В.2.5–28:2018 «Природне і штучне освітлення».

Природне висвітлення забезпечує коефіцієнт природного висвітлення не нижче 1,5 %, штучне висвітлення має бути оснащено системою загального рівномірного висвітлення та давати освітленість на робочому місці 300 лк. Природне освітлення до лабораторії проникає через віконний отвір. Штучне освітлення реалізується за допомогою світильників із люмінесцентними лампами типу ЛБ.

Відповідно до ДСанПІН 3.3.2–007–98 «Державні санітарні правила і норми. Гігієнічні вимоги до організації роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» встановлюються такі внутрішньозмінні режими праці та відпочинку при роботі з ЕОМ: при 8 – годинній денній робочій зміні, залежно від характеру, слід призначати регламентовані перерви для відпочинку тривалістю 15 хвилин через кожен годину роботи.

3.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях у приміщенні наукової лабораторії

В університеті за безпеку при НС відповідає штаб цивільної оборони, йому підпорядковуються територіальні штаби цивільної оборони, спеціальні підрозділи міністерств та інших центральних органів державної виконавчої влади, залучені до виконання завдань захисту населення та надання допомоги у НС, та на штатних працівників організації.

На рисунку 3.2 наведено структурну схему штабу цивільної оборони Харківського національного університету радіоелектроніки.

Як правило, в більшості випадків, основною надзвичайною ситуацією в приміщенні наукової лабораторії є загроза виникнення пожежної ситуації.

Науково-дослідна лабораторія розташована в будівлі, виконаній із залізобетонних конструкцій, при роботі тут застосовуються тверді вогнетривкі матеріали. Тому згідно з ДБН В.1.1–7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва» будівля має I ступінь вогнестійкості, виробництво в НДЛ з

пожежо-вибухобезпеки відноситься до категорії В, а за НПАОП 40.1–1.21–98 (ДНАОП 0.00–1.21–98) «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів» приміщення відноситься до класу П–Па. Вимоги щодо пожежо-вибухобезпеки виконані.

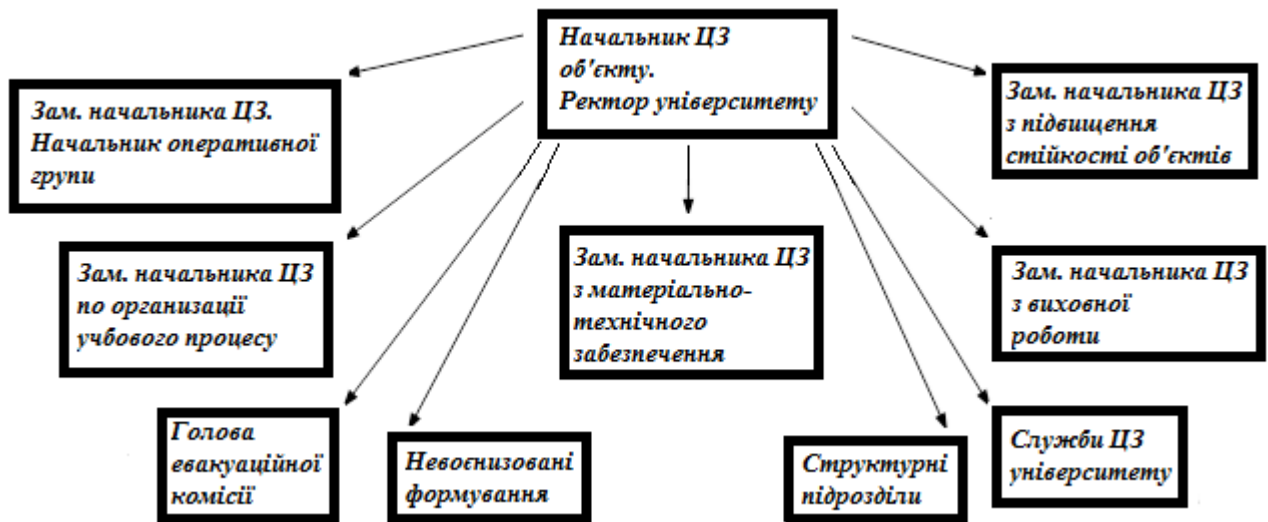


Рисунок 3.2 – Структурна схема штабу цивільного захисту ХНУРЕ

Причиною пожежі в НДЛ може бути коротке замикання електропроводки; несправність ПЕОМ та іншого електрообладнання; нагрівання провідників; куріння в недозволеному місці.

Відповідно до вимог ГОСТ 12.1.004–91 «Система стандартів безпеки праці. Пожежна безпека. Загальні вимоги» та ДБН В.2.5–56:2010 «Інженерне обладнання будинків і споруд. Пожежна автоматика будинків і споруд. Зі зміною № 1», приміщення НДЛ має бути оснащено [18]:

- димовими пожежними сповіщувача у кількості 12 одиниць (з розрахунку 2 сповіщувача на кожні 20 м² площі приміщення);

- вуглекислотними переносними вогнегасниками ємністю не менше 2 л у кількості 5 одиниць (з розрахунку 1 вогнегасник на 20 м² площі, але не менше 2 на приміщення). Тип обраного вогнегасника ВЛК–3,5;

- кошмою.

Необхідно проводити наступні організаційні заходи:

- призначити відповідального за НДЛ за пожежну безпеку;
- включати питання щодо пожежної профілактики у всі інструктажі з техніки безпеки;
- заборонити куріння в недозволеному місці, а також використання в НДЛ нестандартних (саморобних) електроприладів, насамперед нагрівальних, призначити заходи адміністративної відповідальності за порушення цих заборон;
- контролювати ізоляцію та стан електропроводки та електрообладнання.

У приміщенні 12 осіб, тож, згідно з ДБН В.1.1–7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва» та ГОСТ 12.1.004–91 «Система стандартів безпеки праці. Пожежна безпека. Загальні вимоги», евакуацію під час пожежі можна проводити через робочий вихід.

Схему евакуації розмістити на чільному місці біля виходу з приміщення.

Схему евакуації наведено на рисунку 3.1.

3.4 Висновки по розділу

У третьому розділі було розроблено конструкцію ЧПУ верстата, розраховано блок живлення та необхідну кількість акумуляторів для безперебійної роботи ЧПУ верстата до двох один, підключено усі необхідні контакти згідно схеми підключення та дробленні усі необхідні розрахунки щодо охорони праці.

ВИСНОВКИ

Таким чином в дипломній роботі було проведено аналіз сприйняття зором людини світла та розпізнавання кольору та його відтінків.

Показано, що світлочутливі клітини сітківки – палички та колбочки. Дані клітини містять пігменти, чутливі до світла. Ці пігменти перетворюють фотони світла, що падають на клітини в електричні сигнали. Дані сигнали транслюються через синаптичні зв'язки клітин, спочатку біполярних, потім гангліонарних. Потім вони передаються з допомогою аксонів до зорового нерва та кори головного мозку.

Світлочутливі клітини, особливо палички, можуть «групуватися» подібно до того, як це робиться при стисканні зображення. При цьому в сітківці виявлено нервові механізми, що реагують на особливі «візерунки зображення», з різними часовими та просторовими характеристиками.

Око виділяє рух, зміна освітленості та інші властивості об'єктів зображення і передає їх за допомогою мінімальної властивості об'єктів зображення і передає їх за допомогою мінімальної кількості нервових волокон відповідні зони мозку.

Виходячи з аналізу спектрів поглинання ретиноїдів світлочутливих клітин, напрошується перший висновок: спектральна чутливість червоних і зелених колб досить близька. Червоні колбочки насправді мають максимальну чутливість до жовтого кольору. Тому їх слід називати швидше жовтими. Але математично та логічно дуже складно розробити систему триколірного відтворення кольорового зображення, ґрунтуючись на точних значеннях чутливості колб, так як у цьому випадку колірний простір, що охоплюється, виходить занадто обмеженим.

Всі ці природні рішення зору людини полягли в основу створення пристроїв для вимірювання кольору. Ряд цих пристроїв представлений в даній роботі. Крім цього представлені математичні моделі колориметрії.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ 3008-15. Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення[Текст]. – Введ.22.06.2015. – К.:ДП«УкрНДНЦ», 2015.– 26 с.
2. ГОСТ 13088-67 Колориметрия. Термины, буквенные обозначения.
3. Ж. Годен «Колориметрия при видео-обработке», М.: Техносфера, 2008г.
4. Николс Джон, Мартин Роберт, Валлас Брюс, Фукс Пол, От нейрона к мозгу: Пер. с англ. Изд. 2-е – М.: Издательство ЛКИ, 2008. – 672 с., цв. вкл. ISBN 978-5-382-00808-0.
5. Юстова Е.Н. Колірні виміри (Колориметрія). – SPb.: В-во SPbNU, 2000. – 397 с. ISBN5-288-02648-3.
6. James, T. Fulton, (2002) Processes In Biological Vision.
7. Ю.Є. Хорошайло, І.М. Ярмак, О.Д. Меняйло, Г.В. Сова, В.А. Світличний, І.К. Сезонова – Використання поняття колориметричної функції в прикладних дослідженнях. – Вісник Національного технічного університету «ХПІ» Серія: Електроенергетика та перетворювальна техніка, № 1, 2019, с. 78 – 82, УДК 519.2, ISSN 2079-4525 (print).
8. Миннарт М. «Свет и цвет в природе» М., 1969 г., 360 стр. с илл.
9. Кириллов Е.А. Цветоведение: Учеб. пособин для вузов. – М.: Легпромбытиздат, 1987 г. – 128 с.
10. Goethe's Theory of Colours; Translated from the german: with notes by Charles Lock Eastlake, r.a., f.r.s. London: John Murray, Albemarle street. 1840.
11. Луизов А.В. Глаз и свет. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. Отд-ние, 1983. – 144 с., ил.
12. Домасев М.В., Гнатюк С.П. Цвет, управление цветом, цветовые расчеты и измерения. – СПб.: Питер, 2009. – 224 с.: ил. – (Серия «Учебный курс»). ISBN 978-5-388-00341-6.
13. Colorimetry: understanding the CIE system / edited by Janos Schanda.

Published by John Willey & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, Canada, 2007. ISBN 978-0-470-04904-4.

14. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці» у випускних роботах ОКР «бакалавр» усіх форм навчання [Текст] / Упоряд.: Б.В.Дзюндзюк, В.А.Айвазов, Т.Є.Стиценко. – Харків: ХНУРЕ, 2012. – 28 с.

15. ДСанПІН 3.3.2–007–98 «Державні санітарні правила і норми. Гігієнічні вимоги до організації роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин».

16. ГОСТ 12.2.032–78 ССБТ. «Робоче місце під час виконання робіт сидячи. Загальні ергономічні вимоги (2.2.032–78)».

17. ДСН 3.3.6.042–99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень».

18. ГОСТ 12.1.004–91 «Система стандартів безпеки праці. Пожежна безпека. Загальні вимоги».