

Хмельницький національний університет  
Факультет інформаційних технологій  
Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

Галузь знань 12 – Інформаційні технології

Спеціальність 123 – Комп'ютерна інженерія

на тему «Метод побудови та архітектура кіберфізичних систем діагностики зору людини»

КвРКІ. 16007.20.01.14 ПЗ

Виконав: студент 2 курсу, група КІ2м-20-1

  
Підпис

Ковальчук О.В.  
Ініціали, прізвище

Керівник кандидат техн. наук, доцент  
Науковий ступінь, вчене звання

  
Підпис

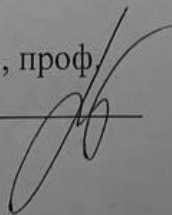
Корецька Л.О.  
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:

Зав. кафедри КІС, д.т.н., проф.

Т.О. Говорущенко

19 05 2022 р.



ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Освітній рівень МАГІСТР

Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітня програма ОСВІТНЬО-НАУКОВА ПРОГРАМА «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Т.О.Говорущенко

“ 01 ” 09 2021 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ)**

Ковальчуку Олексію Васильовичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Метод побудови та архітектура кіберфізичних систем діагностики зору людини

Керівник проекту (роботи) Корецька Л.О., к.т.н., доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджена наказом ректора університету від 06.01.2022 р. № 1

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 03.05.2022 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на дипломне проектування

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Аналіз відомих методів діагностики стану зору людини


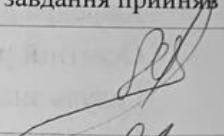


Модель методу діагностики зору людини

Метод та архітектура кіберфізичної системи діагностики зору людини

Дослідження реалізації методу діагностики зору людини

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

6. Консультанти розділів дипломного проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Лисенко С.М., професор кафедри КПС		
Антиплагіат	Нічепорук А.О., доцент кафедри КПС		

7. Дата видачі завдання « 06 » 09 2021р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вибір напряму дослідження та узгодження тематики ДРМ з керівником	05.09.2021	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	05.10.2021	виконано
3	Робота над розділом 1 – аналіз відомих моделей, методів за темою; постановка задачі	05.11.2021	виконано
4	Робота над розділом 2 – розробка моделей для вирішення поставленої задачі	05.12.2021	виконано
5	Робота над науковою статтею	05.01.2022	виконано
6	Робота над розділом 3 – розробка методів для вирішення поставленої задачі	15.02.2022	виконано
7	Робота над розділом 4 – проектування та розробка ПЗ для вирішення поставленої задачі, експериментальна частина	05.04.2022	виконано
8	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	15.04.2022	виконано
9	Попередній захист ДРМ	18.04.2022	виконано
10	Захист ДРМ на засіданні ЕК	До 10.05.2022	

Студент

  
Підпис

О.В. Ковальчук  
Ініціали, прізвище

Керівник проекту (роботи)

  
Підпис

Л.О. Корецька  
Ініціали, прізвище

## РЕФЕРАТ

Тема дипломної роботи: Метод побудови та архітектура кіберфізичних систем діагностики зору людини

Автор роботи: Ковальчук Олексій Васильович

Керівник роботи: Корецька Людмила Олександрівна

Пояснювальна записка: 81 с., 38 рис., 3 табл., 3 дод., 36 джерел.

ПЕРЕЛІК КЛЮЧОВИХ СЛІВ кіберфізична система, світлодіод, частота, шпаруватість, око, зір, діагностика.

Об'єктом роботи є процес опрацювання інформації про стан зору людини у кіберфізичній системі.

Предметом роботи є програмно-технічні засоби кіберфізичної системи діагностики зору людини.

Метою роботи є створення кіберфізичної системи діагностики зору людини із підвищеною точністю та швидкодією на основі вхідних даних щодо видимої людиною частоти блимання світлодіода та сприйняття кольорів і їх відтінків.

Науковою новизною отриманих результатів є подальший розвиток методу діагностики зору людини, який відрізняється від існуючих тим, що формування світлового оптичного потоку відбувається адитивним методом синтезу кольорів із трьох основних кольорів, що дає можливість отримати заданий колір із точністю до 0,1%.

Практична значимість отриманих результатів полягає: в результаті виконаного наукового дослідження розроблена кіберфізична система діагностики зору людини

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1.1 Аналіз предметної області.....	6
1.2 Оптична система ока та її функції.....	12
1.3 Відхилення параметрів зору людини та методи діагностики.....	16
1.4 Метод діагностики кольоросприйняття людського ока.....	18
1.5 Постановка задачі.....	26
1.6 Висновки.....	28
2. МОДЕЛЬ МЕТОДУ ДІАГНОСТИКИ ЗОРУ ЛЮДИНИ.....	29
2.1 Компоненти системи діагностики зору людини.....	29
2.2 Модель методу синтезу випромінювання різних кольорів RGB-світлодіодом.....	30
2.3 Модель колірної зору та колірної простору.....	36
2.4 Висновки.....	37
3 МЕТОД ТА АРХІТЕКТУРА КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТИКИ ЗОРУ ЛЮДИНИ.....	39
3.1 Основи методу діагностики зору людини.....	39
3.2 Функціональна схема та основні елементи кіберфізичної системи діагностики зору людини.....	40
3.2. Висновки до розділу.....	56
4 ДОСЛІДЖЕННЯ РЕАЛІЗАЦІЇ МЕТОДУ ДІАГНОСТИКИ ЗОРУ ЛЮДИНИ ...	57
4.1 Будова та принцип роботи кіберфізичної системи діагностики зору людини.....	57
4.2 Будова модуля діагностики.....	60

4.3. Порядок проведення тестування із використанням запропонованої системи діагностики.....	81
4.4 Висновки.....	82
ВИСНОВКИ.....	83
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	85
ДОДАТОК А Лістинг програмного забезпечення блоку формування світлових імпульсів різного кольору .....	88
ДОДАТОК Б Копія публікації .....	90
ДОДАТОК В Презентація доповіді.....	93

## ВСТУП

Діагностика кольоросприйняття людського ока є важливою. На сьогодні є багато галузей, для яких вона є ключовою. Для роботи в таких галузях є вимоги до якості сприйняття кольору та зору. Актуальність даного діагностування полягає у перевірці зору військових, водіїв різних галузей, пілотів та інших. Також таке діагностування важливе для відбору у спецназ.

Зазвичай такі перевірки виконують вже при явних симптомах захворювань, коли погіршення зору вже помітні. Тому дана система дозволить проводити систематичну перевірку зору без візиту до лікаря, що дозволить діагностувати ранні стадії захворювань або невеликі відхилення.

Для користування цією системою не потрібно буде мати особливих знань та навичок, що дозволить будь-кому проводити перевірку. Також дана система матиме не великий розмір та легка в обслуговуванні, що дозволить розмістити її безпосередньо на підприємстві або інших робочих локаціях, що потребують дану перевірку.

Метою роботи є створення кіберфізичної системи діагностики зору людини із підвищеною точністю та швидкістю на основі вхідних даних щодо видимої людиною частоти блимання світлодіода та сприйняття кольорів і їх відтінків.

Об'єктом роботи є процес опрацювання інформації про стан зору людини у кіберфізичній системі.

Предметом роботи є програмно-технічні засоби кіберфізичної системи діагностики зору людини.

Науковою новизною отриманих результатів є подальший розвиток методу діагностики зору людини, який відрізняється від існуючих тим, що формування світлового оптичного потоку відбувається адитивним методом синтезу кольорів із трьох основних кольорів, що дає можливість отримати заданий колір із точністю до 0,1%.

Практична цінність отриманих результатів. В результаті виконаного наукового дослідження розроблена кіберфізична система діагностики зору людини.

У даній роботі викладено вимоги до методології проведення експериментальних досліджень та діагностики зору людини, а також до методу побудови кіберфізичної системи діагностики зору людини.

За темою дипломної роботи опубліковано тези участі у XIII всеукраїнської науково-практичної конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних наук АПКН-2021». Хмельницький – 2021 [1].

# 1 АНАЛІЗ ВІДОМИХ МЕТОДІВ ДІАГНОСТИКИ СТАНУ ЗОРУ ЛЮДИНИ

## 1.1 Аналіз предметної області

В сучасному світі якісно діагностувати зір дуже важливо, особливо при лікуванні захворювань очей. Діагностика зору дозволяє виявити та знайти серйозні захворювання, так і не помітні на перший погляд які можуть призвести до чогось серйозного, виявити різні дефекти та проблеми різного роду та визначити можливості способи їх усунення.

Проблеми з очима можна вирішити терапевтичним способом, так і за допомогою хірургічного втручання, в залежно від причини її появи, та складності проблеми.

За даними всесвітньої практики, ймовірність отримання негативних наслідків чи побічних ефектів після хірургічного втручання для лікування проблем та покращення зору складає менше 1%. Цього показника можна досягнути при вчасній, якісній і кваліфікованій діагностиці зору.

Проблеми з зором виникають через негативний вплив зовнішнього середовища, через спадковість та у наслідок ушкодження органів зору. За допомогою діагностики виявляють чинники, які негативно вплинули на якість зору, здоров'я очей, поставити правильний діагноз та скласти подальший план лікування пацієнта.

Одне з перших місць, займають проблеми зору отримані в наслідок травмування органів зору. Дані проблеми поділяють на механічні, опіки та травми. До травм відносять контузію та поранення. Контузію отримують тупим предметом, яке зазвичай пошкоджує всі відділи ока, а поранення завдають гострим предметом.

Також пошкодити зір можна за допомогою термічних, хімічних та променевих (обумовлені дією ультрафіолетових, інфрачервоних та рентгенівських променів). Здебільшого зустрічаються опіки комбінованого типу ушкодження ока.

На сьогоднішній час будь-яка діагностика зору, проводиться з використанням різного високотехнологічного обладнання. Кожний тип діагностики формує звіт про стан очей, використовуючи який можна визначити яка проблема з зором, якщо вона є, а також причини її виникнення. Найпоширенішим та простим видом діагностики є візуальний, він не гарантує точні результати, так як це за допомогою нього, оцінюється поверхневий стан ока, тощо. Використання цієї діагностики дозволить виявити тільки великі відхилення від норми, наприклад, з рогівкою ока.

Сучасна техніка діагностування збільшує можливості діагностики показників ока. Поширені методи: візометрія, тонометрія, біомікроскопія, ультразвукова діагностика, електроретинографія [2].

Візометрією визначають гостроту зору. Під час даної діагностики використовуються різні таблиці. Цей метод також використовують для корекції зору з оправами та лінзами. Це є традиційним та одним з перших методів для перевірки гостроти зору і є дуже важливим, тому що, наприклад, гострота зору знижується при катаракті. Цієї методикою можна діагностувати на початковій стадії ряд захворювань.

Тонометрія проводить вимірювання внутрішньо тиску всередині ока. Безконтактним методом виконуються заміри, оскільки його вважають найбезпечнішим серед існуючих. Через пневмотонометрію можна за достатньо короткий період часу отримати потрібні результати, причому даний метод є безболісним та безпечним для пацієнта.

Біомікроскопія дозволяє здійснити максимально детальне візуальне діагностування ока. Дослідження проводиться використовуючи щілинну лампу, яка створює контраст між яскраво освітленою і неосвітленою ділянкою, після цих дій проводиться ретельний контроль пошкодженої частини. Такий метод дозволяє визначити причину захворювання та скласти потрібне лікування.

Використовуючи ультразвукову діагностику можна отримати двовимірне зображення склоподібного тіла, задню частину ока та орбіту. Завдяки ній виявляються сторонні предмети, частинки в оці, діагностують захворювання та за

певних умов можна визначити причини його появи. Великою перевагою є в даній діагностиці є розрахунок сили заломлення, яка необхідна при імплантації нового кришталіка.

Електроретинографія фіксує зміни електричної активності клітинних елементів сітківки ока, впливаючи на нього світловим подразником. Данний метод дозволяє зробити детальну оцінку функціонального стану шарів сітківки зорового нерву.

Із використанням методів візометрії можлива діагностика за допомогою спеціальних таблиць. Їх розміщують на відстані 5-6 метрів від досліджуваного. Дані таблиці бувають декількох видів. Сивцева-Головіна – один з найпоширеніших варіантів, що містить у собі 12 рядів букв алфавіту різного шрифту. Шрифт зменшений з верхнього до нижнього рядка, де внизу найменші символи вверху найбільші. Два ока перевіряють по черзі. Якщо в досліджуваного нормальний зір, то він бачить третій рядок знизу [3]. Таблиця Орлової – призначена для офтальмології дітей віком від трьох років. Таблиця Снелена – аналог таблиці Сивцева-Головіна, відмінність у використанні латинських символів.

Сучасна діагностика у офтальмолога проводиться використовуючи комп'ютерну техніку. Досліджуваний фіксує свій погляд на точці комп'ютерного монітора, а протягом наступних двох хвилин, протягом яких отримують результат, за допомогою якого оцінюють якість гостроти зору. Плюсами даного методу є швидкість, точність, також безболісність процесу, що для багатьох людей важливо, проте недоліком є складність оптичної системи. Через це обирають традиційні методики [4].

Тонометрія ока вимірює тиск всередині очного яблука, котрий виникає в внутрішньо очній рідині. Під час вимірювання проводиться оцінка «пружності» ока. В основі даного методу перевірки базується на деформації ока, під час якого на рогівка ока отримує зовнішній вплив, в залежності від внутрішньо очної рідини. Даний метод є основним при діагностики глаукоми, яка призводить до сліпоти, та інших серйозних захворювань очей.

Для визначення радіуса кривизни рогівки та кришталіка, а також напрямком головних перетинів астигматичної рогівки використовується складний оптичний офтальмометр (рис 1.1).



Рисунок 1.1 – Зображення офтальмометра

При таких офтальмологічних дослідженнях використовують декілька методів. Нормальні показники внутрішньо очного тиску залежать від методів проведення. Використовуються три основні методи: пальцева тонометрія, по Маклакову та безконтактна.

При пальцевій тонометрії застосовують подушечки пальців офтальмолога через повіки, при цьому дослідженні визначають напруженість ока. Зазвичай його використовують в період після операцій, тому що заборонено використовувати інструментальні вимірювання.

При тонометрії очного яблука по Маклакову, вимочений у фарбі предмет, певної маси, ставлять на око, над яким проводять дослід. На початку обов'язково на оці робиться анестезія. Після цього беруться папір і робиться відбиток, котрий заміряють спеціальною лінійкою, для того щоб дізнатись яка кількість фарби зникла з предмета. Обґрунтовується це тим, що при більшій площі, більше фарби

на оці, тому менший внутрішньо очний тиск і навпаки. Цей метод можна використовувати не у всіх ситуаціях, але він більш точний за попередній.

Не контактуючи з оком теж можна визначити тонометрією. Даний метод є безконтактним, штучно створюється певний зовнішній тиск на рогівку ока при якому визначається ступінь, форма та швидкість її. Безпосередній контакт відсутній, то вірогідність занесення інфекції до ока відсутня. Дослідження проводиться за короткий час та автоматично.

Пацієнт фіксує голову в пристрої і дивиться на гарячу точку. Пристрій подає повітря уривками, внаслідок таких дій рогівка змінює свою форму, аналізуючи це пристрій отримує дані про тиск.

Недоліком даного методу є точність, порівняно з іншими. Тому що його використовують при великому об'ємі діагностик, або при необхідності безконтактної перевірки, через якісь протипоказання іншим методам.

Ультразвукова діагностика ока (УЗД) – це метод, використовуючи який дозволяє виявити відхилення, пов'язані з оком. На даний момент один з найбезпечних методів діагностики. При УЗД можна діагностувати пухлини, інформацію про нерв ока, м'язи, судини. В основі полягає принцип ехолокації. УЗ передавач генерує хвилі на високих частотах, які зіштовхуючись з об'єктом контролю, відбиваються від нього і отримуються приймачем. В приймачі отримані дані інтерпретуються в картинку та одержують на дисплей. Серед переваг УЗД ока відносять безпеку, тобто досить малу імовірність занести інфекцію, інформативність, швидкість виконання контролю, відсутність радіоактивного випромінювання, неруйнівний метод діагностики [5].

При відмінному стані зору його охарактеризовують використовуючи термін еметропії – це рефракція ока, при якому спостерігається чітке зображення предметів на будь-якій дистанції в стані спокою акомодатії.

Нормальну рефракцію або еметропію отримують внаслідок формування зображення предметів. Через порушення рефракції чи еметропії, отримане зображення предметів стає нечітке, тому що фокус зображення утворюється за площиною сітківки. Для визначення ступенів рефракції ока використовуються

авторефрактометр(рис 1.2). Із використанням зазначеного пристрою, можливо коригувати недоліки оптичної системи ока та при астигматизмі встановлювати положення головних перетинів. Зовні є можливе підключення монітору.



Рисунок 1.2 – Зображення авторефрактометр

Види еметропії:

- гіперметропія або далекозорість;
- астигматизм;
- пресбіопія;
- анізетропія;
- амбліопія.

Гіперметропія – це коли через слабку силу заломлення ока, фокус зображення предметів розташовується поза сітківкою ока, через що стан зору стає гіршим.

Міопія – це коли сила заломлення ока є надлишковою, сам фокус знаходиться перед сітківкою ока, в результаті чого стан зору погіршується. В результаті чого, коригування зору через акомодацию не можливе.

Пресбіопія – це коли неможливо чітко спостерігати зображення близько розташованих предметів, через послаблену акомодацию ока. При еметропії можливі випадки астигматизму ока, який потрібно коригувати. Він може з'явитися через неправильну форму рогівки ока або в рідших випадках через кришталик. При хорошому зорі рогівка ока та кришталик відповідають сферичній формі, а в стані астигматизму ця сферична форма порушується і рогівка має різну кривизну, відповідно і різну силу заломлення. Це проявляється в тому, що зображення буде спотворене, бо якась частина буде розмита [6].

Для коригування зорових порушень використовують окуляри, контактні лінзи, або виконують лазерну або хірургічну корекцію зору.

## 1.2 Оптична система ока та її функції

Оптична система (ОС) ока необхідна для розсіювання та фокусування потоків світлових частинок. Основне завдання – відтворення якісних зображень, сприйняття інформації про все, що знаходиться в полі нашого зору. Ми можемо бачити все навколо нас у кольорі та об'ємі.

Особливим є адаптація системи до різної яскравості за рахунок природної адаптації ока. Це також унікальна можливість поєднати все, що спостерігає кожне око.

Ця властивість, яка називається бінокулярністю, є природним відображенням оптичної системи ока. Об'єкти, що отримуються на кожному оці, є подвійними і формуються як зображення з кожного ока. Це пов'язано з неоднаковими нейронами в одному і іншому оці, які частково відрізняються. Це полегшує можливість перегляду місцевості та навігації на відстані між людиною та об'єктом, який розглядається.

Тобто в даний момент людина на щось дивиться, її очі виконують кожен різну функцію. Цю функціональність можна легко перевірити. Спочатку потрібно дивитися на предмет одним оком, а потім таким же чином дивитися іншим оком. Потрібно дивитися через невелику щілину або отвір.

Так зване доміантне око не помітить ніяких відхилень у спостереженні, зображення буде в одному місці, а з так званим домінуючим оком буде спостерігатись ефект заміщення. Тому доміантне око є домінуючим елементом у зоровій системі, оскільки виконує функцію формування картини.

Надзвичайна пильність є важливою проблемою оптичної системи ока.

Оптична система ока складається з таких елементів:

- кришталік;
- рогівка;
- передня камера;
- склоподібне тіло;
- сітківка;
- будова рогівки та її функція.

Рогівка є зовнішньою оболонкою прозорого кольору і є невід'ємною частиною системи заломлення світла. У ньому міститься велика кількість нервових волокон, що забезпечує високу чутливість.

До складу рогівки входять:

- епітелій – верхній захисний шар, призначений для регулювання надходження рідини та кисню до ока;
- мембрани Боумена – забезпечує потужність, а також певний захист і має товщину приблизно 8-12 мікрон;
- строми є основною частиною колагенових волокон;
- десцементова мембрана відповідає за опір механічним пошкодженням;
- ендотелію виконує функцію прозорості рогівки ока;
- слізна плівка – виконує функцію захисту рогівки від зовнішніх впливів і захисту очей від сухості;
- очні лінзи - фокусують світло в потрібному напрямку.

Кришталік ока містить нервові закінчення, лімфоїдну тканину або кровоносні судини. За зовнішнім виглядом нагадує лінзу з різними радіусами, передньою і задньою поверхнями, кривизною. Верхня частина лінзи покрита

прозорою капсулою. Кришталик відповідає за проходження світлового потоку і досягає ним сітківки. Він також діє на заломлення світла.

Однією з найважливіших функцій, які виконує лінза, є примусова робота механізму акомодациї ока. Сепаратор розділяє око на дві частини, захищаючи нижню частину від контакту зі склоподібним тілом.

Кришталик і рогівку можна вважати оптичними лінзами. Кожна лінза має свої основні характеристики – здатність до фокусування світла і фокусну відстань. Фокусна відстань – це відстань від центру до фокусної точки, тобто, характеристика, яка створює високоякісне чітке зображення через оптичну лінзу. На рис. 1.3 показано процес формування предметного образу.

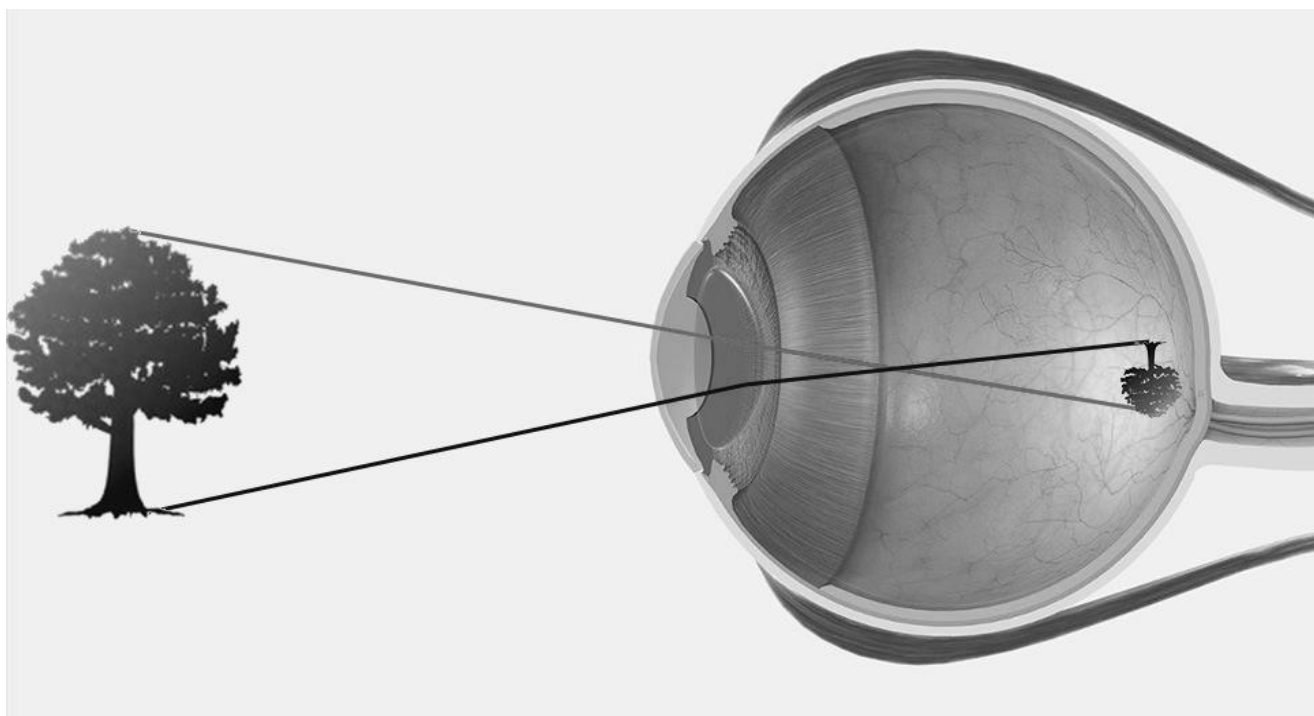


Рисунок 1.3 – Формування зображення

Фокусна відстань і оптична сила взаємозалежні. Стандартні лінзи вважаються недосконалими, оскільки мають сферичну аберацию. Це візуальний дефект, оскільки світло не повністю фокусується на площині, коли воно проходить крізь лінзу, а скоріше частина світла фокусується ближче або далі.

На рис. 1.4 показано сферичну аберацию у двох випадках. Що стосується моменту фокусування світла, то аберация буде або позитивною, або негативною

сферою. Усі промені, сфокусовані ближче або далі від площини фокусу, будуть розмитими, потрапляти на сітківку.

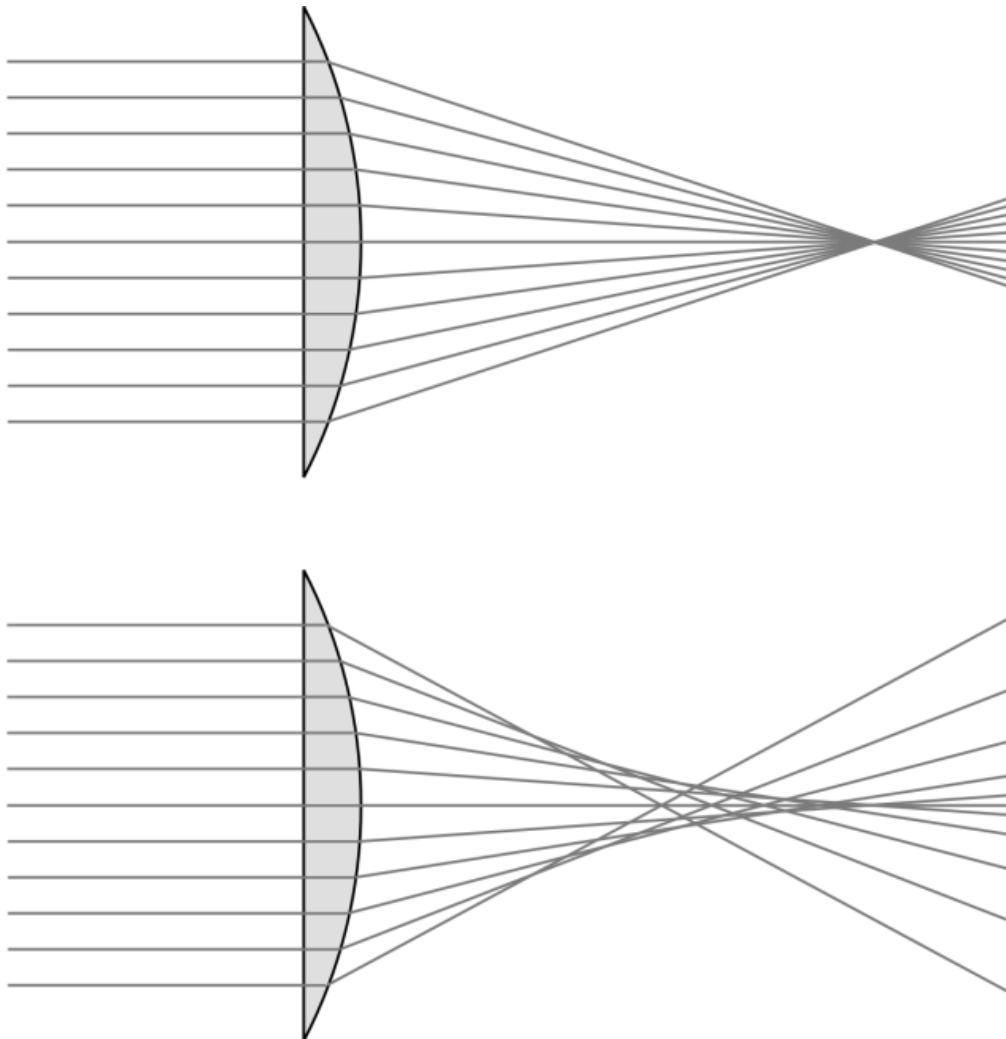


Рисунок 1.4 – Сферичні аберації ока

Людське око складається з рогівки та кришталика, які є сферичними лінзами з позитивними та негативними аберациями відповідно. Первинні фокуси кришталика, рогівки та ока сходяться в центральній точці вздовж осі. Причиною цього є момент для компенсації позитивної сферичної аберації негативу рогівки в кришталику. В результаті людський зір досягає ідеального контрасту [7].

Сітківка являє собою тонкий шар тканини, яка дуже чутлива до світла. З її допомогою отримана інформація передається в мозок у вигляді електричних імпульсів для обробки.

На виконання зорових процесів впливають шари епітелію і нервові клітини. Роль полягає в перетворенні типу енергії в короткі електромагнітні імпульси[8].

Око людини містить два м'язових компоненти. За його рух відповідають одні групи м'язів очей, інші - повіки. Очні м'язи можна розділити на прямі і косі м'язи. Прямий м'яз відповідає за всі вертикальні і горизонтальні рухи, а косий м'яз обертається навколо осі. Ідентичність цих двох груп м'язів вважається нормальною.

### 1.3 Відхилення параметрів зору людини та методи діагностики

Найпоширенішими дефектами зору є міопія або короткозорість і далекозорість.

Короткозорість - це дефект, при якому зображення, що відображається в системі ока, формується перед сітківкою. Це можливо в тих випадках, коли світловий потік, що проходить через рогівку або кришталік, надмірно заломлюється, або коли довжина очного яблука витягується.

Короткозора людина бачить все зображення розмитим, дивлячись на віддалені об'єкти, тоді як якість зображення досить хороша, коли об'єкт або предмети, які знаходяться близько до ока. Існує також нічна короткозорість, коли очі добре бачать вдень, а вночі потрібно носити окуляри через зниження зору. Також можна відзначити наявність сезонної короткозорості, яка проявляється взимку.

У деяких випадках після тривалого перебування перед екраном комп'ютера або читання спостерігається спазм в здатності ока адаптуватися, що можна вважати ранньою стадією короткозорості.

Міопія найчастіше зустрічається у дітей і може розвиватися приблизно до 18-20 років. Міопію не можна віднести до захворювання. Це анатомічний дефект або особливість ока. Якщо очне яблуко довше 1 мм, короткозорість може прогресувати до -3 дптр.

Далекозорість є недоліком, протилежним короткозорості, коли людина не може бачити предмети зблизька, але зображення на відстані мають хорошу якість. Зустрічається рідше, переважно у літніх людей. До того часу лінза, швидше за все, буде жорсткішою і менше буде змінювати кривизну.

Для вивчення працездатності ока перевіряють акомодацию – отримання високоякісних зображення на різній відстані від сітківки. У стані напруженості зір зосереджений поблизу, у розслабленому – далеко.

Існує кілька недоліків, які можуть бути пов'язані з акомодациєю:

- параліч акомодациї – досліджують фокусування, точка де знаходиться на великій відстані;
- спазм акомодациї - через довге перевантаження зору очі тривалий час перебувають у стані напруження і майже не розслабляються;
- пресбіопія – оскільки кришталік дегенерує з віком, здатність до акомодациї зменшується;
- висока акомодацийна напруга в оці - присутня, коли око недостатньо відпочило.
- адаптуватися до зорової втоми – втома очей, у переважної більшості людей далекозорість.

Для визначення параметра ширини адаптації використовується формула, за якою значення в ближній точці потрібно відняти від значення в дальній точці спостереження.

Визначення об'єму аналогічно формулі ширини акомодациї за допомогою діоптрії [9].

Завдяки ергографії виконують більш точну перевірку роботи ока. Дослідження дозволяє при певних навантаженнях визначити функції м'язів ока. Згідно графічних даних оцінюють працездатність м'язів ока.

Акомодометр використовують для дослідження стану зору. На око подають штучно певну силу та нотується реакція на ці дії. Висновки роблять згідно отриманих кривих з результатів.

Акомодографія вважається найсучаснішим методом діагностики за допомогою комп'ютера. Акомодограф використовується для діагностичних процедур. Данні методи діагностики зору розділити на два види:

- статичний – оптична лінза визначає відстань до об'єкта;
- динамічний – суб'єкт поступово наближається до ока і спостерігає за реакцією.

Акомодація ока людини буває двох видів: абсолютною або відносною залежно від поставленого діагнозу.

Абсолютний акомодацію виконують із закритим оком. Щоб визначити придатність, використовують формулу, яка враховує значення рефракції та точки зору високої чіткості. Дане дослідження виконує акомодометром.

Відносна акомодація передбачає діагностику обох очей одночасно. Випробуваний отримує чотири рядки тексту з бланка для перевірки зору і зчитує його з позитивним або негативним значенням через рамку, на якій розміщені лінзи, він повинен прочитати його. Лінзи додаються один за іншим, поки текст не стане чітко видимим. Підсумовуючи максимальне значення однієї лінзи та іншої лінзи, визначається відносна акомодаційна здатність ока.

#### 1.4 Метод діагностики кольоросприйняття людського ока

Здатність людського зору розрізняти предмети різного кольору називається кольоросприйняттям. Повне сприйняття кольору досягається за рахунок безпомилкової роботи зорової системи людини.

Існує термін трихромазія, який відноситься до людей, які можуть бачити і розрізняти червоний, синій, зелений. Часто людей з таким сприйняттям кольору називають трихтомати.

Порушення хоча б одного з перерахованих вище кольорів може вплинути на загальне сприйняття кольору. Найбільш поширене порушення сприйняття зеленого або червоного кольору.

В принципі, навіть якщо є дуже незначні відхилення у сприйнятті одного з цих трьох кольорів, змішати їх в ідеальних пропорціях абсолютно неможливо.

Залежно від рівня сприйняття кольору можна помітити:

- аномальна трихромазія;
- дихромазія;
- монохромазія.

Більшу частину вад зору, їх ще можна розділити на вроджені і набуті [10].

Коли справа доходить до вроджених розладів кольорового зору, вони генетично пов'язані і можуть залежати від статі. Вроджені аномалії колірного зору поділяються на три категорії: протан-дефект, дейтердефект і тритановий дефект, які є нездатністю сприймати червоний, зелений і синій відповідно.

Відхилення можуть виникати під час або після захворювання. Для більш точної оцінки стану зору потрібна діагностика. Набуті розлади сприйняття кольору характеризуються тим, що більшість їх діагнозів випадкові. Бажано, щоб діагноз ставився при перших ознаках втрати зору.

Початковим етапом є можливість десенсибілізації до вищезгаданих кольорів. При виникненні ускладнень відчуття може зменшитися до всіх трьох кольорів.

Набуті відхилення кольорового зору відрізняються від вроджених, які проявляються на початкових стадіях, можуть знижуватися в міру розвитку зору [11].

Можна розрізняти два кольори лише за відсутності одного зорового пігменту в сітківці. Якщо червоного пігменту немає, то це колірна сліпота, також відома як дальтонізм. Аналогічна ситуація і за відсутності зеленого і синього кольорів, що називаються дейтерієвим дихроїзмом і трихроматичним дихроїзмом відповідно. Важливо відзначити, що аномальна трихроматія – це відсутність або зниження активності одного з трьох пігментів [12].

Сітківка людського ока має три типи колбочок, і зоровий пігмент поглинає найбільше на трьох довжинах хвилі: сині – 430 нм., червоні – 560 нм., зелені – 530

нм. Коди червоного і зеленого пігментів генетично розташовані на X-хромосомі, синього - на сьомій хромосомі.

Найрідше зустрічаються мутації, що впливають на синій пігмент. А з червоним і зеленим пігментом мутації виникають частіше і можуть призвести до часткової сліпоти - дальтонізму. Люди з цією мутацією мають різне сприйняття кольору і, отже, поєднання кольорів.

У разі аномальної трихроматії пігменти всіх трьох кольорів зберігаються, але мутація в одному з кольорів призводить до зміни максимальної спектральної чутливості, що в свою чергу порушує співвідношення трьох основних кольорів для досягнення бажаного відтінку.

При дихроматії людина не в змозі розрізнити один із трьох кольорів і використовує лише два для змішування.

Як і з аномальними основними кольорами та дихроматами, зір може бути навіть максимальним, але вони будуть сприймати колір по-різному, особливо при визначенні відтінку.

Щоб виявити сприйняття червоного кольору, скористайтеся багатоколірною таблицею, яка відображає числа. Побачити їх можуть лише люди з нормальним сприйняттям кольору. Оскільки ця упередженість статистично частіше зустрічається у чоловіків, логічно при їх діагностуванні віддавати перевагу чоловікам [13].

Контрольні списки дальтонізму в основному використовуються для людей з набутими упередженнями кольорового зору. В принципі, вони не призначені для такої діагностики, але, на жаль, немає іншого способу спростити тест.

Кольоровий зір зазвичай погіршується через пошкодження жовтої плями або зорового нерва. Це може спостерігатися у людей з невритом зорового нерва, або після відновлення зору колір може бути ненасиченим. У деяких випадках інсульту, залежно від травми, у людини може розвинути дальтонізм, коли він бачить все чорно-біле. Якщо травма пов'язана з травмою потилиці, амнестична афазія може виникнути, коли людина має інший колір, але вона не може це

назвати. В даний час лікувати вроджену дальтонізм неможливо, а корекція можлива лише в рідкісних випадках.

Аномальні дзеркала можна використовувати для виявлення відхилень або відхилень кольорового зору. Принцип дії заснований на порівнянні двох кольорів. Для вибору жовтого кольору опорні кольори встановлені на жовтий, червоний та зелений. При відсутності упередженості колірного зору людина правильно вибирає пропорції за допомогою двох кольорів. Якщо є відхилення - не вийде. Найпоширенішим приладом є дзеркало спектральної аномалії Рабкіна і Нагеля.

Апарат, призначений для діагностики колірного сприйняття, зарекомендував себе в області вроджених аномалій. Рівняння Релея використовується як основа для отримання спектру при попаданні світла на призму. Три довжини хвилі, що відповідають червоному, жовтому та зеленому, розрізняються трьома щілинами: червоний – 676 нм, жовтий - 586 нм, зелений - 550 нм. Дивлячись на окуляр пристрою, є дві кольорові області - еталонний жовтий і тестовий через поєднання червоного і зеленого. Із використанням рівняння Релея визначається колірний зір. Іншим діагностичним приладом є дзеркало аномалії Рабкіна, яке порівнює кольори двох вертикальних полів. Результуюче поле є монохроматичним випромінюванням певної довжини хвилі.

Порівняння ґрунтується на яскравості кольорів. Якщо у вас є сумніви щодо сприйняття червоного кольору, для діагностики необхідно використовувати аномальний мікроскоп. Його можна використовувати для визначення сприйняття оком правильності кольору шляхом змішування інших кольорів. Людина, зір якої досліджують, бачить випромінювання еталонного кольору в окулярі рефрактора і повинен вибрати той самий колір. Результати дають лікарі, які знають, як здорові та хворі пацієнти розпізнають кольори [14].

Необхідність такого типу діагностики є важливою, оскільки вона є ключовою для багатьох спеціальностей у різних галузях сприйняття кольору. Ці люди можуть бути звичайними водіями транспорту або звичайними водіями у військовій, авіаційній та інших сферах. Цей показник використовується для професійного відбору спецназу.

Вроджені розлади колірного зору не схожі на розлади колірного зору, і переважна більшість людей можуть точно називати кольори. Коли справа доходить до яскравості, насиченості кольору або відсутності видимості, виникає відчуття відсутності сприйняття. Таблиця призначена для порівняння яскравості та насиченості.

Як зазначалося вище, колірний зір можна перевірити за допомогою спеціальної кольорової діаграми або рефрактометра.

Кожна окрема таблиця складається із зразків кольорів. Вони складають фігуру, яку можуть побачити тільки люди з нормальним сприйняттям кольору.

Людина з аномальним кольоровим зором не може бачити фігуру, тому що не може розрізняти відтінки. Деякі таблиці містять цифри, які можуть бачити лише люди з порушенням колірного зору. Такі таблиці та набори карт підвищують точність діагностики. Важливо організувати діагностику тільки протягом дня.

Під час тестування людина називає видимі ознаки, які вона показує лікарю з відстані одного метра від столу. Час виконання кожного тесту становить кілька секунд. Початкові тести проводилися для уточнення завдань, і їх проходили люди з нормальним сприйняттям кольору та упередженістю. Записують результати тестів, аналізують дані та встановлюють діагноз або аномальний рівень.

Найточнішим методом діагностики відхилень у сприйнятті кольору є аномалоскоп. Порівнюючи ці два кольори, можна говорити про наявність упередженості. Після того, як людина змішує кольори, щоб наблизитися до еталону, стає зрозуміло, чи є сприйняття кольору нормальним і чи є відхилення [15].

Даний винахід відноситься до медичної техніки, а саме до обладнання для дослідження якості кольорового зору. Його метою є об'єктивна і точна оцінка якості кольорового зору, що в подальшому використовується для професійного відбору операторів, які займаються візуальним спостереженням за об'єктами різного кольору, а також для вивчення змін колірного зору на професійній роботі

або в повсякденному житті. Наприклад, космонавти, оператори атомних електростанцій тощо.

Для контролю якості кольорового зору, найчастіше використовується аномалоскоп Нагеля, який являє собою розподільник променів прямого перегляду, який містить опорний колір формуючого блоку (ФБ), блок формування тестового кольору та блок, який поєднує в собі два кольори в полі зору та розташовані так, що поле зору обстежуваного складається з верхньої та нижньої половини [16].

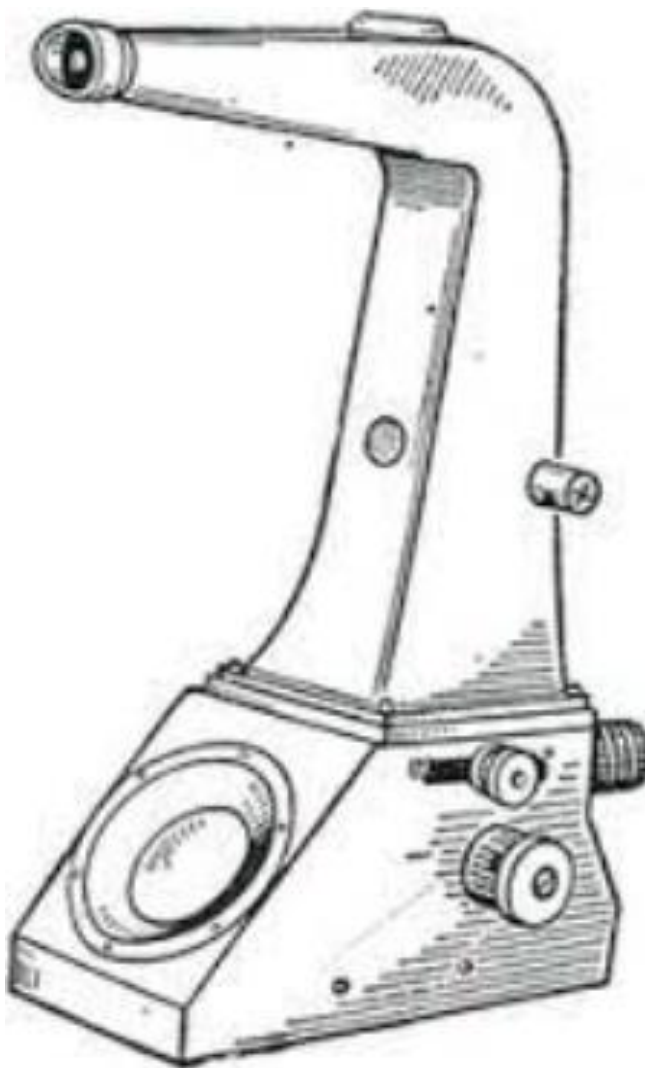


Рисунок 1.5 – Аномалоскоп Нагеля

Еталонний колір ФБ складається з коліматора та щілин, розташованих послідовно. На основі коліматора та двох щілин, розташованих за ним, формується тестовий колір ФБ. Проріз кольороутворюючого блоку розташовують

так, щоб випромінювання, що випромінюється з нього, відповідало монохроматичному жовтому випромінюванню (589 нм), а щілину тестового кольороутворюючого блоку встановлено так, щоб вихідне випромінювання відповідало монохроматичному червоному (671 нм) і зеленого (536 нм) кольору. Інтенсивність випромінювання еталонного кольору змінюється шляхом зміни ширини щілин у блоках, які утворюють цей колір. Тестові кольори отримують шляхом змішування випромінювання від двох щілин на призмі в блоці комбінації кольорів.

Спеціальний гвинт змінює ширину щілини, але додавання одного призводить до зменшення іншого, і навпаки. Положення цього гвинта визначають за шкалою від 1 до 100. Блок комбінації кольорів містить призму прямого огляду та біноклярну призму. Випромінювання від блоку формування кольору потрапляє в блок комбінування кольорів і встановлює тестовий колір у верхній половині поля зору, а еталонний колір — у нижній половині.

Щоб досягти суб'єктивного розпізнавання кольору, суб'єкти коригували поєднання червоного та зеленого у верхній половині поля зору. За значенням на шкалі регульовального гвинта розраховували аномальний коефіцієнт колірного зору досліджуваних. Значення коефіцієнта аномалії за об'єктом належить до певного типу аномалії [17].

Недоліком таких аномалоскопа є монохроматичне випромінювання, отримане при використанні кольороутворюючих блоків коліматорів і щілин. Суб'єкти спостерігають це випромінювання як еталонний колір. Відомо, що монохроматичне випромінювання при контакті з оком викликає швидку втому, спотворюючи результати контролю.

Одиниці еталонного кольору та тестового кольору не дозволяють змінювати довжину хвилі монохроматичного випромінювання, так що точка кольоровості контрольного кольору знаходиться на відрізьку тестового кольору, тому в більшості випадків суб'єкт не може отримати суб'єктивну колірну ідентифікацію, і тим самим збільшуючи похибку вимірювання. Більшим недоліком є неможливість виявити міру похибки вимірювання, не знаючи конкретних даних про аномалію

сприйняття кольору об'єкта, і отримати їх – потрібно виміряти аномалію сприйняття кольору з більшою точністю, ніж сам прилад [17].

Рідше зустрічаються неспектральні аномальні дзеркала, які складаються з двох оптичних каналів з блоками формування кольорів і поєднання кольорів у полі зору об'єкта. ФБ еталонного кольору складається зі змінного фільтра та блоку тестового кольору, утвореного рамкою з чотирьох фільтрів, за допомогою яких можна відтворювати різні кольори при змішуванні. Блок комбінації кольорів складається з куба Люмера та окуляра. Випромінювання від освітлювача надходить у два оптичні канали, де забарвлюється, утворюючи клітинки за кольором, а потім падає на поверхню куба Люмера. Колір тестового кольору змінив тему. Для цього вставляється блок формування тестового кольору так, щоб частина випромінювання освітлювача була покрита одним фільтром, а інша частина — іншим фільтром. Вставлення рамки більш-менш змінює співвідношення кольорів, змішуючи так, щоб він відображав той самий колір, що й еталонний. Значення цього коефіцієнта розраховується на спеціальній шкалі дзеркала аномалії і може характеризувати колірне сприйняття колірного зору суб'єкта. Кольороутворюючі фільтри вибираються таким чином, щоб точки кольоровості еталонного кольору лежали на сегментах, які відображають усі можливі кольори тестового кольору [18].

Недоліком цього дзеркала аномалій є недостатня точність вимірювання і, отже, контроль якості кольорового зору, оскільки воно зосереджено на випадку стандартних калориметричних спостерігачів і виключає випадки відхилень колірного зору, коли контрольна колірна точка дійсно не лежить у відрізьку. Можна виділити наступні типи світлодіодів: DIP; Spider LED; SMD; COB. Світлодіоди типу DIP відносяться до перших, що стали масово продаватися. Вони являють собою кристали, що розміщені в корпусах з лінзою, яка створює світловий пучок. Але, світлодіоди даного типу, рідко використовується у високотехнологічній сфері. Найчастіше їх застосовують як компоненти для освітлення реклами, підсвічування і т.п. Світлодіоди DIP інсталюються на плату, де перед тим треба проробити отвори[19]. Недоліком є обмежений набір фільтрів,

що не дозволяє отримати широкий вибір кольорів для покриття всіх можливих аномалій колірною бачення об'єкта.

Неточність аномальних дзеркал унеможлиблює визначення досить малих відхилень від стандартів сприйняття кольору. Це дуже важливо для осіб, чия робота складається з візуальних спостережень, чиї помилки можуть призвести до надзвичайних ситуацій. Через необхідність порівняння еталонного та тестового кольорів одночасно в полі зору та механічну дію зміни тестового кольору недостатня тривалість вимірювань і ймовірність вимірювань на цьому аномальному дзеркалі. Під час зміни тестових кольорів суб'єкти повинні були запам'ятати колір і пов'язати його з найближчим ідентифікаційним кольором до зміни.

Відомо, що невелика кількість людей володіє короткочасною кольоровою пам'яттю. Крім того, така операція займе деякий час, а тривалість може бути близькою до слабкості кольору, що призведе до принципово невірних результатів, що не має сенсу.

У аномалоскопі, складному процесі вимірювання, суб'єкти повинні проводити порівняння кольорів, оскільки кожен досліджуваний повинен пояснити правильність операції порівняння кольорів і те, що відбувається з тестовими кольорами під час налаштування та контролю часу перед дослідженням, запам'ятати еталонні кольори та запам'ятати правила експлуатації [18].

## 1.5 Постановка задачі

Для досягнення поставленої мети потрібно розв'язати наступні задачі:

- створити метод діагностики зору людини, який дозволить швидко та якісно провести дослідження відхилень стану зору людини, ;
- розробити метод створення мобільної системи діагностики стану зору людини та її архітектуру;
- розробити програмне забезпечення для формування заданого кольору потоку світлового випромінювання на кристалах RGB-світлодіода;

– провести моделювання та експериментальні дослідження запропонованої системи діагностики зору людини та зробити відповідні висновки.

## 1.6 Висновки

Розділ присвячено аналізу існуючих проблем із зором людини. Встановлено, що будова ока є складною оптичною та фізіологічною системою, в якій найменші порушення завдають великої шкоди та незручностей людині. Також це впливає на взаємодію з навколишнім світом та професійну діяльність і придатність до певних професій.

Аналіз існуючих методів та систем діагностики показав, що їм властивий ряд недоліків. Зокрема, складна оптична система, що вимагає спеціальних знань та вмінь з боку персоналу. Використання складних оптичних пристроїв ставить вимоги до відповідного їх розміщення, використання високоточного оптичного обладнання для можливості діагностування з найменшою похибкою.

## 2. МОДЕЛЬ МЕТОДУ ДІАГНОСТИКИ ЗОРУ ЛЮДИНИ

### 2.1 Компоненти системи діагностики зору людини

Основними компонентами кіберфізичної системи діагностики зору людини є RGB-світлодіод, який використовується для створення потоків різної частоти та кольорів, RGB-контролер, за допомогою якого відбувається керування від'ємним виводом джерела живлення, тобто відбуватиметься відключення або підключення відповідного кольору від ланки, блок живлення системи.

Керування зміною кольорами світлодіода може відбуватись дистанційно із використанням пульта дистанційного керування або шляхом програмування RGB-контролер на автоматизовану зміну частоти випромінювання світлодіодів.

Системою діагностики зору людини є можливим визначення стану зору людини та можливості кольоросприйняття. Користування системою діагностики зору людини є досить простим, автоматизованим та не потребує додаткових знань з боку оператора. Людина, зір якої діагностують, із використанням спеціальної панелі фіксує відповідні результати, які записуються у блок пам'яті комп'ютера. Рішення про проблеми із зором людини приймається автоматично на основі отриманих даних.

Для керування RGB-світлодіодами може бути використано наступні підходи:

- регулювання частотою блимання світлодіода та яскравістю кожного з кристалів світлодіода окремо із використанням незалежних ШІМ-контролерів;
- використання одного мікроконтролера із ШІМ-виходами;
- підключення світлодіода до плати Arduino.

Побудована кіберфізична система діагностики зору людини на основі плати Arduino дозволяє автоматизувати процес встановлення потрібного кольору та частоти блимання світлодіода запрограмований відповідним скетчем.

## 2.2 Модель методу синтезу випромінювання різних кольорів RGB-світлодіодом

RGB- світлодіод – три однокольорових кристали, які розташовані в одному корпусі. Кожен з цих кристалів випромінює один колір: R – червоний (red), G – зелений (green), B – синій (blue). Для кожного кристалу підбирається сила струму сигналу живлення, щоб отримати колірну температуру та підбирають шпаруватість імпульсів випромінювання кожного кристалу. Для змішування оптичних випромінювань використовується оптична система (призма). Відключення двох кольорів з трьох (керування від'ємним виводом джерела живлення) дозволить отримати один основний колір (наприклад, зелений, червоний або синій). Для отримання різних кольорів на основі RGB-світлодіода потрібно подавати живлення на кристали світлодіода різної напруги і змішувати їх.

Кольорові методи синтезу кольорів можна поділити на три класи:

- адитивний (RGB);
- субтрактивний (CMY, CMYK);
- перцепційний (HSB, HLS, Lab, YCC).

Метод синтезу кольору, який оснований на змішуванні кольорів світлодіода, має назву адитивний метод змішування кольорів і в його основі знаходиться особливість будови людського ока, а саме будови зорового аналізатора людини. Сітчатка людського ока містить приблизно 7-8 мільйонів колбочок трьох типів і мають можливість сприймати світло у фіолетово-синьому, жовто-червоному та зелено-жовтому частинах спектру. Людина є трихроматом.

На відміну від адитивного методу, субтрактивний метод оснований на формування потоку відповідного кольору шляхом віднімання основних кольорових компонент у різних пропорціях. Білий колір в таких моделях формується у результаті відсутності всіх кольорів. Чорний колір – стовідсоткова присутність кольорів.

Перцепційна модель описує отримання певного кольору шляхом зазначення двох компонент: кольоровості та яскравості. Такі моделі, на відміну від адитивного та субтрактивного методів, є апаратонезалежним.

Для вимірювання кольору використовується XYZ – еталонна модель кольорів, що задана у математичному вигляді Міжнародною комісією по освітленню (фр. Commission internationale de l'éclairage, CIE). Ця модель є основою практично всіх інших моделей, які використовуються у технічній галузі.

Згідно із цією моделлю колір XYZ задається наступним чином (2.1)-(2.3):

$$X = \int_{380}^{780} I(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda, \quad (2.1)$$

$$Y = \int_{380}^{780} I(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda, \quad (2.2)$$

$$Z = \int_{380}^{780} I(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda, \quad (2.3)$$

де  $I(\lambda)$  — спектральна густина певної енергетичної фотометричної величини, таких як, енергетична яскравість, потік випромінювання та ін. у відносному або абсолютному відношенні.

Компонента Y повинна відповідати візуальній яскравості сигналу. Компонента Z повинна відповідати відгуку колбочок ока на короткохвильовий подразник. Компонента X повинна бути невід'ємною. При дії кожної компоненти на колбочки ока формується відповідний відгук і будуються криві відгуку. Нормуються ці криві таким чином, щоб площа фігури під всіма трьома складовими була однаковою. Це дає змогу сформувати однакові координати для білого світла (червона, синя, зелена компоненти відсутні), а отже вони матимуть рівномірні спектри і однакові значення XYZ. Таким чином для визначення тону кольору, необхідно просто відняти рівні значення XYZ. Невід'ємними для всіх

кольорів повинні бути і функції відгуку та координати XYZ. На рис. 2.1 зображено спектральні криві, яким відповідають основні кольори: X – червоний колір, Y – зелений, Z – синій.

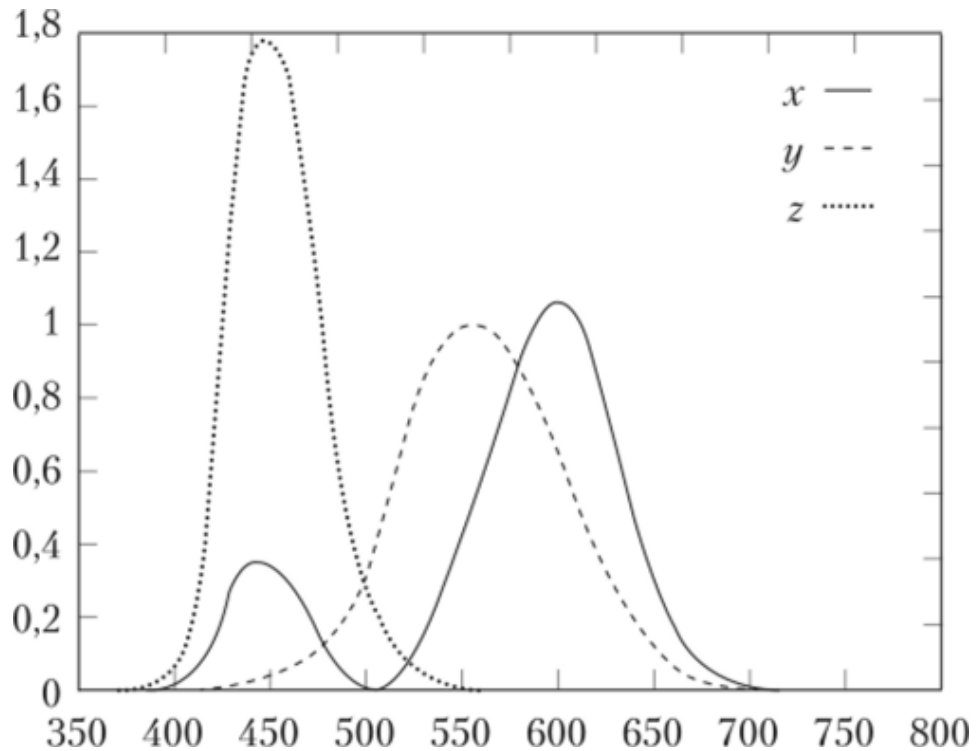


Рисунок 2.1 – Спектральні функції кольорової відповідності

Якщо площиною  $X+Y+Z=\text{const}$  побудувати перетин простору XYZ, то інші дві лінійно-незалежні координати можна записати у вигляді (2.4)-(2.6):

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

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

$$z = \frac{Z}{X + Y + Z}. \quad (2.6)$$

У результаті проведених дій утворюється хроматична діаграма (колірна діаграма), що зображена на рис. 2.2.

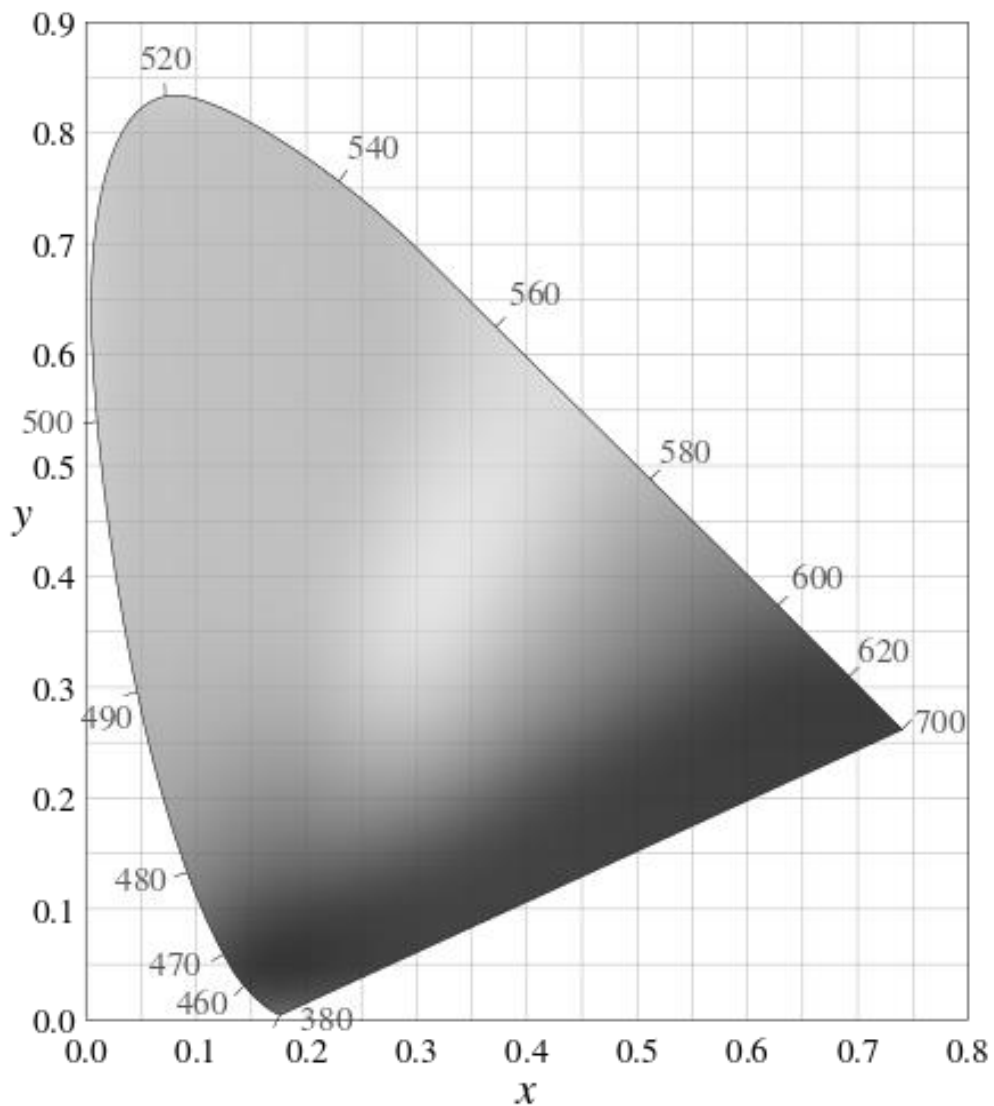


Рисунок 2.2 – Колірна діаграма

На колірній діаграмі у точці  $(X,0,0)$  простору  $XYZ$  відповідає точка  $x_u=(1,0)$ . Точці  $XYZ=(0,Y,0)$  – точка  $x_u=(0,1)$ ,  $XYZ=(0,0,Z)$  -  $x_u=(0,0)$ . З цього можна зробити наступний висновок. Реальні кольори, що отримані у результаті спектрального додавання, не отримуються. Це можна також пояснити і таким чином, що неможливо створити відгук одних типів колбочок не задіявши інші (навіть, якщо ці значення дуже маленькі).

Використовуючи RGB-світлодіоди та перейшовши від XYZ-моделі до RGB-моделі кольору, є можливим синтезувати необхідний колір, шляхом зміни шпаруватості їх випромінювання.

У якості основних кольорів використовуються червоний, синій та зелений. Ці кольори формуються на відповідному кристалі RGB-світлодіода і змішуються у відповідних пропорціях для формування того чи іншого кольору. Частота блимання світлодіода налаштовується більше критичної частоти. Таким чином людина не помічає блимання, а бачить лише потік сформованого кольору, тобто на сітківку ока потрапляє потік випромінювання стабільної ефективності  $B_e$ . Згідно з законом Табольта [24] вона становить середню яскравість за період  $T$  (2.7):

$$B_e = \frac{1}{T} \int_0^T B(t) dt. \quad (2.7)$$

А загальна ефективна яскравість, що досягнута зміною шпаруватості трьох джерел: червоного, синього, зеленого – становить (2.8):

$$B_e = \frac{t_{дч}}{T} B_ч + \frac{t_{дс}}{T} B_с + \frac{t_{дз}}{T} B_з, \quad (2.8)$$

де  $\frac{t_{дч}}{T}$ ,  $\frac{t_{дс}}{T}$ ,  $\frac{t_{дз}}{T}$  – обернені величини до шпаруватості джерел відповідно червоного, синього та зеленого кольору.

А координати кольору можливо з'єднати з координати колірності наступним чином [24](2.9)-(2.11):

$$X_i = N_i C_{xi} x_i, \quad (2.9)$$

$$Y_i = N_i C_{yi} y_i, \quad (2.10)$$

$$Z_i = N_i C_{zi} z_i. \quad (2.11)$$

де  $N_i = t_{ui}/T$  - величина обернена до шпаруватості імпульсів або коефіцієнт заповнення імпульсів  $i$ -ого джерела випромінювання;  $C_{xi}$ ,  $C_{yi}$ ,  $C_{zi}$  - коефіцієнти пропорційності, які призначена для пов'язання координат колірності з відповідними координатами кольору.

Якщо використовується  $h$  джерел основних кольорів для синтезу кольору, то на основі закону Гросмана [25] координати кольору записуються наступним чином(2.12)-(2.14)::

$$X_{\kappa} = \sum_{i=1}^h N_i C_{xi} x_i, \quad (2.12)$$

$$Y_{\kappa} = \sum_{i=1}^h N_i C_{yi} y_i, \quad (2.13)$$

$$Z_{\kappa} = \sum_{i=1}^h N_i C_{zi} z_i. \quad (2.14)$$

Отже, використавши джерела різних основних (червоного, синього, зеленого) кольорів є можливим синтезувати випромінювання іншого кольору. Застосування імпульсних світлодіодів та зміна шпаруватості імпульсу їх джерела сигналу, дає можливість утворити інший колір. Що і використано при формуванні потоків випромінювання у даній дипломній роботі.

### 2.3 Модель колірному зору та колірному простору

Основною функцією ока є можливість сприймати зображення фізичних об'єктів у кольорі. Це є головним фактором можливості пристосуватись до навколишнього середовища.

У сучасних умовах колірний зір є досить важливою складовою повсякденної діяльності людини, так і професійної, зокрема можливість відрізнити об'єкти є невід'ємною функцією ока людини у авіації.

Як було вже зазначено, око людини містить три типи колбочок. Кожен з цих типів колбочок відповідає за сприйняття червоного, зеленого, синього кольорів. При наявності світлової хвилі починаючи з кожної довжини хвилі  $\lambda$  відбувається стимуляція клітин кожного з трьох типів колбочок у відомій мірі. Ці міри представляють у вигляді функцій клітин-колбочок:  $X(\lambda)$ ,  $Y(\lambda)$ ,  $Z(\lambda)$ .

При стимуляції колбочок кожна з них виділяє з усього потоку один з основних кольорів найвищої яскравості та формується біосигнал у мозок людини. Сформовані біосигнали – це точки лінійних функцій  $X(\lambda)$ ,  $Y(\lambda)$ ,  $Z(\lambda)$  і є відповідно відповідями колбочок на стимуляцію потоком випромінювання.

Отже відчуття кольору у людини формується у його зоровій системі на основі стимуляції трьох різних класів колбочок, а для того, щоб описати колірний зір потрібно використати триваріантне сприйняття основних кольорів. Сприйняття кольору кодується на основі трьох основних кольорів і не потребує кодування всіх тисяч рецепторів для кожного із можливих кольорів.

Таким чином сітківка ока є частиною мозку людини і перед тим, як надіслати сигнал у мозок, у сітківці відбувається частина обчислень у трьох шарах клітин. Результат обчислень надсилається у мозок.

Нервові реакції згідно теорії колірному зору можна представити за допомогою схеми, що зображена на рис. 2.3.

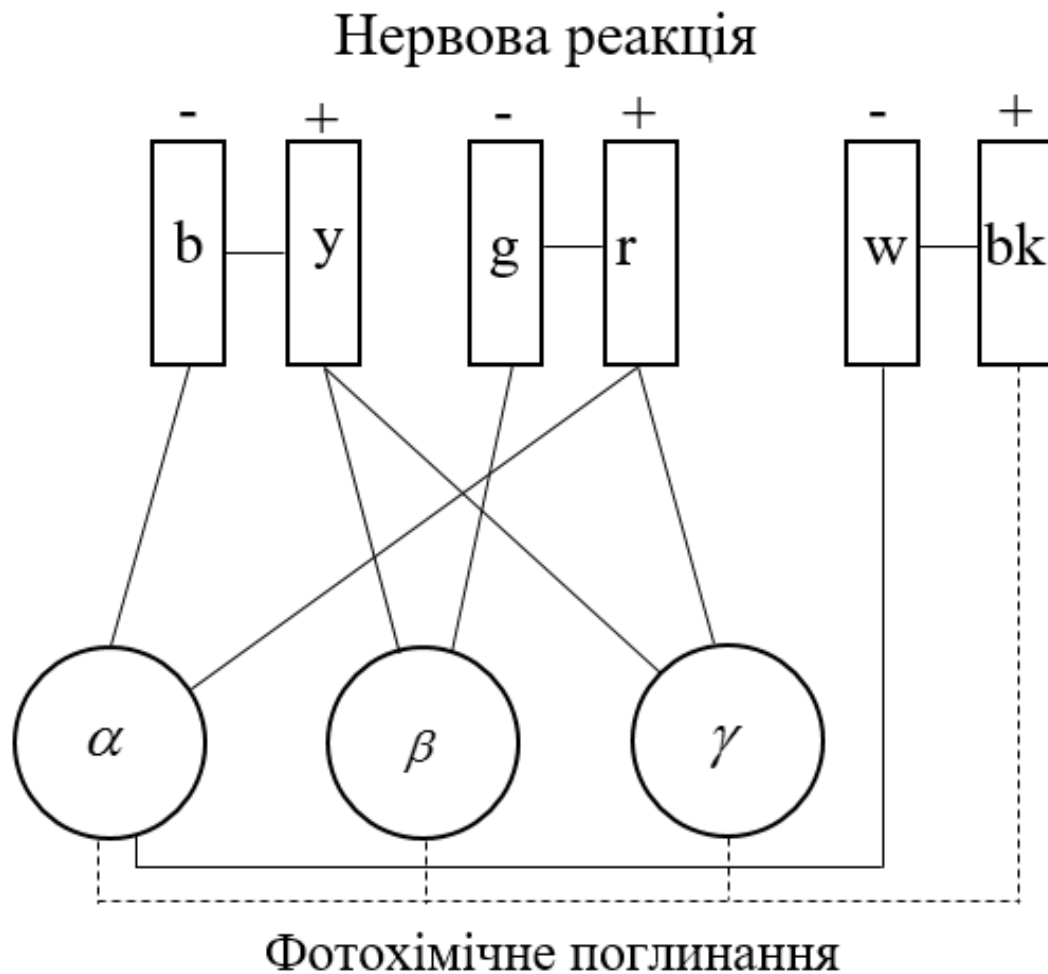


Рисунок 2.3 – Нервові зв'язки згідно теорії колірного зору:

b – голубий, y – жовтий, g – зелений, r – червоний, w – білий, bk – чорний

Для того, щоб визначити в якій мірі той чи інший колір стимулює кожну клітину колбочок, потрібно обчислити інтеграл відносно  $\lambda$  по інтервалу  $[\lambda_{\min}, \lambda_{\max}]$  з  $X(\lambda) \cdot Y(\lambda)$ ,  $X(\lambda) \cdot Z(\lambda)$ ,  $Y(\lambda) \cdot Z(\lambda)$ .

#### 2.4 Висновки

У розділі проведено моделювання синтезу кольорів системою діагностики зору людини. Встановлено, що колір можна розкласти на XYZ еталонну модель. Із використанням цієї моделі є можливим перехід RGB моделі, тобто розкласти колір на його складові. На основі цього розкладання на складові, є можливість

синтезу адитивним методом різних кольорів для подальшого використання в діагностиці зору людини

Також проведено моделювання сприйняття оком людини різних кольорів. Встановлено, що людське око реагує на колір відповідною нервовою реакцією колбочек сітківки ока. Далі ця реакція аналізується та надсилається у мозок людини. Представлено математичний опис процесу нервового відгуку на світловий подразник.

### **3 МЕТОД ТА АРХІТЕКТУРА КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТИКИ ЗОРУ ЛЮДИНИ**

#### **3.1 Основи методу діагностики зору людини**

Для діагностики зору використовують різні методи та діагностики. Запропонована кіберфізична система будується на такій характеристиці ока, як інерційність. Основними кольорами для нашої системи є червоні та зелені.

Показники інерційності нормального ока досить мала. Діапазон частоти при якій око перестає помічати червоні блимання становить 40..42 Гц, для зелених блимань показник вище, 42..45 Гц. Для виявлення дефектів, частота блимання буде знижуватись. При зниженні частоти до показників на якій око перестає помічати блимання до 35...30 Гц і показники на кольорах мають розбіжність більше за норму. Потрібно буде звернутись до лікаря. Також було досліджено, що зменшення чутливості до зеленого кольору властиво людям, око яких має захворювання під назвою глаукома.

При діагностиці визначатиметься критична частота злиття блимання імпульсного світла.

Також за допомогою властивості ока розпізнавати кольори буде діагностувати кольоросприйняття. Для діагностування його буде застосовуватись метод відтворювання тестової підбірки, яка складається з різних кольорів. Дане діагностування допоможе діагностувати дихромазія та колірну амнезію .

На основі отриманих даних буде зроблено відповідні висновки щодо стану зору людини.

### 3.2 Функціональна схема та основні елементи кіберфізичної системи діагностики зору людини

Реалізована система повинна працювати автоматично, автономно-вимірювальний пристрій, що складається з блоку, на виході якого формуються світлові меандри зеленого (довжина хвилі 525 нм) та червоного (довжина хвилі 622 нм) світла.

Виконавча система, залежно від вихідних даних вбудованої системи обчислень та прийняття рішень, зупиняє процес зміни частоти блимання меандрів та запускає процес перевірки ще двічі.

Використовуючи комунікаційний простір, дані, які отримані у результаті проведених вимірювань автономно-обчислювальним пристроєм, надходять до високопродуктивних обчислювальних засобів, центру збору та обробки інформації. Для забезпечення цілісності та надійності даних може використовуватись система захисту інформації та управління доступом інформації.

Дані виводяться на монітор системи, а також передбачається можливість друку інформації на паперовому носії. На рис 3.1 зображена структурну схему кіберфізичної системи, яка містить описані елементи.

Система буде реалізована на базі плати Arduino. Колір, відповідний одному з кольорів фільтра, автоматично відображається за допомогою пристрою що дозволить відтворювати згенерований світловий сигнал. Керування режимами буде здійснюватися за допомогою кнопок. Для виведення параметрів тестування потрібно елемент який буде за це відповідати – індикатор.

Для відтворювання світлового сигналу буде використано світлодіод. Його використання є найефективнішим для даної задачі. Він досить потужний для таких завдань, світлодіодні корпуси оптимізовані для різноманітного використання, а колір випромінювання може бути абсолютно різним. Існує кілька варіантів світлодіодів.

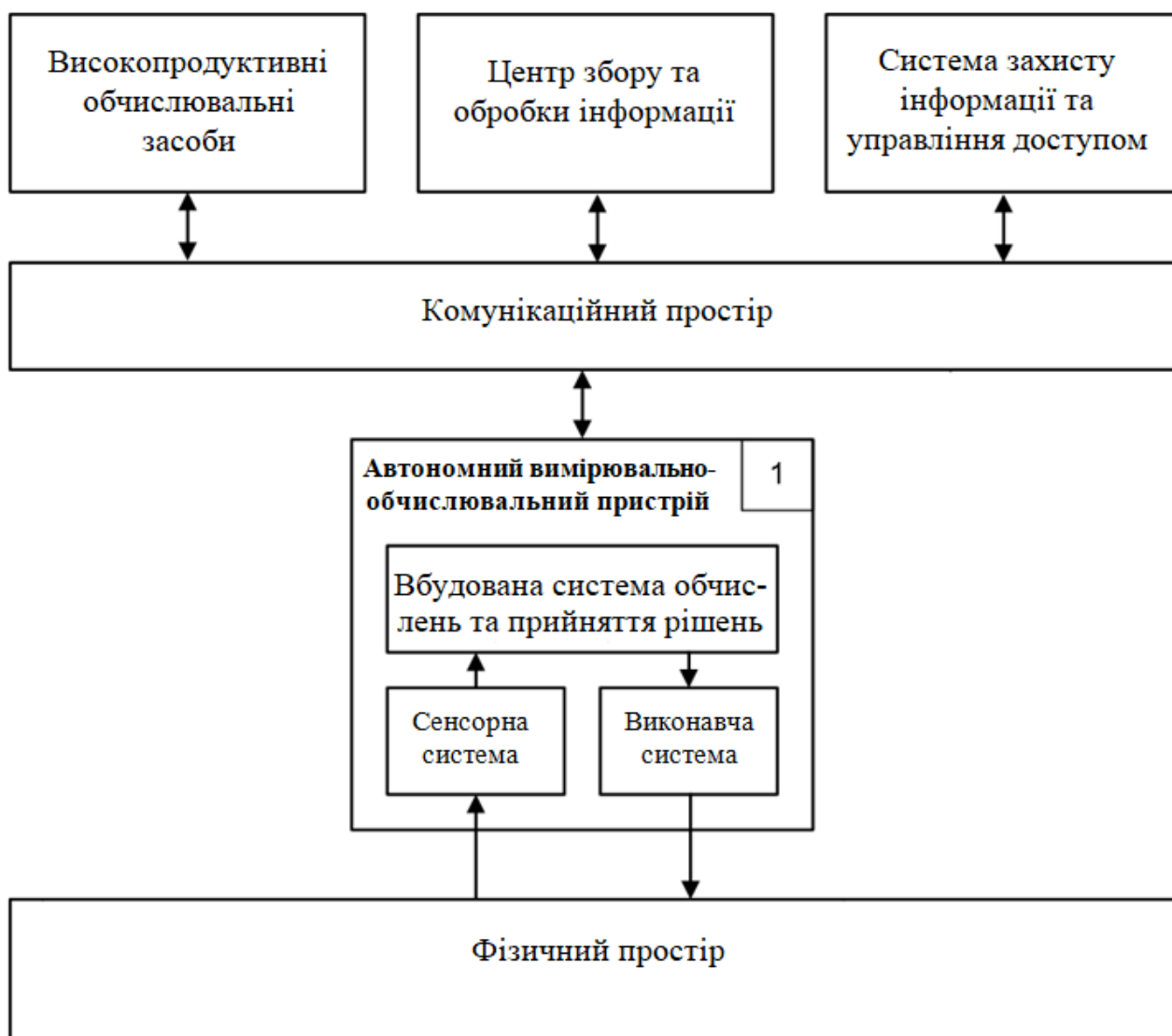


Рисунок 3.1 – Загальна функціональна схема кіберфізичної системи діагностики зору

Випромінювання може бути будь-якого кольору, і виробнику достатньо підібрати певні напівпровідникові та сплавні домішки.

Світлодіоди можна класифікують за рядом характеристик. Світлодіод – це напівпровідник, який перетворює електричний струм у світло. Напівпровідникові кристали, які є одним з важливих компонентів, є багатошаровими і класифікують двома типами провідності – дірковою та електронною. Ця робота відбувається завдяки ковалентним зв'язкам між атомами. Конструкція світлодіода схожа на випрямний діод, котрий складається з двох виводів – катод і анод. Це необхідно для коректного підключення світлодіода полярності до джерела живлення.

Світлодіоди розраховані на 20 мА. Поточне значення можна регулювати, але відповідно змінюватимуться колір і яскравість світлодіодів. У деяких випадках для правильної роботи знадобиться розмістити стабілізатори. Залежно від складу напівпровідника світлодіоди випромінюють червоний, жовтий, зелений або синій.

У зв'язку з високим попитом на данні продукти та їх вартість світлодіоди замінюють традиційні лампи. Використовуючи фільтри, розширюється діапазон світлодіодів з точки зору вибору кольорів. Світлодіоди не мають шкідливого випромінювання.

Основними типами світлодіодів є: DIP; Spider LED; SMD; COB. Світлодіоди типу DIP відносяться до перших, що надійшли в широкий обіг. Даний світлодіод представляє групу кристалів, що розташовані в корпусах з лінзою, котра створює пучок світла. Проте, у високотехнологічній сфері, такі світлодіоди майже не використовують. Зазвичай їх використовують як частини системи підсвічування, освітлення і т.п. Світлодіоди DIP встановлюються на плату, де спочатку пророблюють для них отвори [29].

У даній системі пропонується використовувати RGB світлодіод.

Його принцип роботи полягає у тому, що завдяки оптичному ефекту є можливим отримання різних відтінків кольору шляхом комбінування 3-х основних кольорів.

В основному базовими є використання червоного (R), зеленого (G) і синього (B). Тому він отримав назву RGB світлодіод.

Складається даний світлодіод з 3 кольорових світлодіодів, розміщений в основному корпусі, а точніше дані 3 кристала, розташовані на одній матриці. На рис. 3.2 показано мікрофотографію вбудованого світлодіода RGB.



Рисунок 3.2 – Інтегральний RGB світлодіод

Для розміщення різних варіантів схем керування діоди RGB зазнали кількох модифікацій:

- версія із загальним катодом;
- версія із загальною анодом;
- без загального анода або загального катода з шістьма контактами.

У першому варіанті світлодіоди керуються сигналом позитивної полярності, який подається на анод, у другому – негативний імпульс, що передається на катод. Третя модифікація дозволяє будь-який варіант перемикача і зазвичай доступна як компонент SMD.

Для прикладу подаємо схему підключення діодів RGB SMD5050 до блоку Arduino загального пристрою автоматизації, створеного на базі мікроконтролера ATMEGA.

На рис. 3.3 і 3.4 представлені схеми підключення світлодіодів RGB із загальним катодом і загальним анодом відповідно.

В обох випадках виводи RGB підключені до цифрових виходів (9, 10,12). Загальний катод на рис. 2.3 з'єднаний з мінусом (GND), загальний анод на рис. 3.4 – з плюсом живлення (5V).

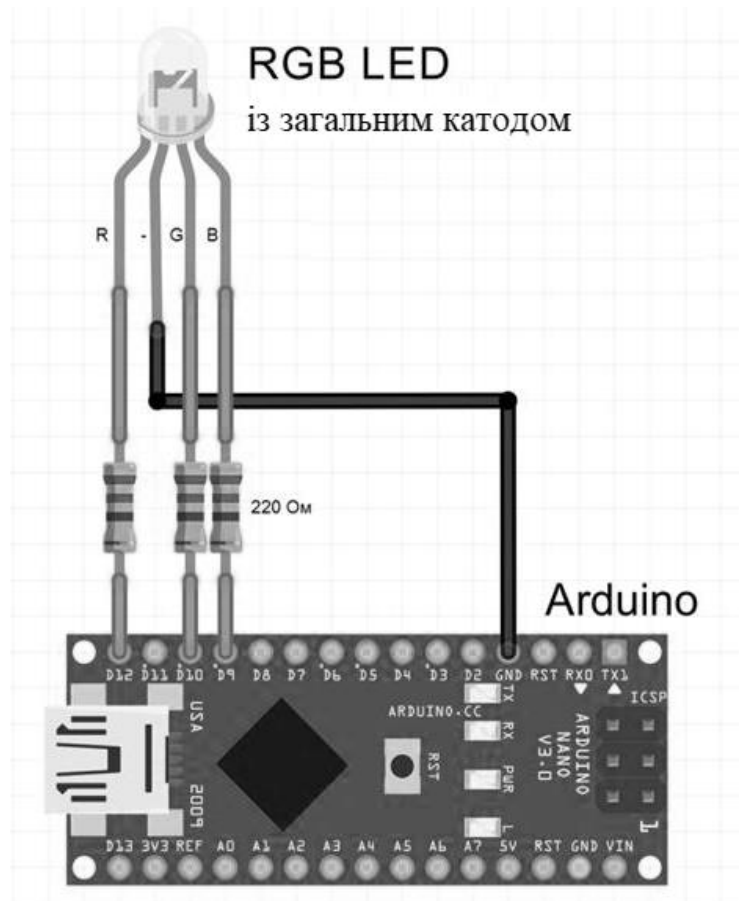


Рисунок 3.3 – Схема підключення із загальним катодом

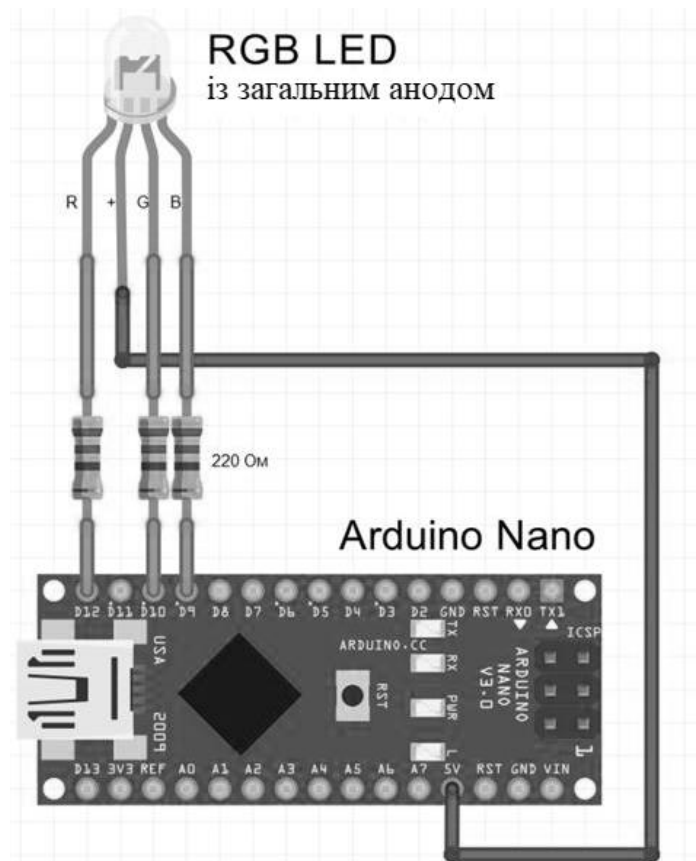


Рисунок 3.4 – Схема підключення із загальним анодом

При проходженні постійного струму світлодіод випромінює світловий потік, коли анод під'єднано до плюса, а катод – до мінуса. Поліхроматичний спектр випромінювання дозволяє одержати, зміну інтенсивності каналів (RGB). Кінцевий відтінок отримують порівнянням світлості кожного кольору. За умови, при якій усі 3 кольори мають однакову інтенсивність, то отриманий колір білий.

Періодичний прямокутний імпульс напруги формується на цифровому виході плати Arduino, як показано на рис. 3.5, зі змінним робочим циклом.

Чим нижча шпаруватість імпульсу каналу, тим яскравіше світіння відповідного світлодіода. Програма для управління шпаруватістю імпульсів кольорного каналу вшита в мікросхему контролера [30].

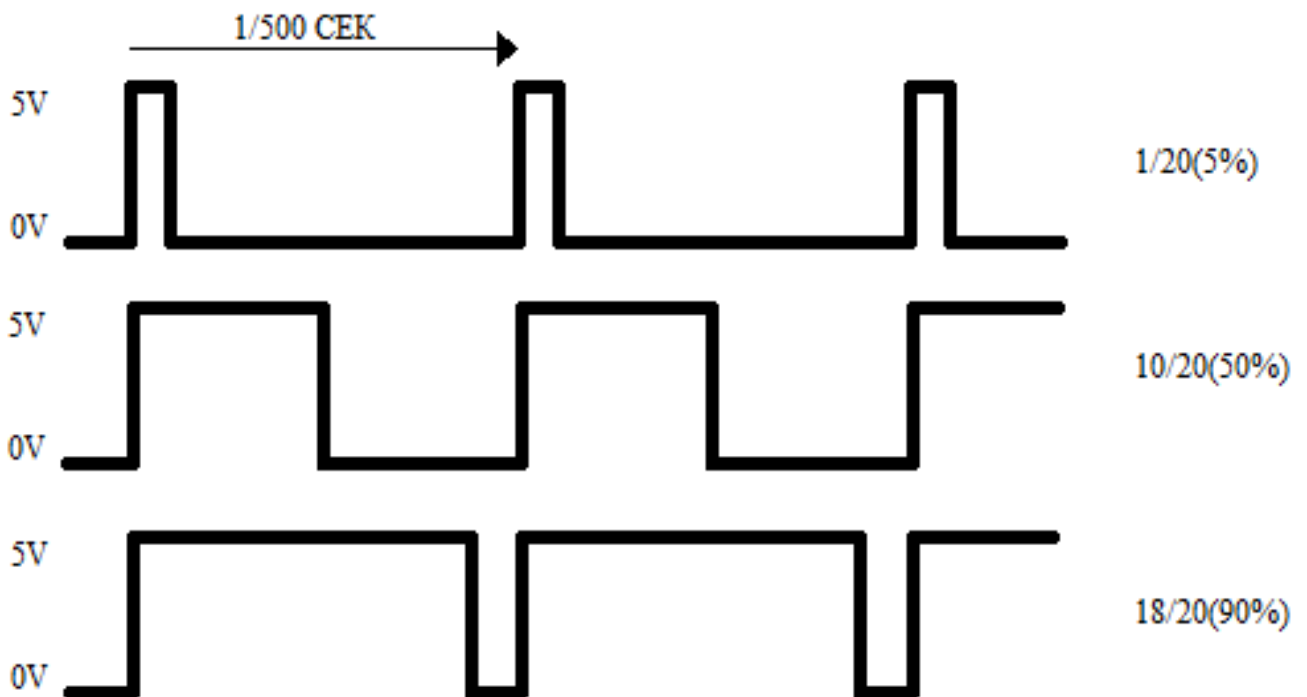


Рисунок 3.5 – Періодичні прямокутні імпульси напруги зі змінною шпаруватістю

Плати Arduino невеликі, з процесором і пам'яттю. Плата складається біля десяти контактів, через які можна підключати різні компоненти: світлодіоди, датчики, двигуни тощо.

Процесор Arduino дозволяє запрограмувати себе на керування підключеними до нього компонентами на основі алгоритму. Arduino популярний завдяки своїй простоті. Кожен, хто займається програмуванням і схемами, може навчитися основам використання Arduino.

Програмний код прописується мовою програмування C++, з деякими функціями для керування вводом-виводом контактів.

Однією з головних індивідуальних рис плат Arduino є наявність плат розширення, що відкриває нові можливості. Для прикладу, підключення до Інтернету, керування двигуном, отримання точних координат і часу із супутників через модуль GPS тощо.

Плати Arduino були внесені в три модифікації:

- Arduino Uno - найпопулярніша модель на даний час;
- Arduino Nano - компактний, майже не поступається попередньому типу;
- Arduino Mega - для серйозних проектів, які вимагають більше можливостей для підключення [31].

Arduino Uno є найпопулярнішою та доступною платою Arduino.

Він заснований на чіпі ATmega - в останній версії Arduino Uno R3 - це ATmega328.

Arduino Uno — найкращий варіант для початку роботи з платформою: вона зручного розміру (не такий великий, як Mega, не такий маленький, як Nano), вона дуже доступна через велику кількість випусків різноманітних клонів, у ньому є багато написаних безкоштовних навчальних посібників та ескізів. У таблиці 3.2 наведено характеристики даної плати.

Зображення плати Arduino UNO наведено на рис. 3.6.

Arduino - це відкрита платформа. Будь-який користувач може завантажити схему з офіційного сайту або з форумів та самостійно скласти на основі контролера ATmega.

Необхідні електронні компоненти можна придбати дешево в багатьох місцях, сайтах, що займаються їх реалізацією.

Підключення різних девайсів до плати реалізується завдяки підключенню до контакту, розміщеним на платі контролера: одного з цифрових або аналогових контактів або контактів джерела живлення.

Простий світлодіод можна підключити за допомогою двох контактів: заземлення (GND) і сигнального (або силового контакту).

Таблиця 3.2-Характеристики Arduino Uno

Характеристика	Arduino Uno R3
Мікроконтролер	ATmega32
Робоча напруга	5
Напруга живлення	7-12
Цифрові входи/виходи	14 (із них 6 можуть використовуватись в якості ШІМ-виходів)
Аналогові входи	6
Максимальний струм одного виводу	40 мА
Максимальний струм на виході при 3.3В	50 мА
Flash-пам'ять	32 КБ (ATmega328) із яких 0.5 КБ використовуються загрузчиком
SRAM	2 КБ (ATmega328)
EEPROM	1 КБ (ATmega328)
Частота	16 МГц

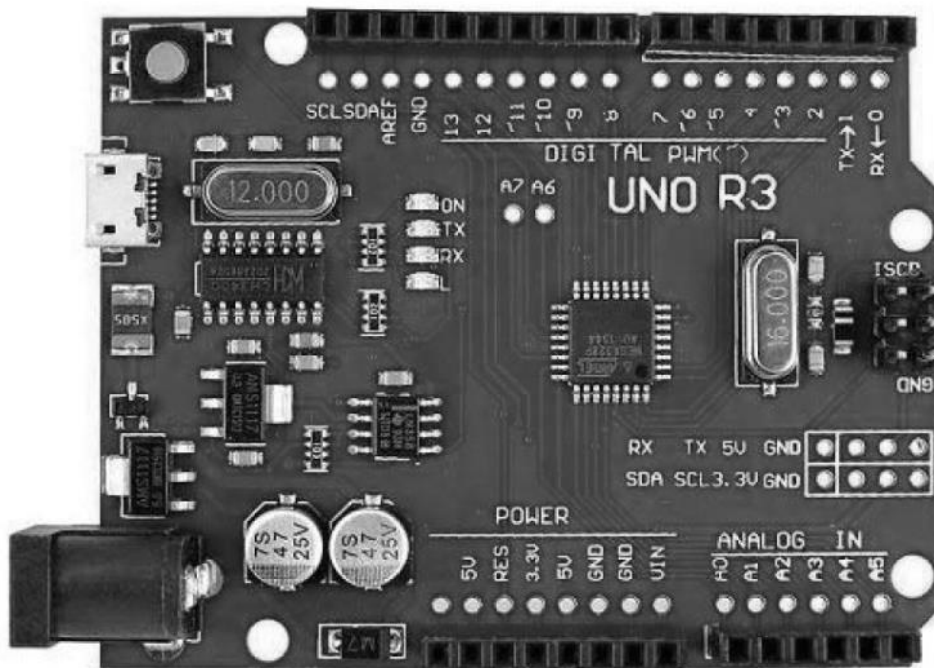


Рисунок 3.6 – Зовнішній вигляд плати Arduino UNO

Для найпростіших датчиків потрібно не менше трьох контактів: два живлення і один сигналу.

Плата Arduino UNO працює від напруги 5 В. На борту є стабілізатори напруги, живлення може відбуватись від різних джерел. Також, плата може житися від USB-пристрою. Звідки надходить живлення обирається автоматично.

Живлення від зовнішнього адаптера, рекомендована напруга від 7 до 12 В. Максимальна напруга становить 20 В, але значення вище 12 В, швидше за все, дуже швидко приведуть плату до несправності. Напруга нижче 7 В може викликати нестабільну роботу, оскільки вхідний каскад може легко втратити 1-2 В. Живлення можна підключити за допомогою вбудованого роз'єму постійного струму 2,1 мм або прямого входу VIN для підключення джерела за допомогою проводів.

Живлення від USB-порту комп'ютера. Блок живлення 5 В підключається безпосередньо до контакту 5 В. У цьому випадку вхідний регулятор обходиться і навіть найменша перенапруга може викликати проблеми з виробом.

Піни живлення:

- 5V - на цей пін Arduino подає 5 В, його використовують для живлення зовнішніх пристроїв;
- 3.3V - на цей пін від внутрішнього стабілізатора подається напруга 3.3 В;
- GND – заземлення;
- VIN - пін подачі зовнішнього напруги;
- IREF - пін інформування зовнішніх пристроїв про робочу напругу плати.

Плати Uno за замовчуванням підтримують три типи пам'яті:

- flash - 32 кБ пам'яті. Це головне сховище для команди. Коли ви прописуєте контролер зі своїм ескізом, він буде написаний тут. 2 Кб цього пулу пам'яті виділено для завантажувача - програми, яка ініціалізує систему, завантажується через USB і запускає скетч;
- оперативні пам'ять SRAM розміром 2 кБ. В ній за замовчуванням зберігаються змінні та об'єкти, створені під час виконання програми. Ця пам'ять споживає енергію, і, звичайно, всі дані будуть стерті при вимкненні живлення;
- незалежної пам'яті (EEPROM) розміром 1 кб. Тут зберігають дані, які не будуть видалені при вимкненні контролера. Проте процес запису та читання EEPROM вимагає застосування додаткової бібліотеки, яка за замовчуванням доступна в Arduino IDE. Важливо пам'ятати про обмежену кількість циклів перезапису, властиві технології EEPROM.

Можливі модифікації, при якій плата Uno може підтримувати пам'ять більших розмірів, ніж стандартна версія. Однак для їх використання знадобляться додаткові бібліотеки [32].

Для програмування контролера Arduino, необхідно встановити середовище програмування. Найпростіший варіант - встановити безкоштовну Arduino IDE, яку ви можете завантажити з офіційного сайту.

Сам скетч зазвичай являє собою нескінченний цикл, в якому пін періодично опитується підключеними датчиками, і за допомогою спеціальних команд формує керуючий вплив на зовнішні пристрої (включаються або вимикаються). Програмісти Arduino можуть взаємодіяти з готовими бібліотеками, які вбудовані в IDE і доступні на численних веб-сайтах і форумах.

Написана та скомпільована програма завантажується через USB-з'єднання (UART-Serial). З боку контролера за цей процес відповідає завантажувач [26].

Карти SD і microSD можуть значно розширити функціональність проектів Arduino, які працюють з великими обсягами даних: реєстратори даних, метеостанції, системи розумного дому. Плата Arduino оснащена відносно невеликою внутрішньою пам'яттю, до 4 КБ, включаючи флеш-пам'ять і EEPROM. Цієї пам'яті недостатньо для запису великої кількості даних, особливо якщо плата постійно вимикається або вимикається. Підключення SD-карти Arduino як зовнішнього накопичувача дозволяє додати сховище для будь-якої інформації. Знімні накопичувачі SD недорогі, прості в підключенні та прості у використанні.

Використання пам'яті SD в Arduino не представляє труднощів. Найпростіший спосіб – зв'язати готовий модуль і скористатися стандартною бібліотекою.

Використання готових модулів має багато переваг. Це простий і зручний інструмент для роботи з великими обсягами даних, всі роз'єми підписані прямо на платі. На рис. 3.7 показаний зовнішній вид модуля призначених для MicroSD карт.

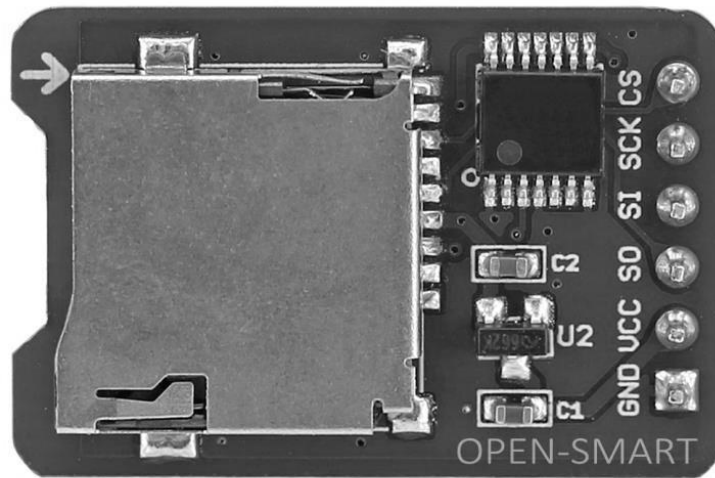


Рисунок 3.7 – Модуль для MicroSD

Універсальний модуль – це звичайна плата, на якій можна побачити слоти для карт, резистори та стабілізатори напруги. В таблиці 3.3 наведено технічні характеристики даного модуля.

Таблиця 3.3-Характеристики модуля для MicroSD

Характеристики	Модуль для MicroSD
Діапазон робочих напруг	4,5-5 В
Підтримка SD карти	до 2 Гб
Струм	80 мА
Файлова система	FAT 16

Модуль SD-карти реалізує функції зберігання, читання та запису інформації, необхідної для нормальної роботи пристрою на базі MCU.

У дешевих модулів карт пам'яті є свої мінуси. Наприклад, найдешевші та популярні моделі підтримують лише карти об'ємом до 4 Гб, а більше частина всіх

модулів дозволяють записувати файли до 2 ГБ на SD-карті – обмеження файлової системи FAT, що використовується в більшості моделей.

Також мінусом карт пам'яті є тривалий час запису, але є способи збільшити його швидкість. Щоб цього досягти, використовують хешування, при якому дані спочатку накопичуються в ОЗП, а згодом всі разом завантажуються на карту пам'яті [33].

Підключення SD і microSD до Arduino. Зазвичай використовують два типи карт - microSD і SD. Вони ідентичні за з'єднанням, структурою та процедурою, але відрізняються за розміром. Перед початком роботи рекомендується повністю відформатувати картку. Нові карта вже відформатовані і готова до використання, а для використання старої карти, найкраще відформатувати її у файлової системі Arduino.

Щоб підключити карту застосовують 6 контактів, що взаємодіють через інтерфейс SPI. Він виглядає як роз'єм на передній поверхні з шістьма контактами на платі. Для з'єднання карти потрібен контролер, модуль карти і 6 проводів. Також є режим SDIO, але він складніший у реалізації і погано сумісний з Arduino. SPI легко налаштувати для всіх мікроконтролерів, тому рекомендується.

Цифрові контакти підключаються таким чином: для карт Arduino Nano або Uno контакти MOSI підключаються до D11, MISO до D12, SCK до D13, 46 CS до 4, VCC до +5 В, .GND до GND. На платі є роз'єми для підключення до 3,3 і 5 вольт. Блок живлення самої карти 3,3 вольт, тому простіше використовувати мікроконтролер з таким же блоком живлення, інакше потрібен перемикач рівня напруги. На рисунку 3.10 наведена схема підключення модуля microSD.

При підключенні SD-карти необхідно враховувати відповідність контактів SPI для різних типів карт Arduino.

Отже, підключити карту пам'яті SD до Arduino і застосувати її в проекті не так складно. В Arduino IDE є готові бібліотеки і різні модулі. За допомогою карт пам'яті можна зібрати та зберегти великий об'єм даних для подальшого аналізування [34].

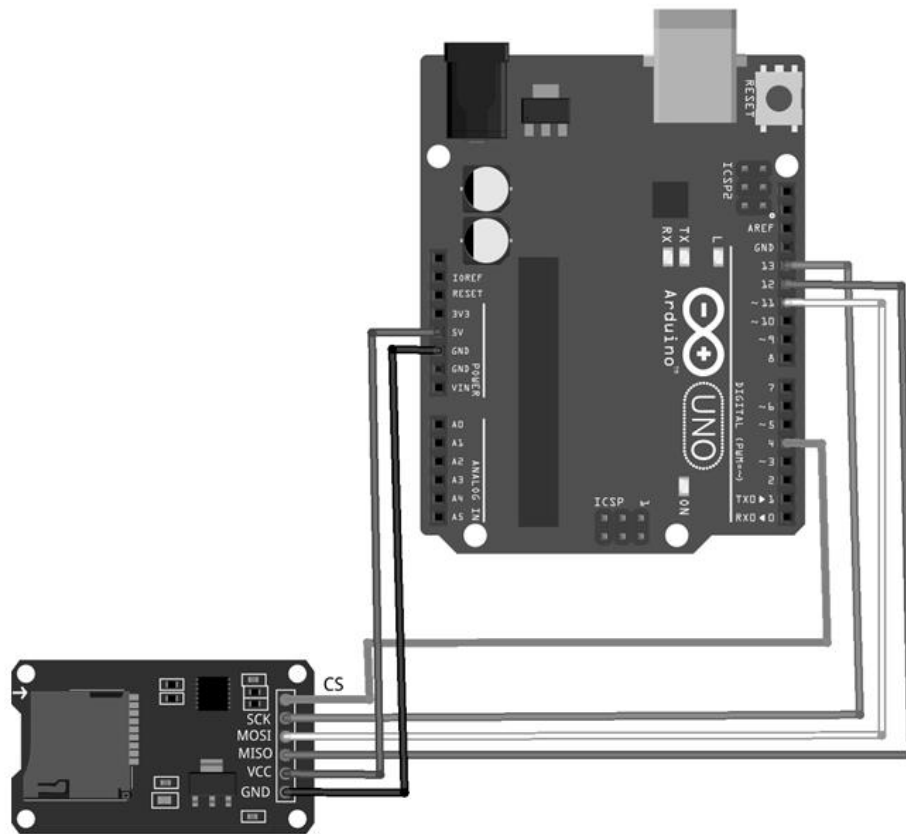


Рисунок 3.8 – Схема підключення адаптера до Arduino

Для керування процесами, які відбуваються за допомогою запропонованої системи, використовують кнопки керування. Кнопки (або кнопкові перемикачі) - найпростіший і легкий у використанні з усіх типів датчиків. При натисканні на котру, ви сигналізуєте контролеру, який щось робить: включає світлодіод, видає звук, запускає двигун.

Кнопка, являється доволі простим пристроєм, який вмикає і вмикає живлення. Ви можете виконати це блокування/розблокування в 47 різних режимах, із заблокованим місцезнаходженням або без нього. Тому всі кнопки можна розділити на дві основні категорії:

- кнопки перемикачі з фіксацією. Вони повертаються в початковий стан після того, як їх відпустили. При залежно від початкового стану поділяють на нормально-замкнуті і нормально-розімкнуті кнопки;
- кнопки без фіксації (тактові кнопки). Вони фіксуються і залишаються в тому положенні, в якому їх залишили.

Різновидів кнопок достатньо, для даній системі буде використана кнопка SMD 4 в металевому корпусі. Вигляд кнопки представлено на рис 3.9.

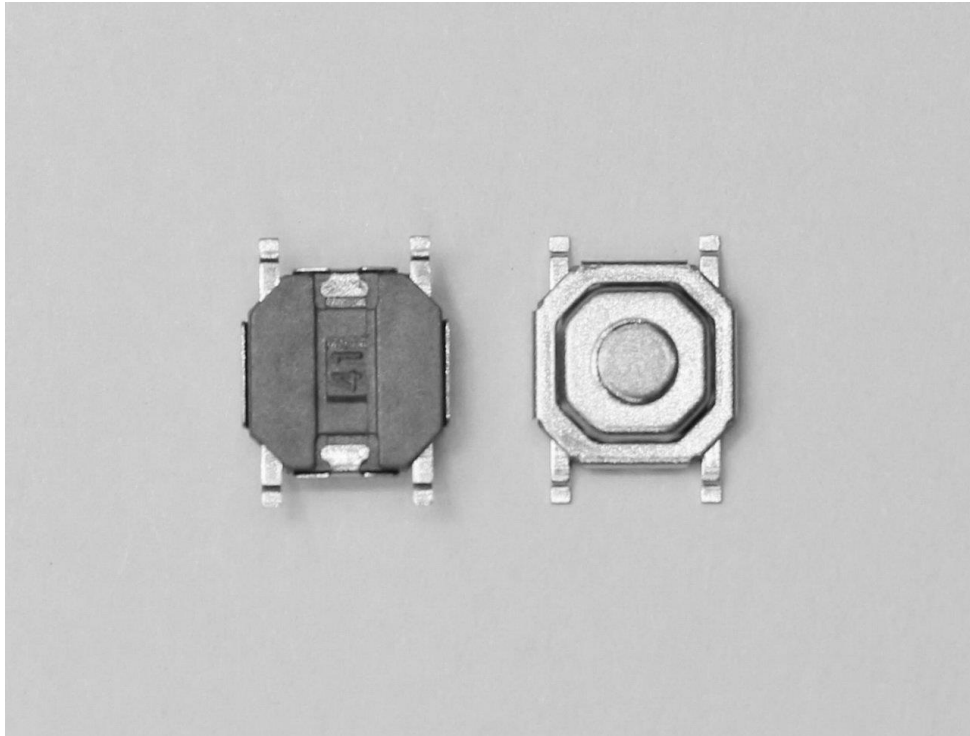


Рисунок 3.9 – Зображення кнопки SMD 4

Підключення відбувається із використанням кнопки до Arduino, щоб була можливість прочитати її стан на ескізі. Для цього потрібно скористатись такою схемою [30]. Схема підключення наведено на рис 3.10.

Для відображення інформації про поточний стан системи запропоновано використовувати дисплей. Дисплей вміщує 20 символів в 4 рядки. Побудований на базі чіпа сумісного з HD44780, що дозволяє працювати з ним через стандартну бібліотеку LiquidCrystal. Кирилиця не підтримується, однак це не є суттєвим показником для даної системи.

Дисплей містить 4 рядки по 20 символів. Побудований на чіпі, сумісному з HD44780, що дозволяє використовувати його через стандартну бібліотеку LiquidCrystal. Кирилиця не підтримується, але це не важливий показник для цієї системи.

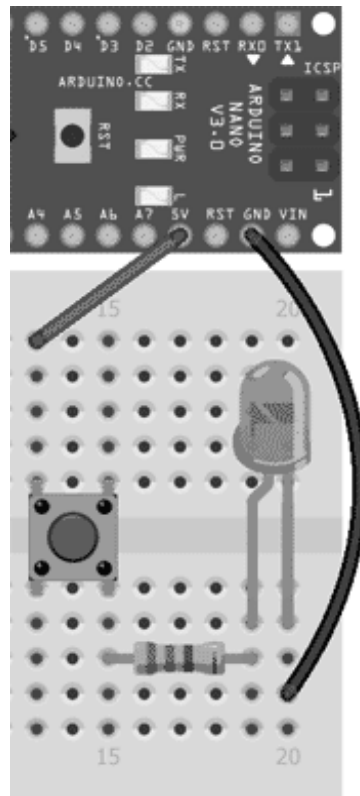


Рисунок 3.10 – Схема підключення кнопки до плати Arduino

Підключити просто, як і більшість подібних моніторів на цьому контролері. Монітор використовується у вісьмирозрядному та чотирирозрядному режимах. На рис. 3.11 показано, як дисплей підключений до плати Arduino UNO [30].

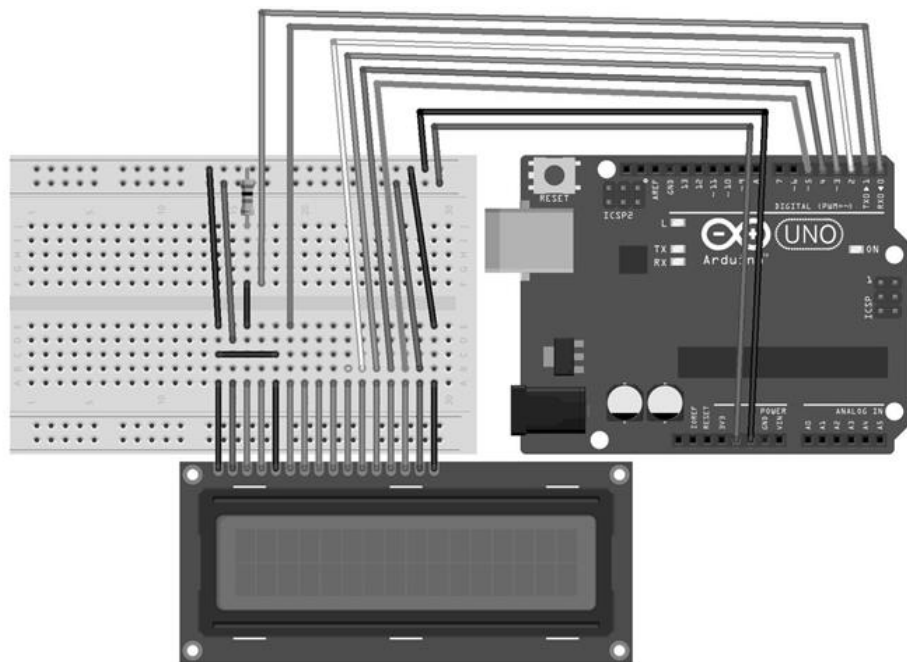


Рисунок 3.11. Схема підключення LCD дисплея

### 3.2. Висновки до розділу

Цей розділ містить функціональні схеми системи, що описують принцип роботи системи в поєднанні з обраними електронними компонентами.

Вибір бібліотек елементів, які необхідні для функціонування системи, та опис кожної з них та технічні характеристики.

Кожен компонент підібраний таким чином, щоб він добре поєднувався з іншими елементами та задовольняв необхідні потреби.

## 4 ДОСЛІДЖЕННЯ РЕАЛІЗАЦІЇ МЕТОДУ ДІАГНОСТИКИ ЗОРУ ЛЮДИНИ

### 4.1 Будова та принцип роботи кіберфізичної системи діагностики зору людини

Кіберфізична система діагностики зору має за мету спростити процес діагностики, дозволити виявити відхилення від норми автоматизовано, завчасно та з високою точністю.

Запропонована кіберфізична система діагностики зору, складається з фізичних пристроїв, котрі одночасно взаємодіють виконуючи свої безпосередні функції, що забезпечує стабільну, налагоджену роботу кіберфізичної системи. Систему можна розглядати як набір різних пристроїв, систем, датчиків.

На основі запропонованого методу діагностики розроблена система, яка дозволить автоматично виявляти вади зору. На рис. 4.1 зображено узагальнену структурну схему кіберфізичної системи діагностики.

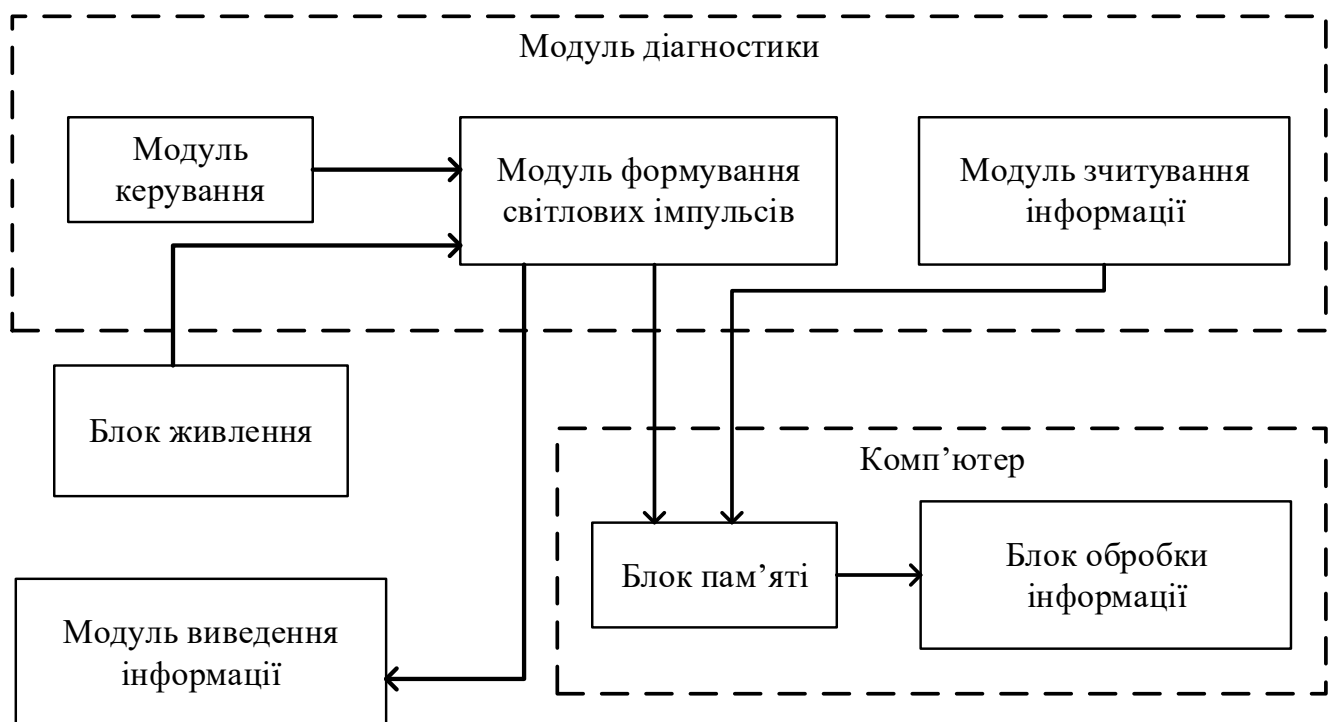


Рисунок 4.1 – Узагальнена структурна схема кіберфізичної системи діагностики зору людини

Представлена система складається з чотирьох основних компонентів:

- модуль діагностики;
- комп'ютер;
- блок живлення;
- модуль виведення інформації.

Модуль діагностики складається з трьох модулів: модуля керування, модуля формування світлових імпульсів, модуля зчитування. Ці відповідають за проведення діагностування зору.

Модуль керування відповідає за проведення повного діагностування. Його основна задача це перемикання режимів діагностики, повторний запуск діагностики.

Задача модуля формування світлових імпульсів це генерування світлових імпульсів різних частот та кольорів. Це дозволяю застосовувати два методи діагностики в одній системі.

Модуль зчитування інформації відповідає за зв'язок системи і пацієнта. Даним модулем є панель з кольорових кнопок, які відповідають за тестування розпізнання кольорів. Під час діагностики людина натискає на кнопку відповідного назви кольору, який вона відтворюється на світлодіоді, якщо жодний з кольорів не відповідає кольору діода, натискається кнопка пропуску.

Комп'ютер відповідає за опрацювання всіх вхідних даних, які поступають з модуля діагностики. На блок пам'яті надходять данні про сформовані світлові імпульси, тобто який колір відтворений, його частота і відклик з модуля зчитування інформації. Отримані данні надходять до блок обробки інформації, який обробляє всі отримані результати. В результаті отримується звіт з відповідями досліджуваного, внаслідок якого роблять висновок про стан зору.

Для більшої інформативності під час діагностики на модуль виведення інформації буде виводитись значення частоти з яким мигає світлодіод при діагностуванні розпізнавання частоти. При діагностуванні розпізнавання кольору буде виводитись номер кольору одного з дванадцяти який виводиться на даний момент часу. На блок-схемі рис 4.2 наведено алгоритм роботи системи.

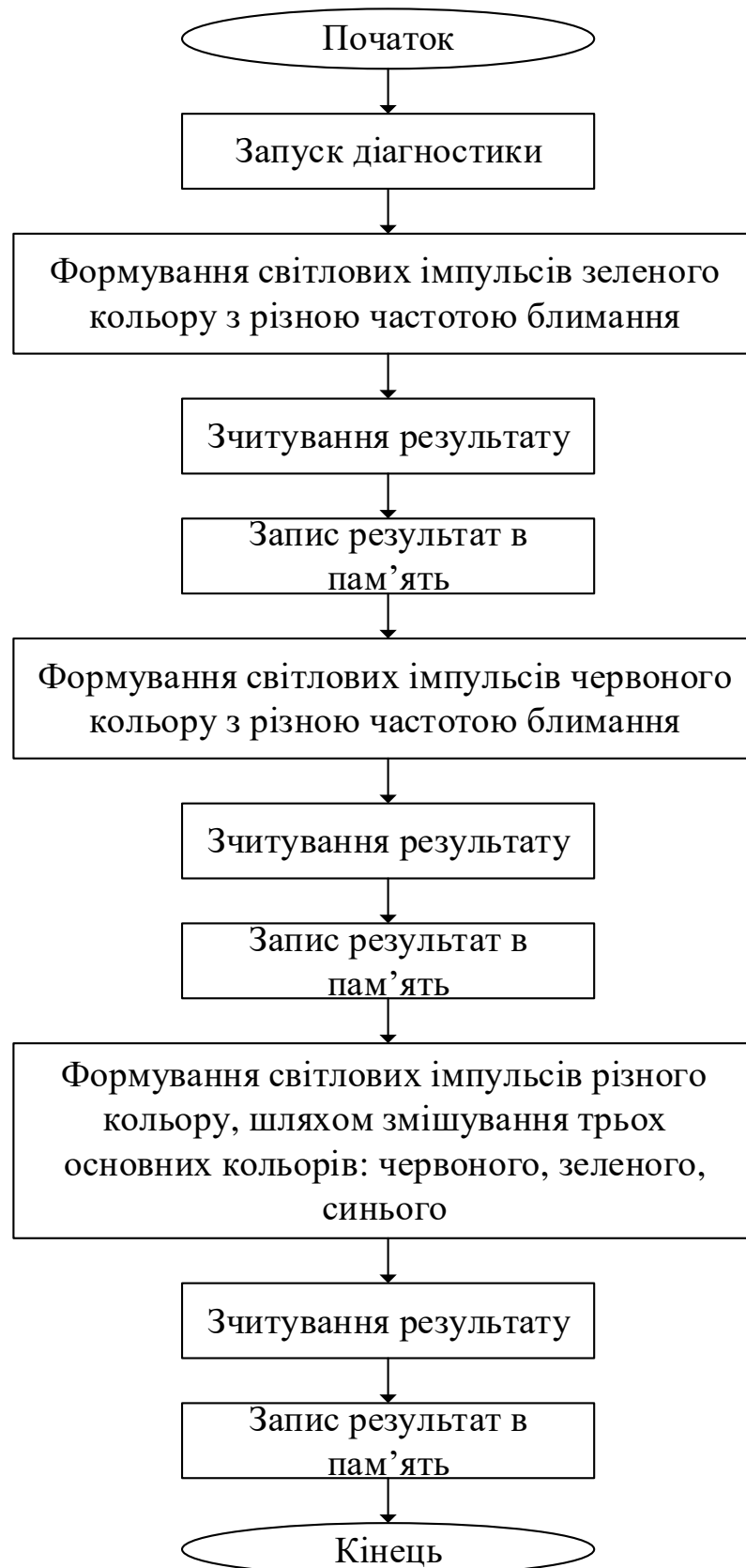


Рисунок 4.2 – Алгоритм роботи системи діагностування

Розроблена система дозволяє поетапно провести три діагностики, що дозволяє провести більш широке діагностування ока без звернення до лікаря. Тобто проводиться діагностування розпізнавання мигання червоного, зеленого кольорів та розпізнавання дванадцяти різних кольорів.

Після запуску системи, починається діагностування зору. Першою проводиться діагностика розрізнення частоти з якою формується світлові імпульси зеленого кольору. Частота змінюється з певним кроком, поки вона не досягне свого максимуму.

Якщо під час діагностування людина перестає помічати миготіння світлодіоду, вона натискає на відповідну кнопку. Результат даного дослідження, а саме частоту миготіння яку діагностований перестав помічати, записується в блок пам'яті. Аналогічні дії виконуються при діагностуванні з світловими імпульсами червоного кольору.

При запуску третього етапу діагностування, система випромінює світло певного кольору. Всі кольори для тестування задані в певній послідовності та відтворюють один за одним. Піддослідний спостерігає за відтворюваними кольорами та натискає на кнопку кольору який він спостерігає. В пам'ять записуються відповіді та порівнюються номер кольору та відповідь досліджуваного.

#### 4.2 Будова модуля діагностики

В основі роботи запропонована розробка модуля формування світлового сигналу та його принцип роботи. Модуль складається з плати Arduino Uno, кнопки керування, RGB-світлодіод, LED-екран та модуля microSD. Всі пристрої модуля підключено до плати через макетну плату, що дозволяє чітко бачити контакти та піни, до яких вони під'єднані. Схема модуля наведена на рис 4.3.

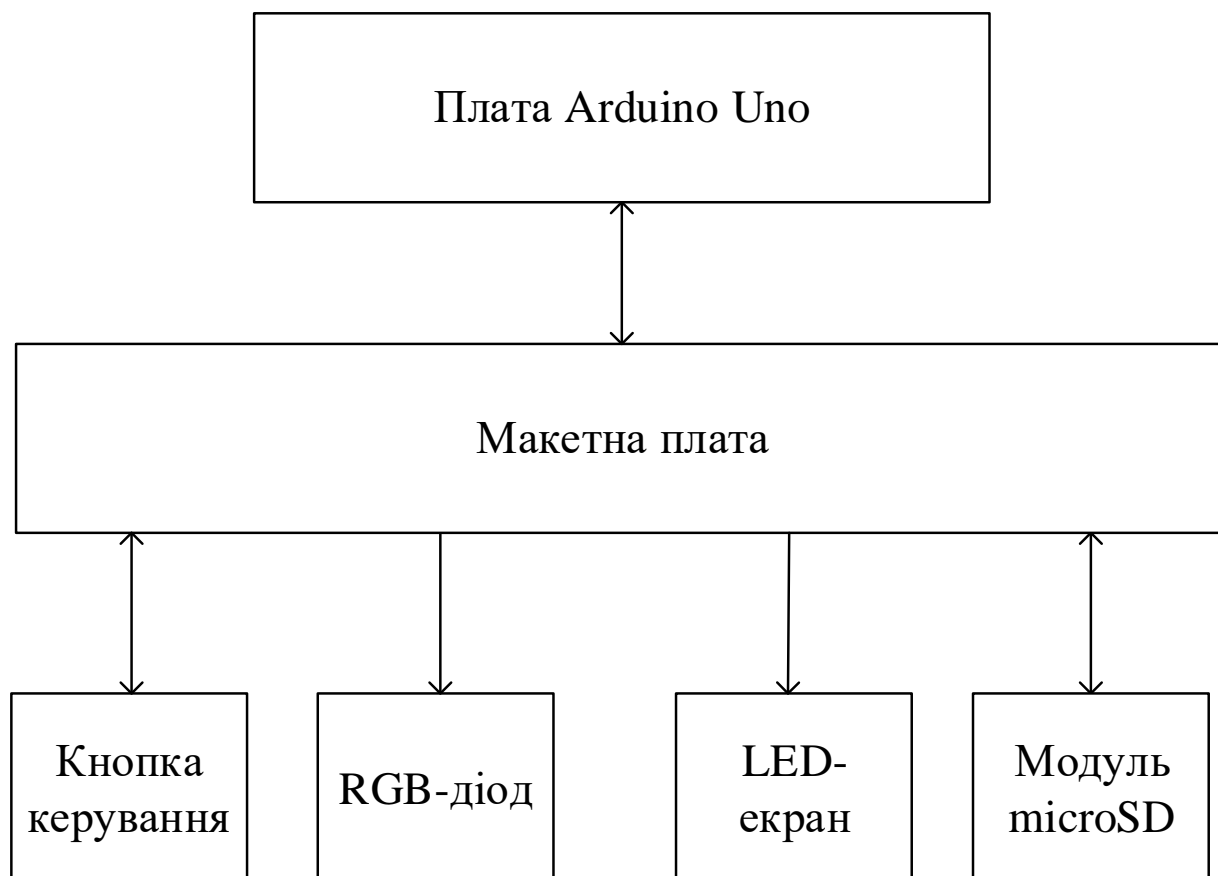


Рисунок 4.3 – Схема модуля формування світлового сигналу

Використавши програму Fritzing було побудовано систему на базі Arduino, що дозволило зібрати та перевірити систему без наявності фізичної системи.

З рис 4.4 бачимо що на базі даних елементів можливо зібрати фізичну версію пристрою. Також потрібно зауважити що для майбутніх покращень потрібно буде застосувати шини I2C, також для інших модифікацій або підключень можливе використання більшої плати.

На рис. 4.4 також зображено використання резисторів для кнопки та світлодіода, для того щоб позбутися електричного шуму який міг давати перешкоди та забезпечити чітку роботу кнопки та світіння світлодіоду.

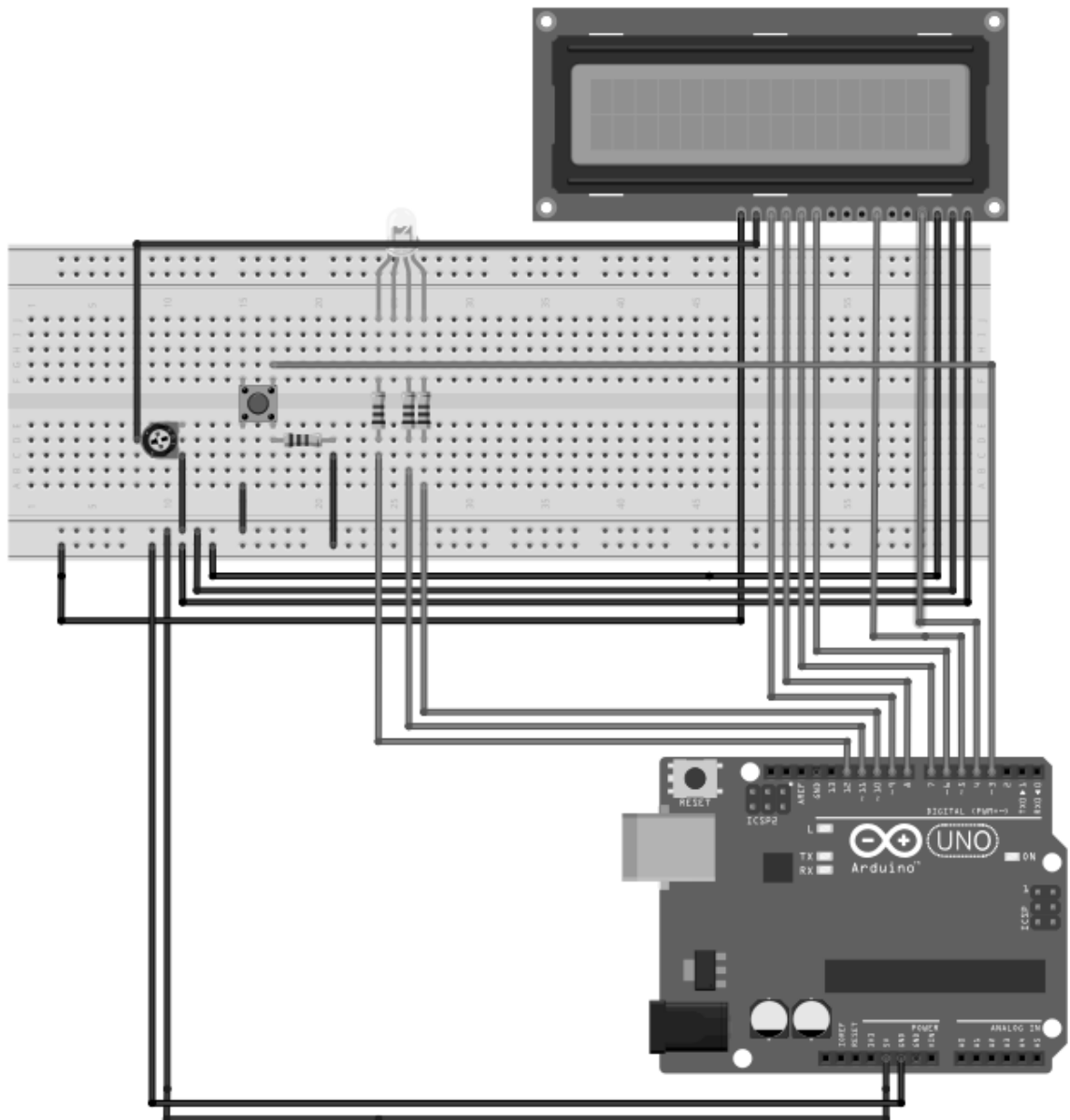


Рисунок 4.4 – Зовнішній вигляд модуля в Fritzing

Недоліком даного моделювання порівняно з фізичним, в тому що немає можливості підключити модуль I2C до LED-дисплею. Що значно спростить підключення дисплею до плати при фізичному моделюванні, за рахунок зменшення контактів з 11 до 4. Та звільнить піни для інших модернізацій.

При фізичному моделюванні також RGB-діод буде замінено на RGB-модуль, який містить в собі вбудований резистор, що дозволить забезпечити компактність пристрою.

Також було розроблена електрично принципова схема, яка дозволяє наглядно побачити всі з'єднання. Зображено через які піни з'єднано присторої, що дозволить зібрати фізично даний модуль із заданими параметрами. Данна схема зображена на рис. 4.5.

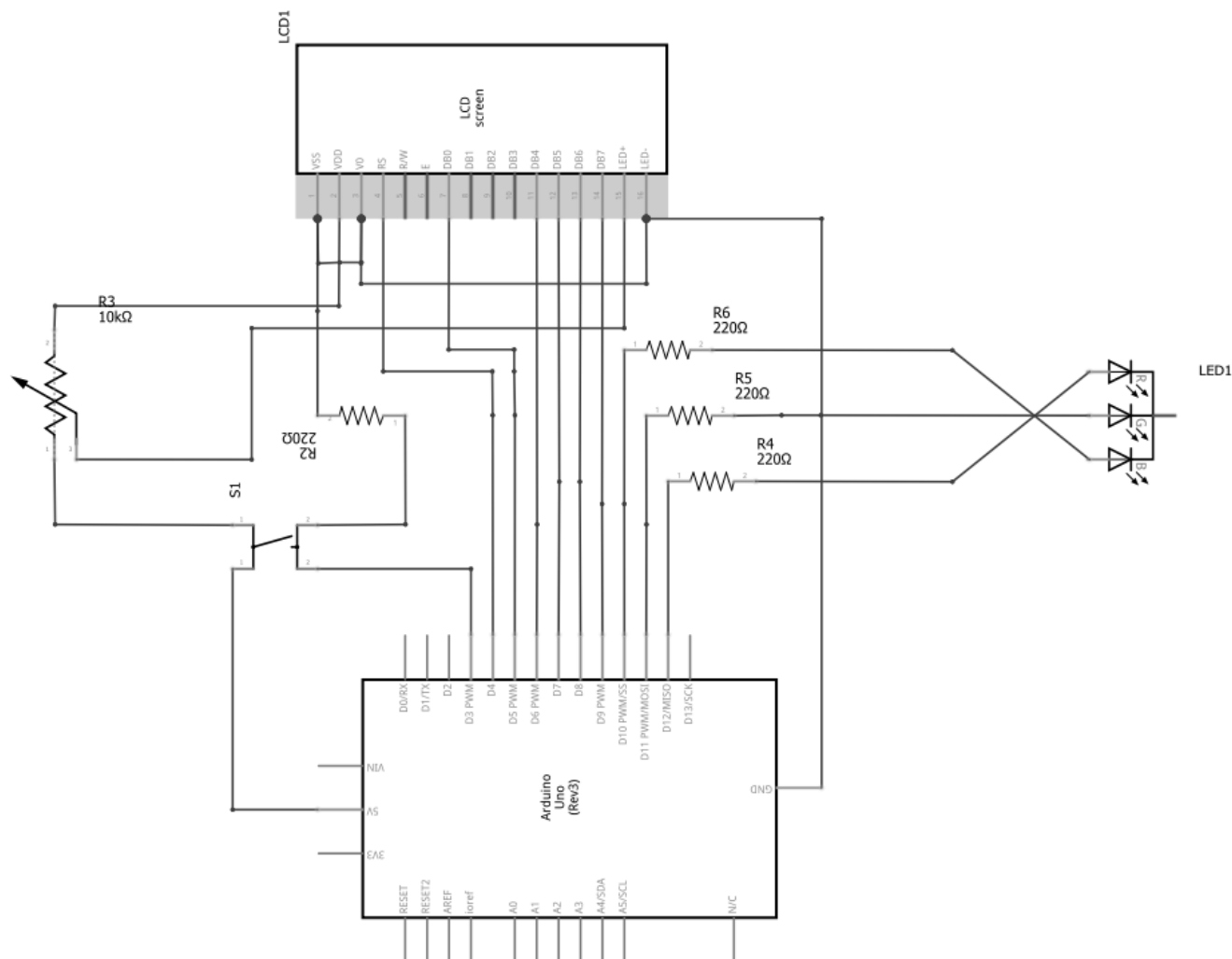


Рисунок 4.5 – Електрично-принципова схема модуля

Для реалізації генерування світлових сигналів зеленого кольору використовується алгоритм. Запропонований алгоритм наведений на рис. 4.6 дозволяє перевірити справність діоду, правильність під'єднання контактів та протестувати розпізнання зеленого кольору автономно, так як при даному алгоритмі частота буде змінюватися автоматично. Перед початком діагностики

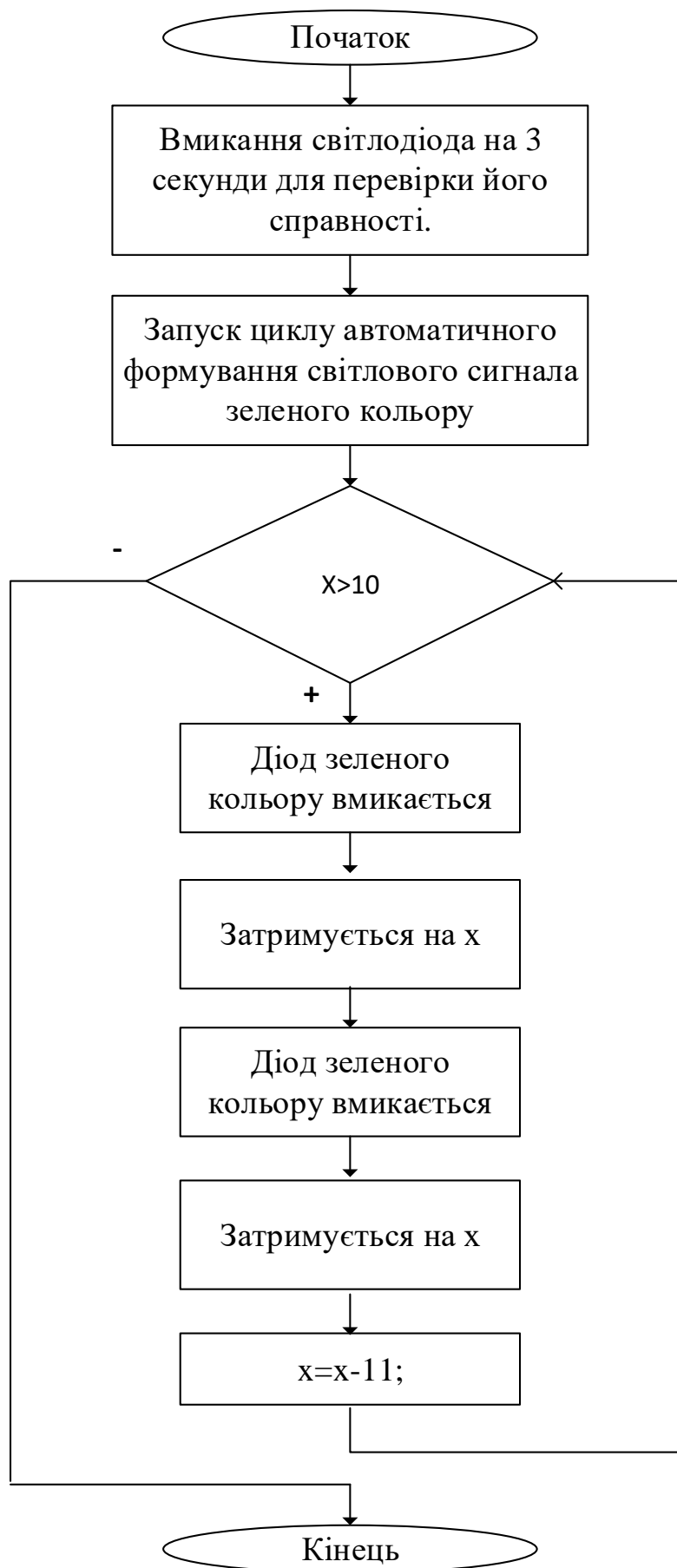


Рисунок 4.6 – Алгоритм роботи генерування світлового сигналу зеленого кольору

Перед початком діагностики проводиться тестовий запуск діоду і перевірка роботи зеленого кольору, для цього на пін номер 11, подається сигнал. Даний сигнал активує світлодіод на 3 секунди, після чого вимикається. Фрагмент коду перевірки показаний нижче рис. 4.7.

```
pinMode(ledgreen, OUTPUT);
digitalWrite(ledgreen, HIGH);
delay(3000);
digitalWrite(ledgreen, LOW);
```

Рисунок 4.7 – Фрагмент коду встановлення частоти блимання зеленого кольору світлодіоду

Після цього запускається автоматичний цикл. В фрагменті коду оголошена глобальна змінна ledgreen якій присвоєно значення пину 11, який відповідає зеленому кольору. Змінна x оголошена загальною, значення якої x=1000, що рівно 1000 мс, тобто одній секунді. Щоб досягнути потрібних частот миготіння. Код реалізації представлений на рис. 4.8.

```
if(x>10)
{
digitalWrite(ledgreen, HIGH);
delay(x);
digitalWrite(ledgreen, LOW);
delay(x);
x=x-11;
}
```

Рисунок 4.8 – Фрагмент коду встановлення зміни частоти блимання зеленого кольору світлодіоду

Щоб досягнути потрібного збільшення частоти миготіння змінна x зменшуватиметься на 11 мс. Даний крок дозволить в кінці зупинитися на частоті 90Гц.

Після завершення даного циклу, так як Arduino послідовно, система завершить регенерувати світлові імпульси на зеленому світлодіоду і перейде до циклу генерування світлових сигналів для червоного світлодіоду. Для перевірки правильності підключення контактів до відповідних пінів, оголошена глобальна змінна `ledred` який присвоєно значення 13 пін, Змінні `ledred`, `ledgreen` оголошені глобально для швидкої зміни змінних, що дозволить не редагувати весь код, через можливе перепідключення на інші піни діоду. Відповідний код перевірки наведений на рис. 4.9.

```
pinMode(ledred, OUTPUT);  
digitalWrite(ledred, HIGH);  
delay(3000);  
digitalWrite(ledred, LOW);
```

Рисунок 4.9 – Фрагмент коду встановлення частоти блимання червоного кольору світлодіоду

Алгоритм роботи аналогічний до роботи цикли генерування зелених імпульсів. В даному випадку вже буде перевірятися справність та підключення контакту який відповідає за червоне світло, пін 13.

Після виконається всі аналогічні дії, як в циклі генерації зеленого світла, тільки в даному випадку використовується змінна `u` для задання часу затримки. Даний цикл реалізовано за допомогою такого коду на рис. 4.10.

```
if(y>10)
{
digitalWrite(ledred, HIGH);
delay(y);
digitalWrite(ledred, LOW);
delay(y);
y=y-11;
}
```

Рисунок 4.10 – Фрагмент коду встановлення зміни частоти блимання червоного кольору світлодіоду

На рис. 4.11 представлений алгоритм, що відповідає за генерування світлових імпульсів червоного кольору.

Виконавши дану перевірку система переходить до фінального тесту. Першим етапом обирається напрямок в якому будуть синтезуватися кольору. Після чого на мікроконтролер задаються значення шпаруватості контролера синтезуючого поля для червоного, зеленого та синього кольору у відповідності з вибраним напрямком синтезу.

Після чого формуються світлові імпульси заданої шпаруватості, що дозволяє відтворити потрібні для тестування кольори. При тому якщо потрібний колір не відтворився даний цикл повторюється для його виконання. Після цього проводиться розрахунок координат кольору і похибка шпаруватості контролера кольору.

Ці дії будуть виконуватись поки не відтвориться всі кольори з тестового списку. Алгоритм роботи наведений на рис. 4.12.

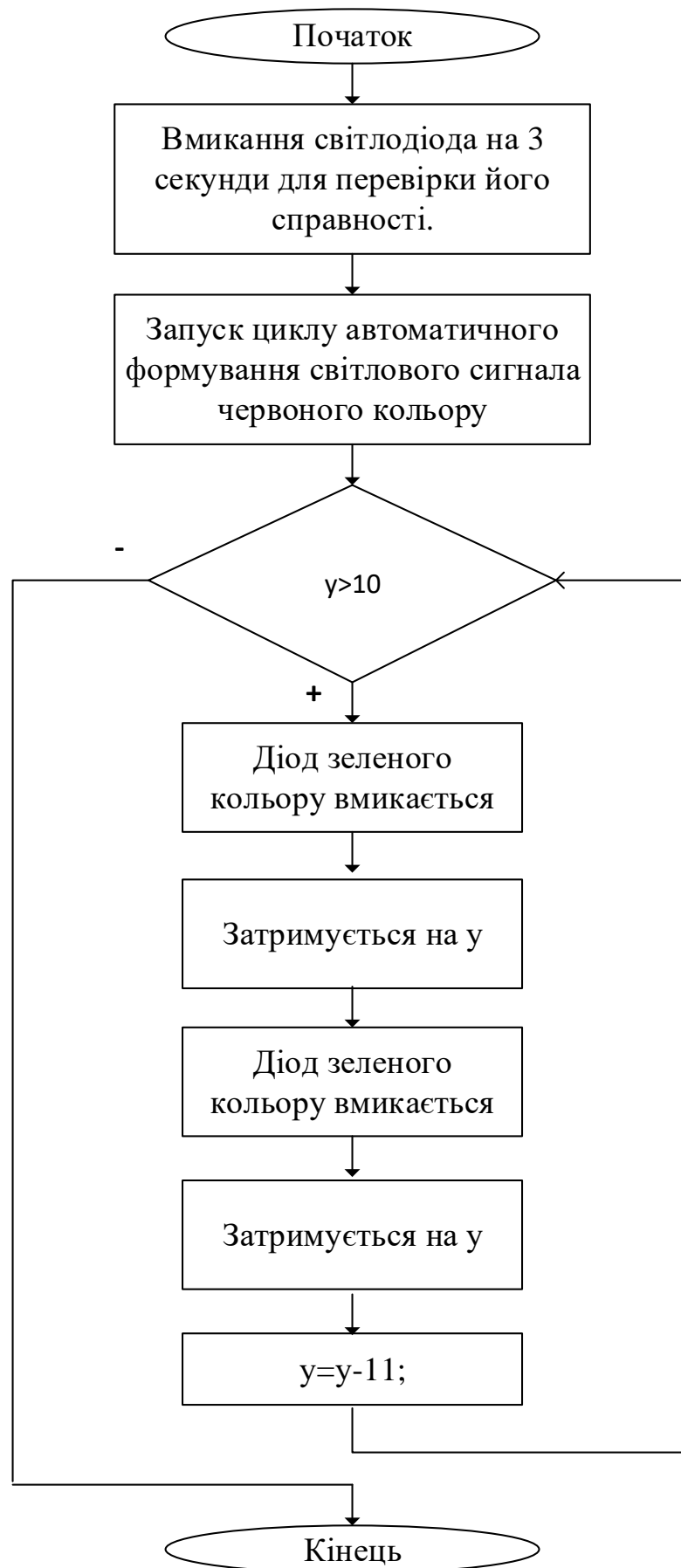


Рисунок 4.11 – Алгоритм роботи генерування світлового сигналу червоного кольору

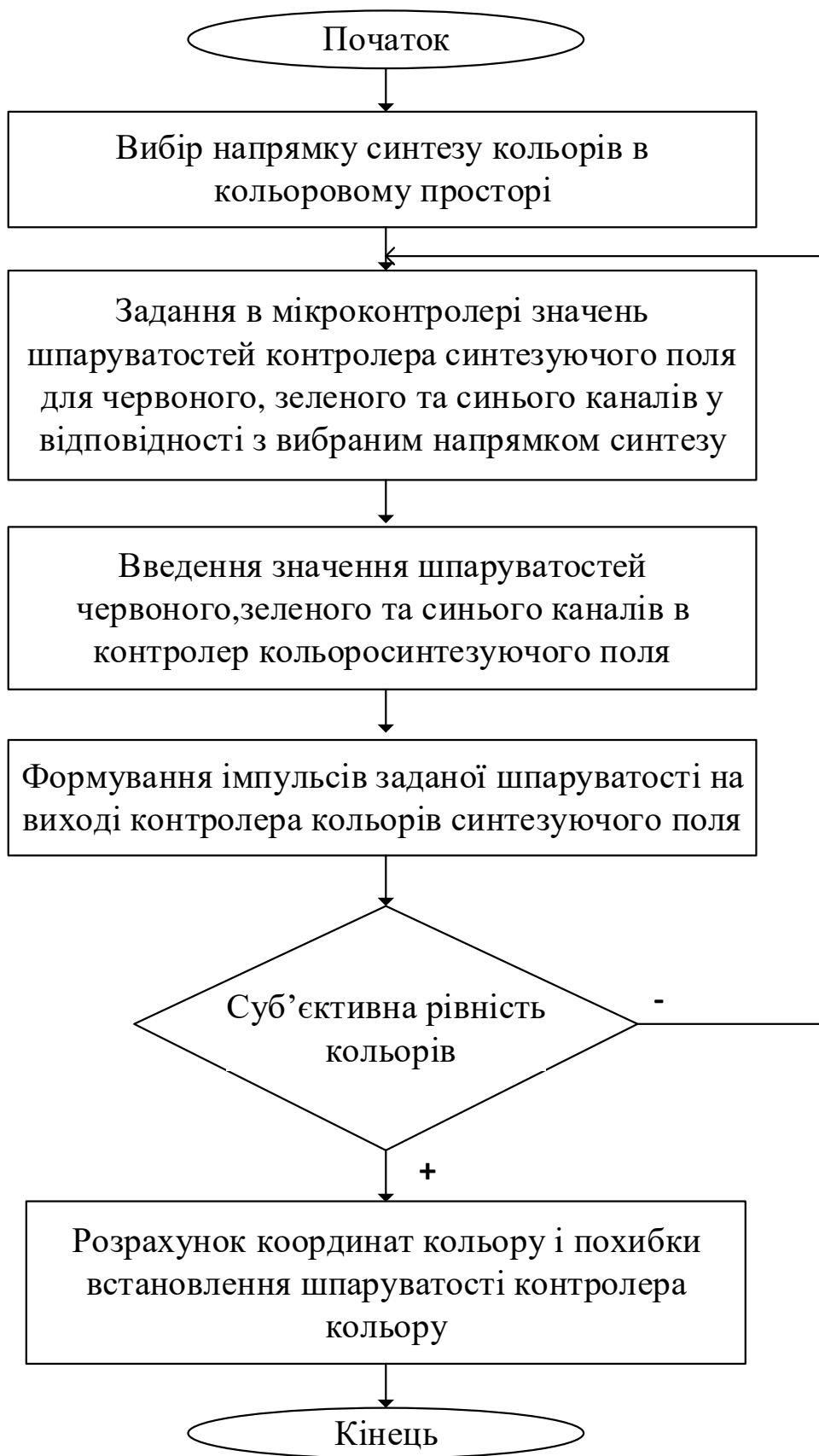


Рисунок 4.12 – Алгоритм синтезу заданого кольору

Тестовий набір кольорів складається з 9 кольорів. Щоб відтворити їх на діоді, на кожний контакт світлодіоду, який відповідає червоний, зелений і синій кольори будуть подаватися задані частоти які дозволять відтворити певний колір.

Данні кольори будуть генеруватися послідовно і відобразатимуться на світлодіоді. Для наочності на кожний колір був підключений осцилограф. В таблиці 4.1 наведено параметри синтезованих кольорів.

Таблиця 4.1 – Параметри основних кольорів для проведення тестування

Колір	Десятковий код основного кольору		
	Червоного	Зеленого	Синього
Чорний	0	0	0
Зелений	0	255	0
Синій	0	0	255
Червоний	255	0	0
Жовтий	255	255	0
Сірий	128	128	128
Фіолетовий	255	0	255
Блакитний	0	255	255
Білий	255	255	255

Для підключення осцилографу було використано tinkercad. Тестування розпочинається з відтворення червоного кольору на RGB-світлодіоді. В коді програми було задано параметри для кожного контакту світлодіода, код для червоного кольору зображено на рис 4.13.

```
//red
analogWrite(red,255);
analogWrite(green,0);
analogWrite(blue,0);
delay(1000);
```

Рисунок 4.13 Фрагмент коду для синтезу червоного кольору

Перша осцилограма це осцилограф під'єднаний до червоного контакту, друга до зеленого і третя до синього кольору відповідно. Результат отриманої осцилограми на рис. 4.14.

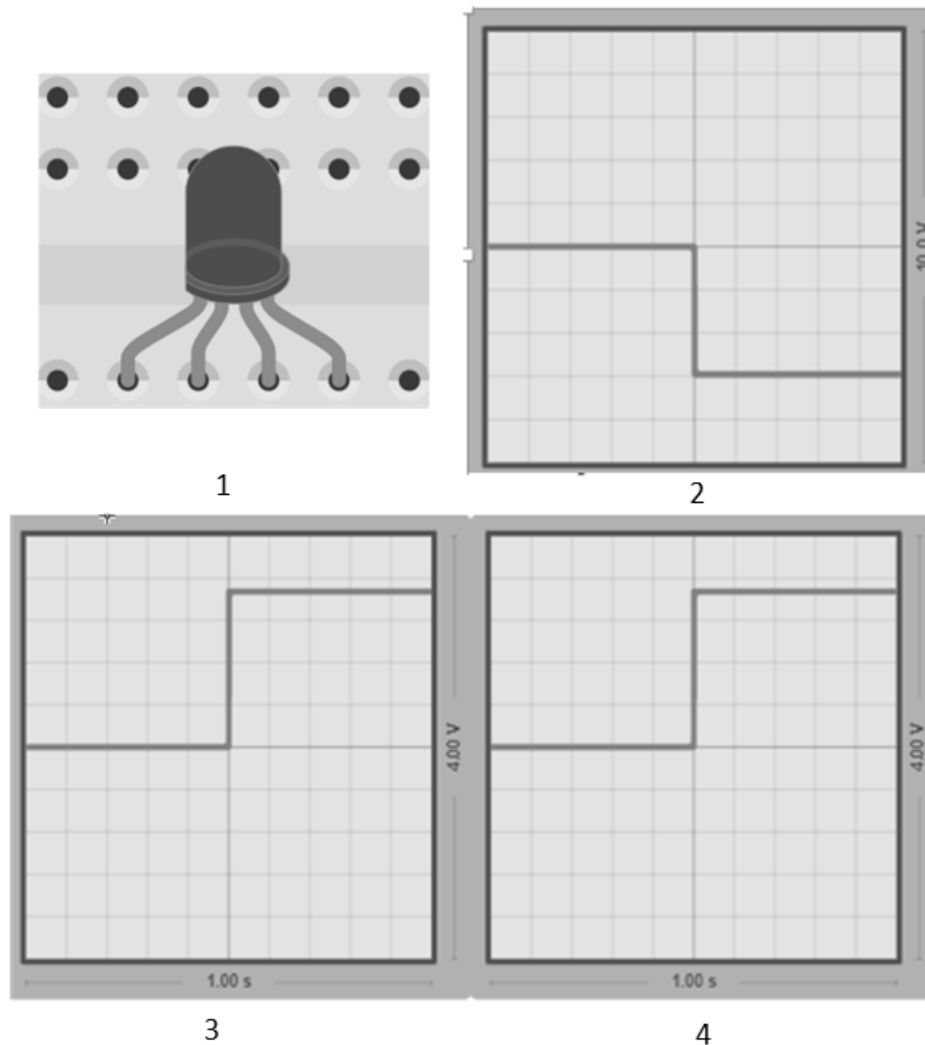


Рисунок 4.14 – Осцилограма синтезу червоного кольору:  
де 1– відображення кольору світіння RGB-світлодіоду,  
2 – осцилограма сигналу,що подається на зелений кристал світлодіоду,  
3 – червоний, 4 - синій

Перша осцилограма це осцилограф під'єднаний до червоного контакту, друга до зеленого і третя до синього кольору відповідно.

В кодї програми було задано параметри для зеленого кольору, фрагмент коду зображено на рис 4.15.

```
//grey
analogWrite(red,0);
analogWrite(green,255);
analogWrite(blue,0);
delay(1000);
```

Рисунок 4.15 Фрагмент коду для синтезу червоного кольору

Після виконання програму синтезу червоного кольору, програма перейшла до зеленого. Показання шпаруватостей змінилася, вона наведена на рис. 4.16 .

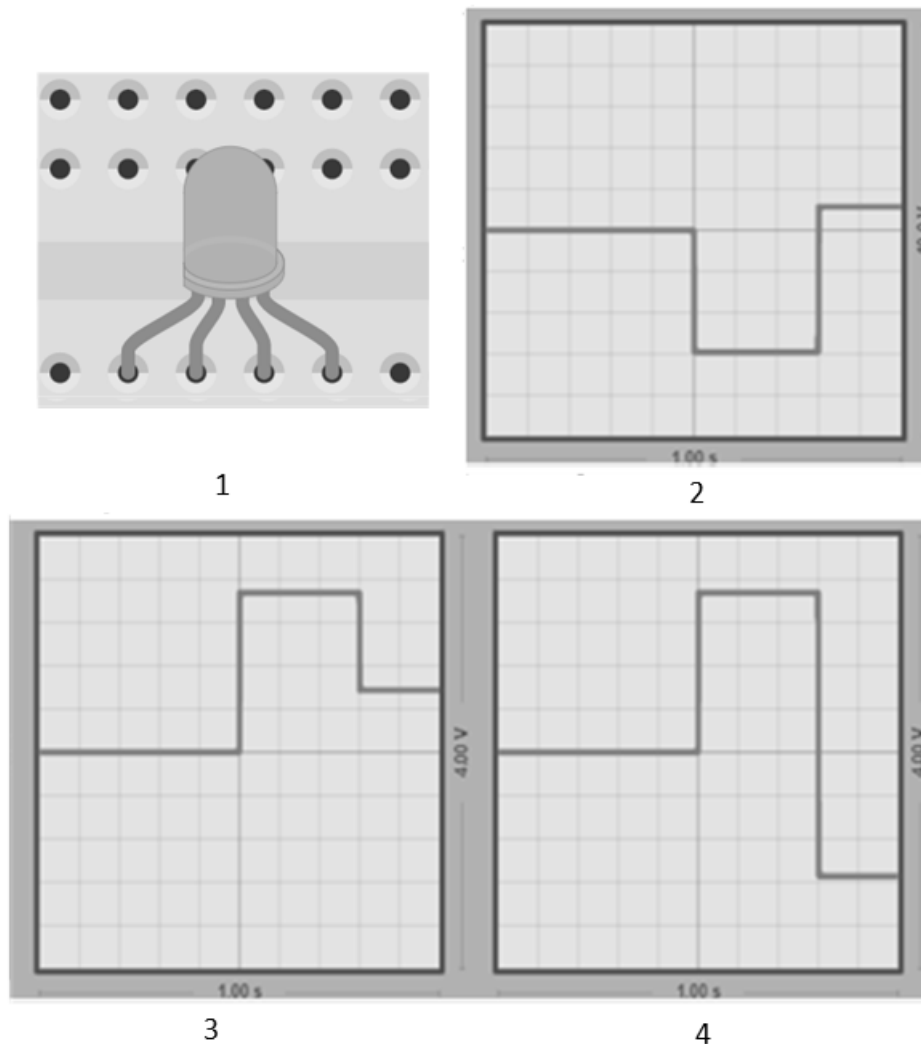


Рисунок 4.16 – Осцилограма синтезу зеленого кольору:  
де 1– відображення кольору світіння RGB-світлодіоду,  
2 – осцилограма сигналу,що подається на зелений кристал світлодіоду,

3 – червоний, 4 - синій

Також при генерації кожного сигналу світлового імпульсу напруга на осцилографах змінювалася, шкала поділок зображена справа від осцилограми. Можна спостерігати осцилограми при генерації світла синього кольору нарис. 4.17.

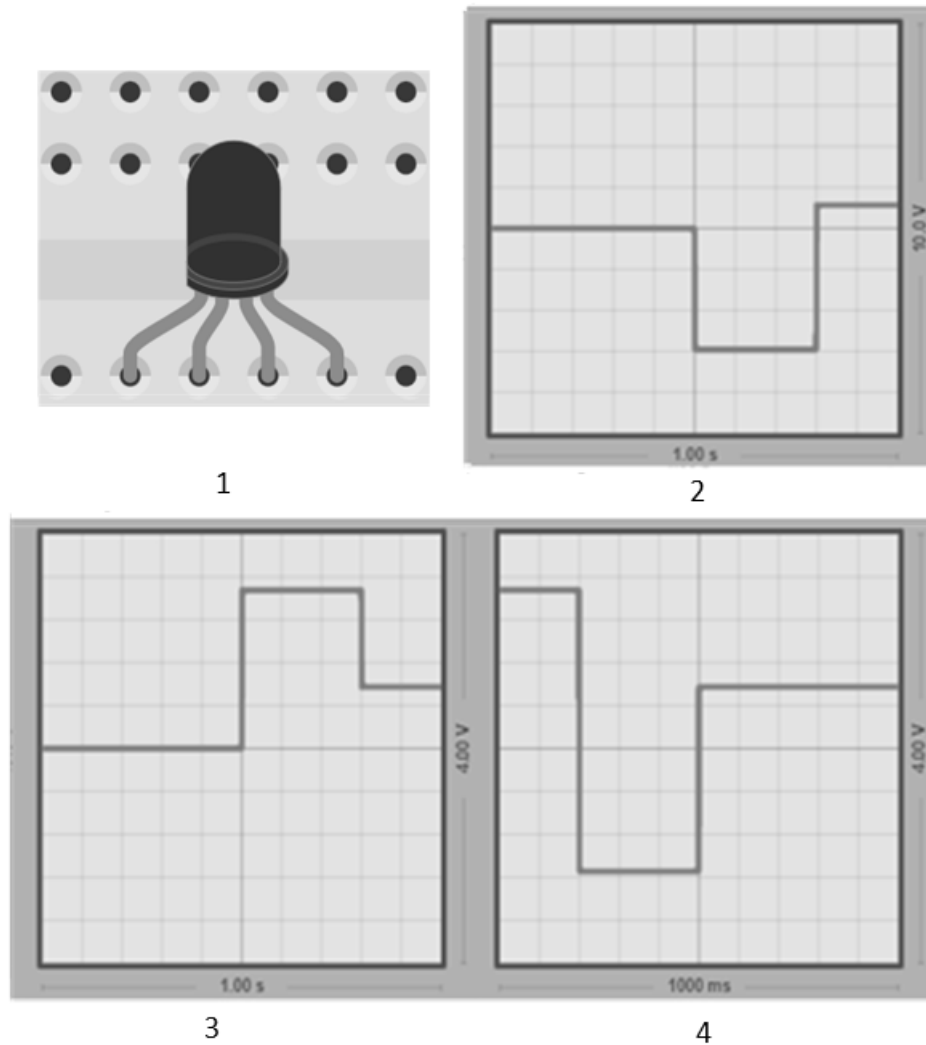


Рисунок 4.17 – Осцилограма синтезу синього кольору:

де 1– відображення кольору світіння RGB-світлодіоду,

2 – осцилограма сигналу, що подається на зелений кристал світлодіоду,

3 – червоний, 4 - синій

В кодї програми було задано параметри для синього кольору, фрагмент коду зображено на рис 4.18.

```
//blue
analogWrite(red, 0);
analogWrite(green, 0);
analogWrite(blue, 255);
delay(300);
```

Рисунок 4.18 Фрагмент коду для синтезу червоного кольору

При відтворенні імпульсу чорного кольору можна спостерігати лінійні графіки на всіх осцилографах, наведені на рис. 4.19.

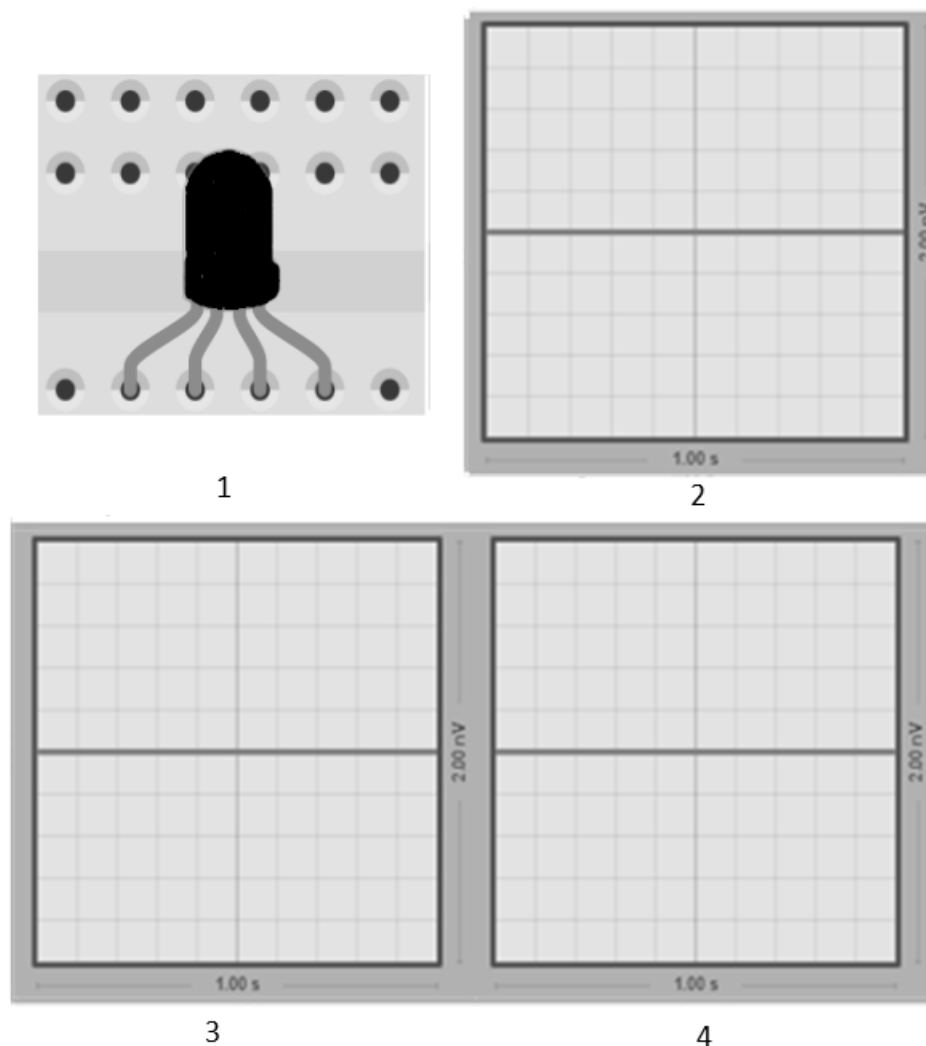


Рисунок 4.19 – Осцилограма синтезу чорного кольору:  
 де 1– відображення кольору світіння RGB-світлодіоду,  
 2 – осцилограма сигналу,що подається на зелений кристал світлодіоду,  
 3 – червоний, 4 - синій

В кодї програми було задано параметри для чорного кольору, фрагмент коду зображено на рис 4.20.

```
//black
analogWrite(red, 0);
analogWrite(green, 0);
analogWrite(blue, 0);
delay(300);
```

Рисунок 4.20 Фрагмент коду для синтезу чорного кольору

Для отримання сірого кольору, напруга на контактах повинна подаватись середнього значення. Це відображено на рис. 4.21. Код зображено на рис 4.22.

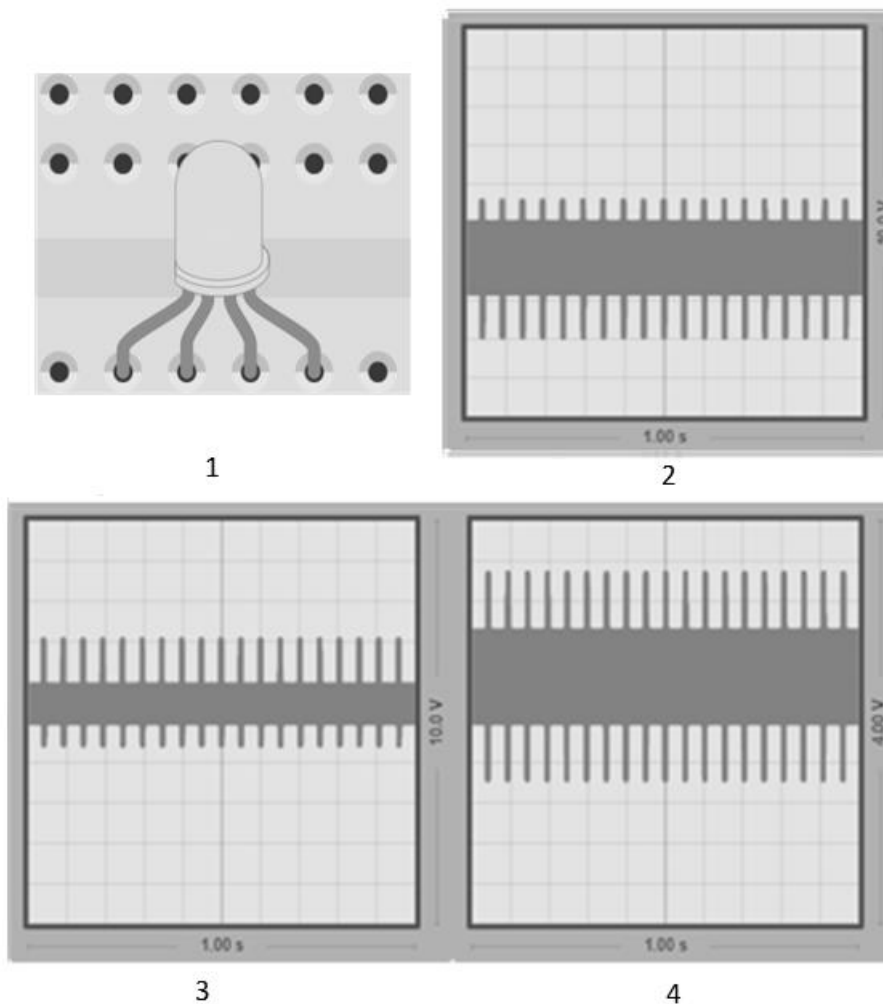


Рисунок 4.21 – Осцилограма синтезу сірого кольору:  
де 1– відображення кольору світіння RGB-світлодіоду,  
2 – осцилограма сигналу,що подається на зелений кристал світлодіоду,

3 – червоний, 4 - синій

```
//gray|
analogWrite(red, 128);
analogWrite(green, 128);
analogWrite(blue, 128);
delay(300);
```

Рисунок 4.22 Фрагмент коду для синтезу сірого кольору

Генерування білого кольору працює протилежно чорному, якщо для чорного на всі контакти йде максимальна допустима напруга. На рис. 4.23 зображено дану осцилограму.

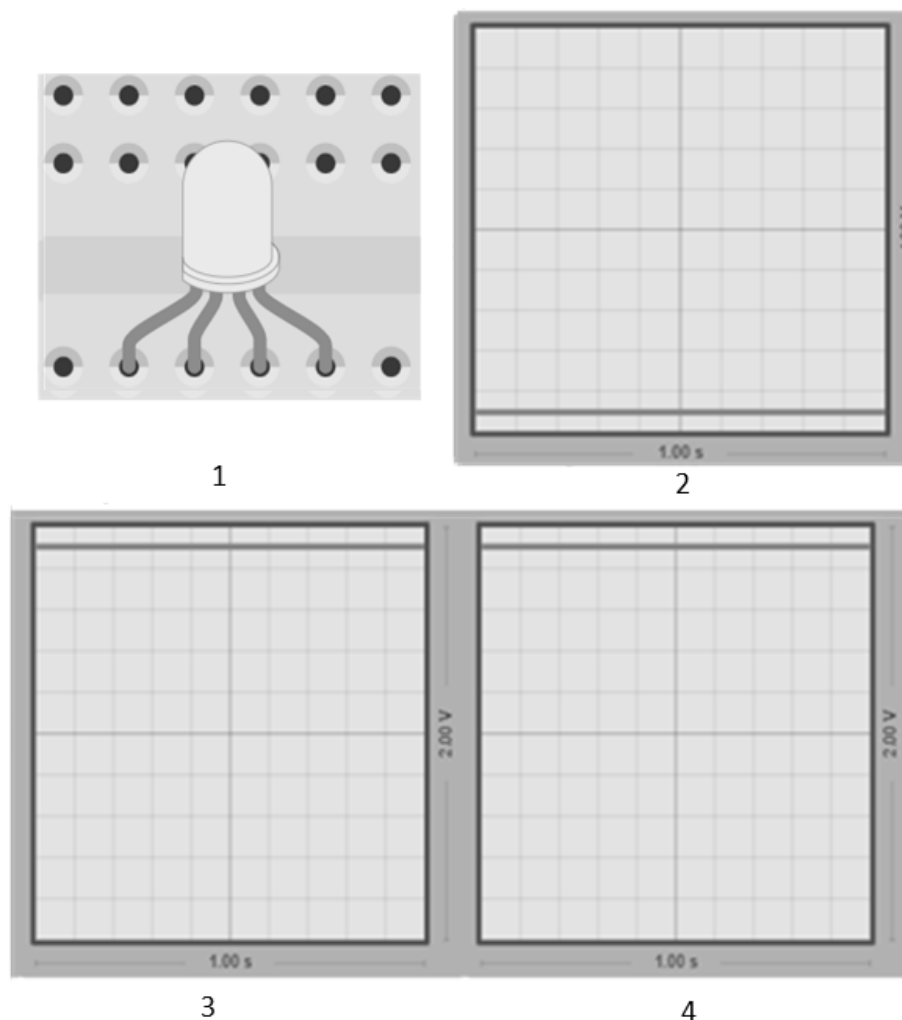


Рисунок 4.23 – Осцилограма синтезу білого кольору:  
де 1– відображення кольору світіння RGB-світлодіоду,  
2 – осцилограма сигналу, що подається на зелений кристал світлодіоду,  
3 – червоний, 4 - синій

В кодї програми було задано параметри для білого кольору, фрагмент коду зображено на рис 4.24.

```
//white  
analogWrite(red, 255);  
analogWrite(green, 255);  
analogWrite(blue, 255);  
delay(300);
```

Рисунок 4.24 Фрагмент коду для синтезу білого кольору

В кодї програми наступним було задано параметри для фіолетового кольору, фрагмент коду зображено на рис 4.25.

```
//fuchsia  
analogWrite(red, 255);  
analogWrite(green, 0);  
analogWrite(blue, 255);  
delay(300);
```

Рисунок 4.25 Фрагмент коду для синтезу фіолетового кольору

На наступному рисунку зображено вигляд осцилограм сигналу фіолетового кольору, де на червоний та синій контакти поступає максимальна напруга, а на синій 0. Осцилограма наведена на рис. 4.26.

Для більш детального спостереження за періодами коливань кожного кольору потрібно застосувати осцилограф на фізичній платі.

Так як в даному середовищі не враховуються ШІМ. До того ж параметри осцилографа не можна задати так, щоб наглядно побачити періоди коливань кожного контакту.

Також шкала поділок цих осцилографів змінюються самостійно, також ще на наглядність осцилограм вплинуть обрані нами резистори.

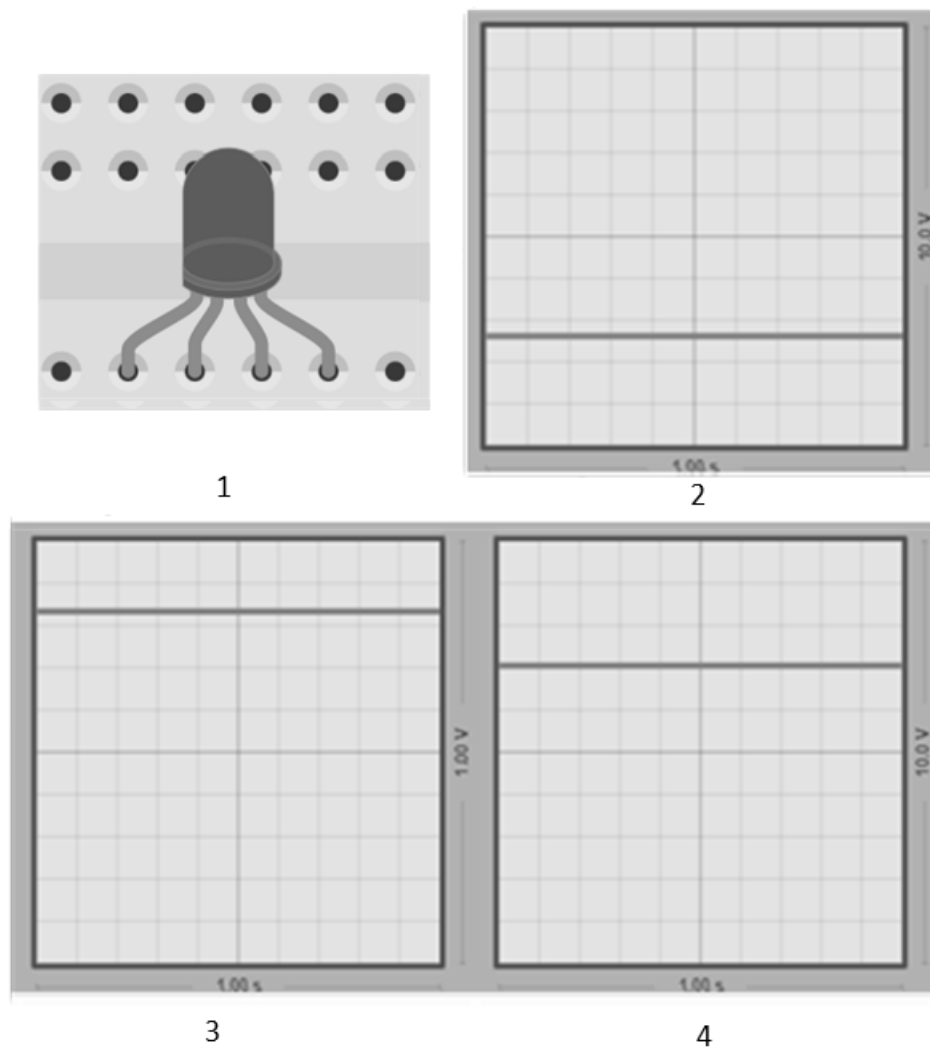


Рисунок 4.26 – Осцилограма синтезу фіолетового кольору:  
 де 1– відображення кольору світіння RGB-світлодіоду,  
 2 – осцилограма сигналу,що подається на зелений кристал світлодіоду,  
 3 – червоний, 4 - синій

В кодї програми наступним було задано параметри для жовтого кольору, фрагмент коду зображено на рис 4.27.

```
//yellow
analogWrite(red,255);
analogWrite(green,255);
analogWrite(blue,0);
delay(300);
```

Рисунок 4.27 Фрагмент коду для синтезу жовтого кольору

На рис. 4.28 наведені осцилограми жовтого та блакитних кольорів відповідно.

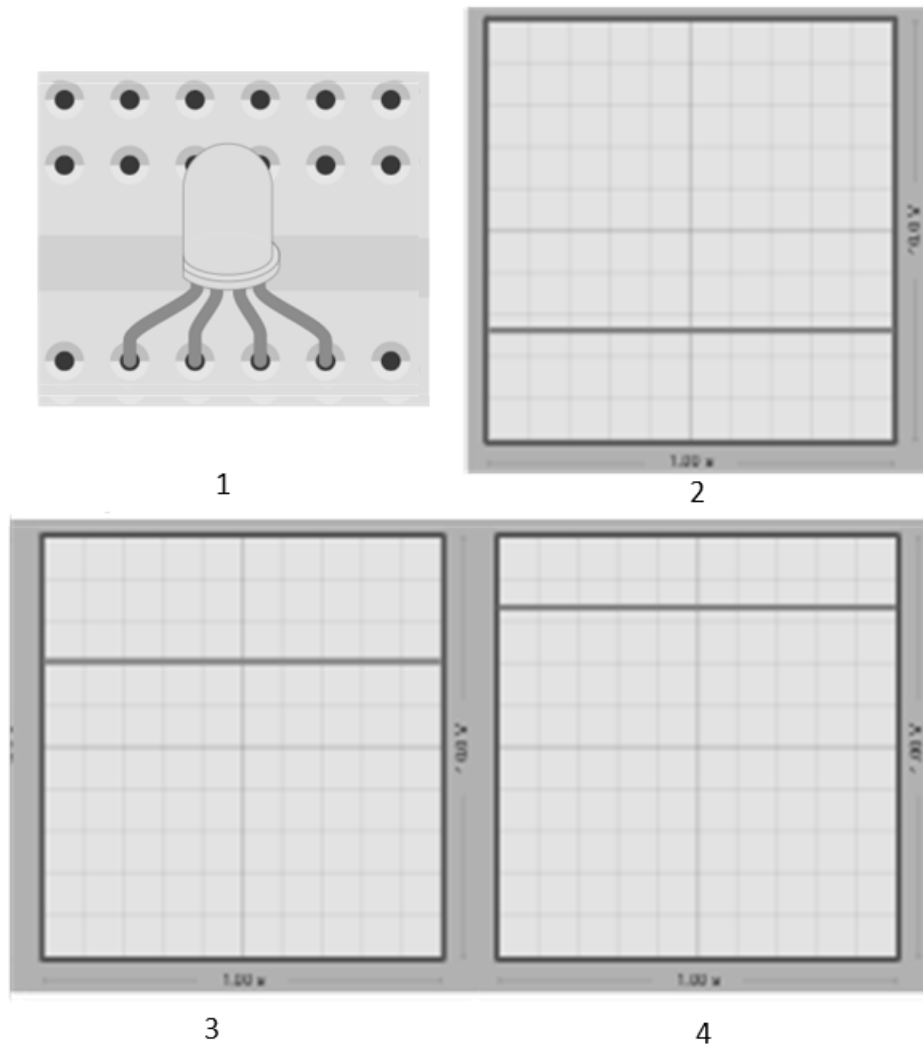


Рисунок 4.28 – Осцилограма синтезу жовтого кольору:  
 де 1– відображення кольору світіння RGB-світлодіоду,  
 2 – осцилограма сигналу,що подається на зелений кристал світлодіоду,  
 3 – червоний, 4 - синій

В кодї програми наступним було задано параметри для блакитного кольору, фрагмент коду зображено на рис 4.29.

```
//aqua
analogWrite(red,0);
analogWrite(green,255);
analogWrite(blue,255);
delay(30000);
```

Рисунок 4.29 Фрагмент коду для синтезу юдакитного кольору

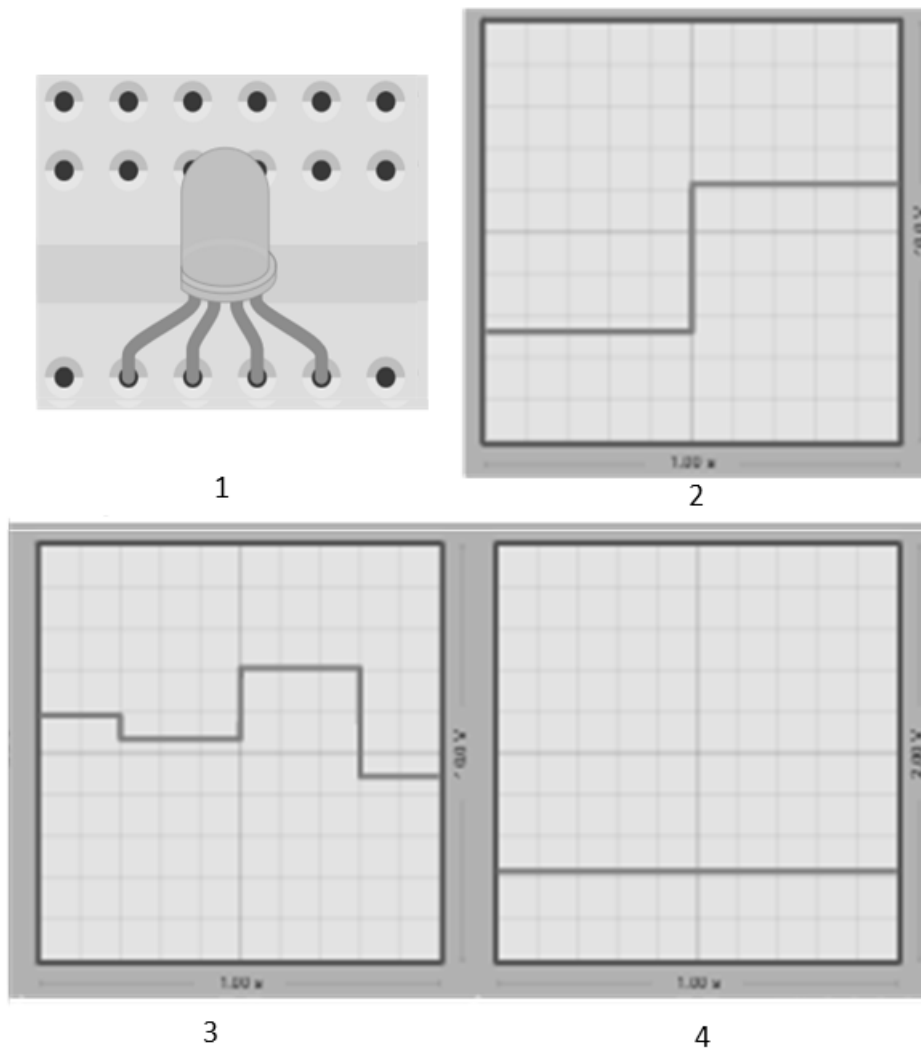


Рисунок 4.30 – Осцилограма синтезу блакитного кольору:  
де 1– відображення кольору світіння RGB-світлодіоду,  
2 – осцилограма сигналу,що подається на зелений кристал світлодіоду,  
3 – червоний, 4 - синій

На рис. 4.21 найбільше видно період зміни частоти для відображення кольору. Так як це штучне моделювання дані осцилограми були представлені для наглядності роботи. На практиці ці зміни будуть видні явно і з рахуванням всіх плюсів і мінусів при реалізації.

#### 4.3. Порядок проведення тестування із використанням запропонованої системи діагностики

Для якісного діагностування зору, потрібно забезпечити необхідні умови. Важливою умовою є освітленість кімнати, допускається освітлення з вікна розташованого на північну сторону, світловий потік якого буде в межах 350-500лк. Якщо освітлення штучне воно повинно бути синьовато-білого кольору.

При тестуванні не озвучується назва кольорів, які записані на панелі і відображаються світлодіодом. Піддослідний відповідає на світіння світлодіоду натисканням кнопки відповідного кольору, або кнопкою пропуску. Кожний колір буде відтворюватись 4 секунди, на відповідь в пацієнта буде не більше 5 секунд, так як через 4 секунди буде наступний колір.

Для діагностики інерційності ока, світлодіодом випромінюється світловий потік із різною частотою появи (блимання). Пацієнт реагує натисканням на кнопку системи одразу коли перестає помічати миготіння.

Отримавши результати всіх тестів, робиться висновок про стан зору людини. Якщо всі тести у всіх групах робиться висновок, що в людини сильна трихромазія. Якщо людина не може розпізнати всі тести одної з трьох кольорових груп, то в неї дихромазія, тобто колірна сліпота. При не розпізнаванні червоної групи – це протанопія, при зеленій – дейтеранопія, синього – тританопія.

При нерозпізнанні одного або декількох тестів в групі – це кольороастенія. При нерозпізнанні 1, 4, 6, 8 – це I ступінь захворювання, при 2, 5, 7, 9 – II ступінь захворювання.

#### 4.4 Висновки

У результаті проведення моделювання запропонованої системи діагностики зору людини були отримані осцилограми кольорів, які використовуються для діагностики. Встановлено, що кожен колір формується у різних пропорціях з всіх або двох з основних кольорів: червоний, синій, зелений.

Запропоновані алгоритми проведення основних етапів діагностики та прийняття рішення про захворювання ока у автоматизованому вигляді із використанням блоку пам'яті та комп'ютера, за допомогою якого проведено відповідні обчислення. Наведено структурну схему кіберфізичної системи діагностики зору та основні модулі реалізації.

## ВИСНОВКИ

У результаті проведених теоретичних та практичних досліджень вдосконалено метод діагностики зору людини із використанням таких властивостей ока як інерційність та кольоросприйняття. Запропонований метод реалізовано у кіберфізичній системі діагностики зору людини, особливістю якої є можливість автоматизованого, мобільного, швидкого та точного визначення стану зору людини.

Перший розділ присвячено аналізу існуючих методів та засобів діагностики. На основі аналізу встановлено основні переваги та недоліки існуючих систем діагностики та сформовано основні завдання дипломної роботи. Показано, що тема роботи є досить актуальною та необхідною у різних галузях.

В другому розділі наведено моделі синтезу кольорів на основі їх «змішування», тобто використовуючи метод адитивного накладання. У цьому розділі описано модель сприйняття кольору та його відтінків оком людини. Встановлено, що погіршення функціонування колбочок ока людини призводить до погіршення зору в цілому.

В третьому розділі запропоновано метод діагностики зору людини, який складається з двох етапів: дослідження інерційності та кольоросприйняття оком. Проведення діагностики відбувається у вставлений проміжок часу та відбувається фіксування людиною відповідних відчуттів: перестає бачити блимання світлодіода зеленим та червоним кольором і кольори та їх відтінки. На основі отриманих даних формується звіт про стан зору ока людини.

В четвертому розділі побудовано структурну схему запропонованої кіберфізичної системи і модулю діагностики, а також алгоритми функціонування елементів системи. Проведено моделювання кіберфізичної системи діагностики зору людини та встановлено, що кожен колір формується у різних пропорціях з всіх або двох з основних кольорів: червоний, синій, зелений. Використання RGB-світлодіоду дозволяє з високою точністю відтворити необхідний для тестування колір.

За результатами проведених досліджень було опубліковано тези участі у XIII всеукраїнської науково-практичної конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних наук АПКН-2021». Хмельницький – 2021 [1].

**ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ**

1. Ковальчук О.В. Метод побудови та архітектура кіберфізичних систем діагностики зору людини / О.В. Ковальчук, Л.О. Корецька // Збірник наукових праць за матеріалами XIII всеукраїнської науково-практичної конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних наук АПКН-2021». Хмельницький – 2021.
2. Гриньків М. Я., Музика Ф. В., Маєвська С. М., Куцериб Т. М. Анатомія людини : навч. посіб. для лабораторних занять. Львів : ЛДУФК, 2015,- 128с.
3. Лекішвілі С. Е.. Практична офтальмологія : навч. посіб. Суми : Сумський державний університет, 2015. – 234 с.
4. Діагностика зору: сучасні методи URL:: <https://centr-zory.com.ua/uk/blog/news/diagnostika-zoru-suchasni-metodi>(дата звернення: 15.11.2021).
5. Геннадій Жабоедов, Рімма Скрипник, Тетяна Баранова Офтальмологія. Підручник//Захворювання очей – 2011. – № 10. – С. 65-68;
6. Визначення гостроти зору URL:://[seeactive.by/articles/table-sivtsev.html](http://seeactive.by/articles/table-sivtsev.html) (дата звернення: 15.11.2021).
7. Завгородня Н. Г., Саржевська Л. Е., Івахненко О. М. [та ін]. Анатомія ока. Методи дослідження в офтальмології: навч. посібник для студентів мед. фак.-тів . Запоріжжя, 2017. – 76 с.
9. Процес діагностики зору URL: <https://glazgo.com.ua/uk/o-nas/>(дата звернення: 15.11.2021).
10. Головацький А.С.,Черкасов В.Г, Сапін М.Р. та [ін.]. Анатомія людини: підручник: у 3-х т. Т.3-й підручник Вид. 3-тє, доопрацьоване Вінниця: Нова книга, 2015. С. 307- 313.
11. Bremond-Gignac D, Copin H, Lapillonne A, et al. Visual development in infants: physiological and pathological mechanisms. Curr Opin Ophthalmol 2011; 22:S1-S8.

12. Cotter SA, Varma R, Tarczy-Hornoch K, et al. Risk factors associated with childhood strabismus: the Multi-Ethnic Pediatric Eye Disease and Baltimore Pediatric Eye Disease Studies. *Ophthalmology* 2011; 118:2251-61.
13. Pascual M, Huang J, Maguire MG, et al. Risk factors for amblyopia in the Vision in Preschoolers Study. *Ophthalmology* 2014; 121:622-29.
14. Kleinstein RN, Sinnott LT, Jones-Jordan LA, et al. New cases of myopia in children. *Arch Ophthalmol* 2012; 130:1274-79.
15. Afsari S, Rose KA, Gole GA, et al. Prevalence of anisometropia and its association with refractive error and amblyopia in preschool children. *Br J Ophthalmol* 2013; 97:1095-99.
16. УзД ока URL: <http://medicine.co.ua/informazia-y-fakt/3825-uzd-oka.html>(дата звернення: 15.11.2021).
17. Tarczy-Hornoch K, Varma R, Cotter SA, et al. Risk factors for decreased visual acuity in preschool children: the Multi-Ethnic Pediatric Eye Disease and Baltimore Pediatric Eye Disease Studies. *Ophthalmology* 2011; 118:2262-73.
18. Xie JZ, Tarczy-Hornoch K, Lin J, et al. Color vision deficiency in preschool children:the Multi-Ethnic Pediatric Eye Disease Study. *Ophthalmology* 2014; 121:1469-74.
19. Оптична система ока URL: <http://www.ecataract.org/vazhlyvo-znaty/oko-ta-iol>(дата звернення: 15.11.2021).
20. Gerz E. di Justo P. *Atmospheric Monitoring with Arduino* - O'Reilly Media, Inc. 2013 89с.
21. Особливості оптичної системи очей URL: <http://wiki.pp.ua/6327-scho-yavlyaye-soboyu-optichna-sistema-oka-z-yakih-elementv-skladayetsya.html>(дата звернення: 15.11.2021).
22. Аномалоскоп URL: <http://medical-enc.com.ua/anomaloskop.htm>(дата звернення: 3.12.2021).
23. Печенюк Т. *Кольорознавство*. Харків: Грані-Т, 2006. – 384 с

24. Бондар І. О. Теорія кольору: навчальний посібник для студентів напряму підготовки 6.051501 “Видавничо-поліграфічна справа” / І. О. Бондар. Харків : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2016. 164 с.
25. Мельник А. О. Кіберфізичні системи: проблеми створення та напрями розвитку А. О. Мельник Вісник Національного університету "Львівська політехніка". 2014. С. 154–161.
26. Іонов І.А. Т.Є. Комісова. Фізіологія сенсорних систем: методичні рекомендації (видання друге – доповнено та перероблено) Харків. : ФОП Петров В.В., 2018. 45 с.
27. Chimenti, Robert V. “Fundamentals of Color Science.” Optics & Light Lecture, Rowan University, Glassboro, NJ, November 2018.
28. Дослідження колірного зору URL: <http://biomedicina.com.ua/zir-doslidzhennya-kolirnoho-zoru/>(дата звернення: 3.12.2021).
29. Флінти URL:<http://mashxxl.info/info/64544>(дата звернення: 3.12.2021).
30. Кожемяко В. П., Тарновський М. Г., Павлов С. В. Схемотехніка сучасного приладобудування. Частина IV. Вінниця: ВНТУ, 2003. – 136 с
31. Модуль SD карти і Arduino URL: <http://arduino-diy.com/arduino-SD-karta>(дата звернення: 3.12.2021).
32. Arduino tutorial. URL: <https://www.arduino.cc/> (дата звернення 4.11.2021)
33. Все,що треба знати про Arduino. URL: <http://arduino-diy.com> (дата звернення 3.10.2021)
34. LCD дисплей URL: [https://arduino.ua/prod319LCD\\_20x4\\_s\\_podsvetkoi](https://arduino.ua/prod319LCD_20x4_s_podsvetkoi)(дата звернення: 3.12.2021).
35. Види і типи світлодіодів [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://hi-news.pp.ua/tehnka-tehnologyi/1066-vidi-tipi-svtlododv-klasifikacya-harakteristiki-priznachennya.html>(дата звернення: 3.12.2021).
36. Сайт програмного середовища і фірми «Arduino». URL: <https://www.arduino.cc> (дата звернення 9.11.2021)

**ДОДАТОК А**  
(обов'язковий)

**ЛІСТИНГ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЛОКУ ФОРМУВАННЯ  
СВІТЛОВИХ ІМПУЛЬСІВ РІЗНОГО КОЛЬОРУ**

Модуль «Формування світлових імпульсів RGB-світлодіодом».

```
int red=9;
int green=10;
int blue=11;
void setup(){
  pinMode(red,OUTPUT);
  pinMode(green,OUTPUT);
  pinMode(blue,OUTPUT);}
void loop()
{pinMode(ledred,OUTPUT);
digitalWrite(ledred,HIGH);
delay(3000);
digitalWrite(ledred,LOW);
if(x>10){
  digitalWrite(ledred,HIGH);
  delay(x);
  digitalWrite(ledred,LOW);
  delay(x);
  x=x-11;}
pinMode(ledgreen,OUTPUT);
digitalWrite(ledgreen,HIGH);
delay(3000);
digitalWrite(ledgreen,LOW);
if(y>10)
{ digitalWrite(ledgreen,HIGH);
  delay(y);
  digitalWrite(ledgreen,LOW);
  delay(y);
  y=y-11;}
  //red
  analogWrite(red,255);
  analogWrite(green,0);
  analogWrite(blue,0);
  delay(300);
```

```
//grey
analogWrite(red,0);
analogWrite(green,255);
analogWrite(blue,0);
delay(300);
//blue
analogWrite(red,0);
analogWrite(green,0);
analogWrite(blue,255);
delay(300);
//black
analogWrite(red,0);
analogWrite(green,0);
analogWrite(blue,0);
delay(300);
//gray
analogWrite(red,128);
analogWrite(green,128);
analogWrite(blue,128);
delay(300);
//white
analogWrite(red,255);
analogWrite(green,255);
analogWrite(blue,255);
delay(300);
//fuchsia
analogWrite(red,255);
analogWrite(green,0);
analogWrite(blue,255);
delay(300);
//yellow
analogWrite(red,255);
analogWrite(green,255);
analogWrite(blue,0);
delay(300);
//aqua
analogWrite(red,0);
analogWrite(green,255);
analogWrite(blue,255);
delay(30000);
}
```

## ДОДАТОК Б

## КОПІЯ ПУБЛІКАЦІЇ

---

*Актуальні проблеми комп'ютерних наук*

---

УДК 004.5

Ковальчук О. В., Корецька Л. О.

*Хмельницький національний університет***МЕТОД ПОВУДОВИ ТА АРХІТЕКТУРА КІБЕРФІЗИЧНИХ СИСТЕМ  
ДІАГНОСТИКИ ЗОРУ ЛЮДИНИ**

*Розглянуто метод побудови та архітектуру кіберфізичних систем діагностики зору людини, що забезпечує максимально точний аналіз зору людини. Запропонована система забезпечує точне і швидке визначення стану людського зору.*

*Considering the method of construction and architecture of cyberphysical system diagnostics of human vision, which provides the most accurate analysis of human vision. The proposed system provides accurate and fast determination of the state of human vision.*

В сучасному світі людське око піддається впливу багатьох подразників, які впливають на якість людського зору. Вчасна та якісна діагностика набуває важливого значення, що дасть можливість корегувати його.

Метою роботи є створення кіберфізичної системи для діагностики зору людини. За основу даної системи покладено властивість людського ока розпізнавати світлові сигнали на певній частоті їх блимання.

Особливістю запропонованої кіберфізичної системи є те, що для виявлення дефектів зору використовується така характеристика ока, як інерційність. Інерційність нормального ока досить мала: червоні блимання світлодіода він перестає помічати лише на частотах 40...42 Гц, зелені – ще на 2...3Гц вище. При зниженні частоти, на якій око перестає помічати блимання, до 35...30 Гц і значне розходження частот для червоного і зеленого – виникає необхідність звернутись до лікаря. Також було досліджено, що зменшення чутливості до зеленого кольору властиво людям, око яких має захворювання під назвою глаукома. При вимірюваннях визначатиметься критична частота злиття блимання імпульсного світла.

На рисунку 1 зображено структурну схему кіберфізичної системи, яка містить наступні елементи. Автономно-вимірювальний пристрій, що складається з блоку, на виході якого формуються світлові меандри зеленого (довжина хвилі 525 нм) та червоного (довжина хвилі 622 нм) світла. Частота блимання світлових меандрів, за командою з виконавчої системи, поступово змінюється від 1 до 90 Гц до тих пір, поки людина не відмітить частоту повного злиття світла. Значення цієї частоти фіксується та надходить на вбудовану систему обчислень та прийняття

рішень. Виконавча система, залежно від вихідних даних вбудованої системи обчислень та прийняття рішень, зупиняє процес зміни частоти блимання меандрів та запускає процес перевірки ще двічі. Ці вимірювання відбуваються для обох кольорів світлодіода. Потрійне вимірювання частоти, на якій відбувається повне злиття світла, дозволяє високоточно отримати інформацію про момент злиття.

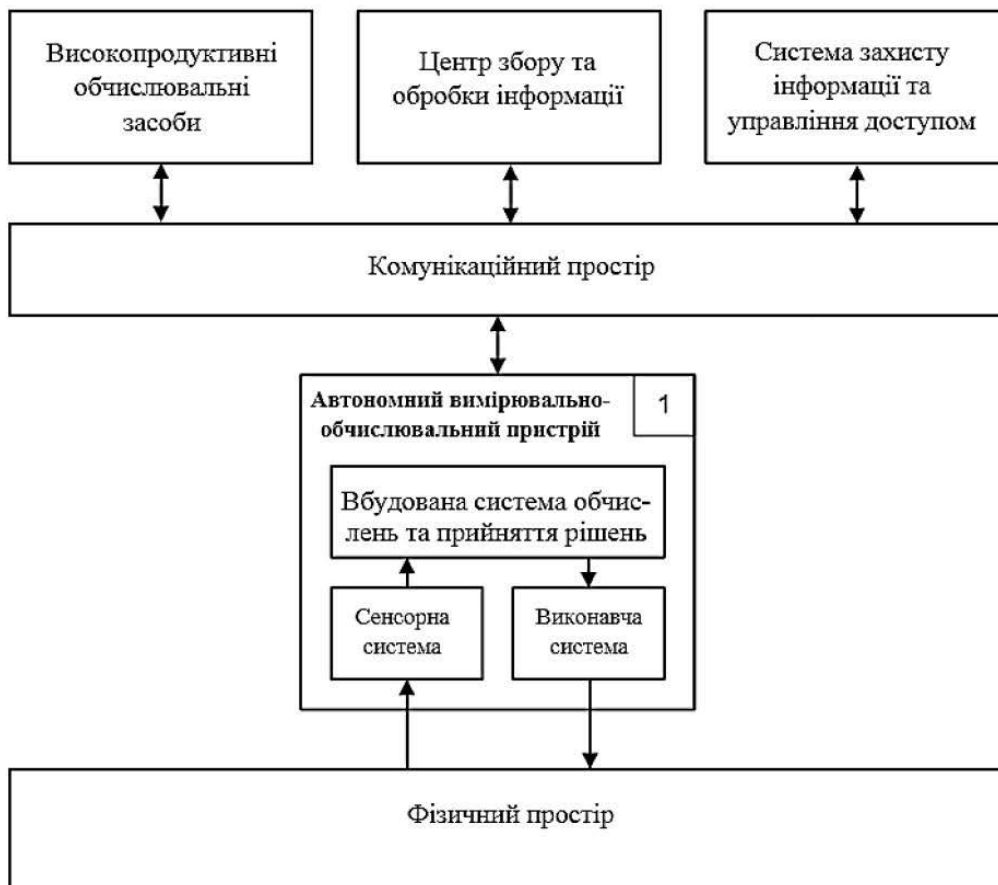


Рисунок 1 – Структурна схема кіберфізичної системи діагностики стану зору людини

Використовуючи комунікаційний простір, дані, які отримані у результаті проведених вимірювань автономно-обчислювальним пристроєм, надходять до високопродуктивних обчислювальних засобів, центру збору та обробки інформації. Для забезпечення цілісності та надійності даних може використовуватися система захисту інформації та управління доступом інформації.

У результаті проведення обчислень та відповідного аналізу даних, що виконуються у пропонованій системі автоматично, людина отримує дані про стан

свого зору та рекомендації до його поліпшення. Ці дані виводяться на монітор системи, а також передбачається можливість друку інформації на паперовому носії.

Отже, запропонований метод побудови та архітектури кіберфізичної системи для діагностики зору людини забезпечує точний і швидкий аналіз стану зору людини відповідно до заданих категорій. Подальші дослідження спрямовані на автоматизацію процесу. Система зможе змінювати частоту світлових меандрів, фіксувати момент, коли око вже не бачить блимання, та робити відповідні висновки.

#### **Перелік посилань**

1. Мельник А. О. Кіберфізичні системи: проблеми створення та напрями розвитку / А. О. Мельник // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – 2014. – № 806 : Комп'ютерні системи та мережі. – С. 154–161. – Бібліографія: 31 назва.
2. Іонов І.А. Фізіологія сенсорних систем: методичні рекомендації (видання друге – доповнено та перероблено) / І.А. Іонов, Т.Є. Комісова. – Х. : ФОП Петров В.В., 2018. – 45 с.

## ДОДАТОК В

### ПРЕЗИНТАЦІЯ ДОПОВІДІ

# МЕТОД ПОБУДОВИ ТА АРХІТЕКТУРА КІБЕРФІЗИЧНИХ СИСТЕМ ДІАГНОСТИКИ ЗОРУ ЛЮДИНИ

Студент KI2-20-1 Ковальчук Олексій Васильович

Керівник к.т.н., доцент Корецька Людмила Олександрівна

Активация Windows  
Windows. Настрой

- Метою роботи створення кіберфізичної системи діагностики зору людини із підвищеною точністю та швидкодією на основі вхідних даних щодо видимої людиною частоти блимання світлодіода та сприйняття кольорів і їх відтінків
- Об`єкт: процес опрацювання інформації про стан зору людини у кіберфізичній системі.
- Предмет: програмно-технічні засоби кіберфізичної системи діагностики зору людини.

## Актуальність

- Діагностика кольоросприйняття людського ока є важливою. На сьогодні є багато галузей, для яких вона є ключовою. Для роботи в таких галузях є вимоги до якості сприйняття кольору та зору. Актуальність даного діагностування полягає у перевірці зору військових, водіїв різних галузей, пілотів та інших. Також таке діагностування важливе для відбору у спецназ.

## Постановка задачі досліджень:

Для досягнення поставленої мети потрібно розв'язати наступні задачі:

- створити метод діагностики зору людини, який дозволить швидко та якісно провести дослідження відхилень стану зору людини, ;
- розробити метод створення мобільної системи діагностики стану зору людини та її архітектуру;
- розробити програмне забезпечення для формування заданого кольору потоку світлового випромінювання на кристалах RGB-світлодіода;
- провести моделювання

Активация Windows  
Перейдіть до розділу "Настр  
Windows.

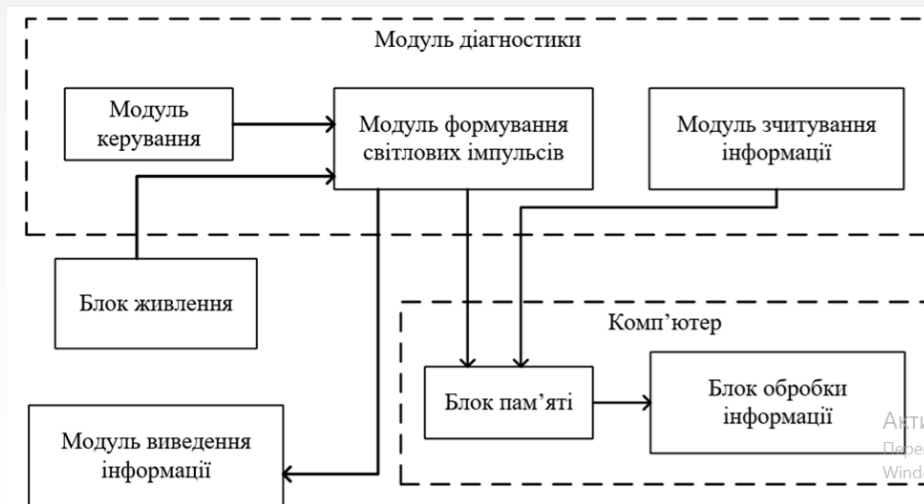
## Метод діагностики зору людини

- В даній кіберфізичній системі було реалізовано метод діагностики, в основу якого покладено такі властивості ока як інерційність та кольоросприйняття.
- На першому етапі відбувається діагностування інерційності. Для цього світлодіод буде генерувати світловий імпульс з частотою блимання від 1Гц до 90Гц, спочатку червоного, потім зеленого кольору. Людина фіксує момент, коли блимання стає видимим
- На другому етапі відбувається діагностування кольоросприйняття. RGB-світлодіодом генеруються світлові потоки різного кольору, які по чергово (з затримкою 4 секунди) змінюються. Людина фіксує назву кольору, яку відображає світлодіод

Активация Windows  
Перейдіть до розділу "Настр  
Windows.

## Узагальнена структурна схема кіберфізичної системи діагностики зору

- Кіберфізична система діагностики зору має мету спростити процес діагностики, дозволити виявити відхилення від норми автоматизовано та завчасно.

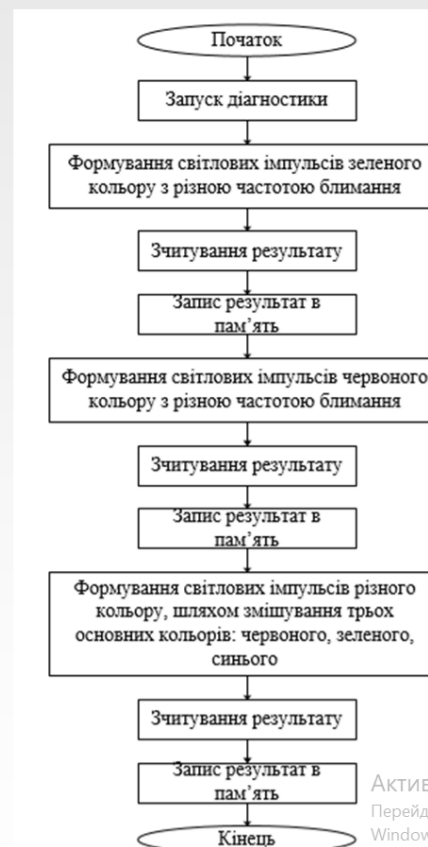


Активация Windows  
Перейдіть до розділу "Настрої Windows."

## Алгоритм методу діагностики

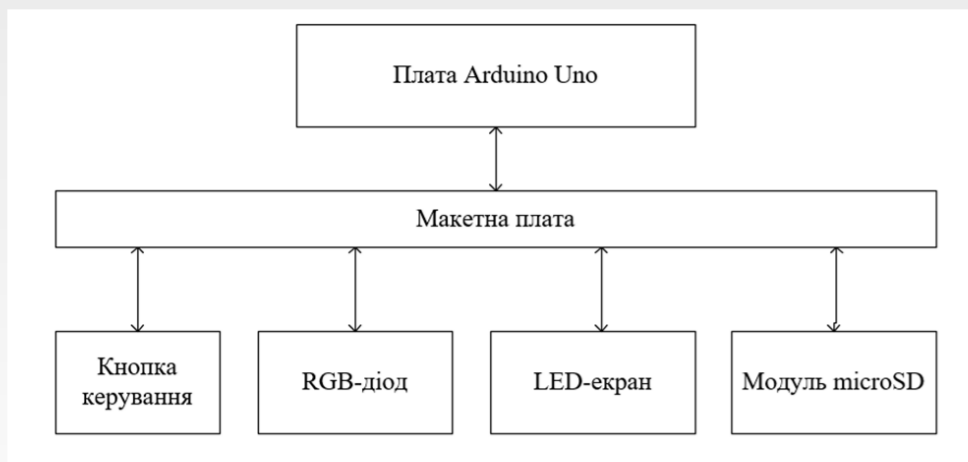
### Етапи діагностики:

- I: Проведення діагностика розрізняння частоти з якою формується світлові імпульси зеленого кольору. Частота змінюється з певним кроком.
- II: Проведення діагностики розрізняння частоти світлових імпульсів червоного кольору.
- III: Діагностування розпізнавання кольорів, система випромінює світло певного кольору.



Активация Windows  
Перейдіть до розділу "Настрої Windows."

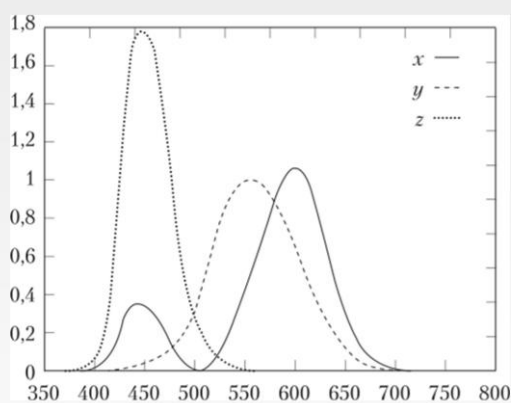
## Схема модуля формування світлового сигналу



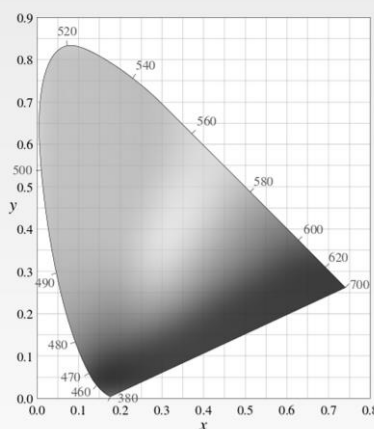
- В основі роботи запропонованого розробка модуля формування світлового сигналу та його принцип роботи. Модуль складається з плати Arduino Uno, кнопки керування, RGB-діод, LED-екран та модуль microSD. Всі пристрої модуля підключено до плати через макетну плату, що дозволяє чітко бачити контакти та піни до яких вони під'єднані.

Активация Windows  
Перейдіть до розділу "Наст  
Windows.

## Модель методу синтезу випромінювання різних кольорів RGB-світлодіодом



Спектральні функції кольорової відповідності



Колірна діаграма

$$X = \int_{380}^{780} I(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda,$$

$$Y = \int_{380}^{780} I(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda,$$

$$Z = \int_{380}^{780} I(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda,$$

XYZ-модель кольорів

Використовуючи RGB-світлодіоди та перейшовши від XYZ-моделі до RGB-моделі кольору, є можливим синтезувати необхідний колір, шляхом зміни шпаруватості їх випромінювання.

Активация Windows  
Перейдіть до розділу "Наст  
Windows.

## Параметри основних кольорів для проведення тестування

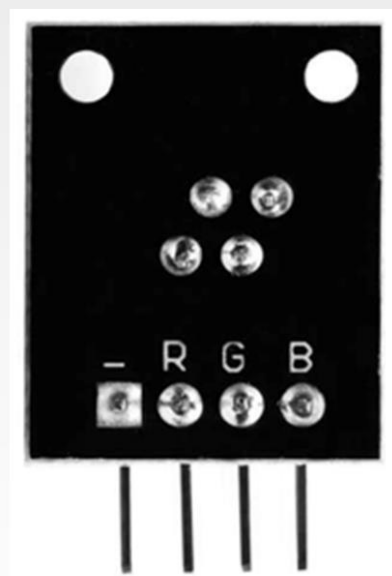
Колір	Десятковий код основного кольору		
	Червоного	Зеленого	Синього
Чорний	0	0	0
Зелений	0	255	0
Синій	0	0	255
Червоний	255	0	0
Жовтий	255	255	0
Сірий	128	128	128
Фіолетовий	255	0	255
Блакитний	0	255	255
Білий	255	255	255

- Тестовий набір кольорів складається з 9 кольорів. Щоб відтворити їх на світлодіоді, на кожний його контакт, який у свою чергу з'єднаний відповідно з кристалами, що формують світловий потік червоного, зеленого, синього кольорів, подаватиметься імпульсний сигнал різної шпаруватості. Дані кольори будуть генеруватися послідовно і відображатимуться світлодіодом.

Активация Windows  
Перейдіть до розділу "Настро  
Windows.

## RGB-світлодіод

- Основними компонентами кіберфізичної системи діагностики зору людини є RGB-світлодіод, який використовується для створення потоків різної частоти та кольорів, RGB-контролер, за допомогою якого відбувається керування від'ємним виводом джерела живлення, тобто відбудуватиметься відключення або підключення відповідного кольору від ланки, блок живлення системи.



Активация Windows  
Перейдіть до розділу "Настро  
Windows.

## Публікації:

- 1) Ковальчук О.В. Метод побудови та архітектура кіберфізичних систем діагностики зору людини / О.В. Ковальчук, Л.О. Корецька // Збірник наукових праць за матеріалами XIII всеукраїнської науково-практичної конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних наук АПКН-2021». Хмельницький – 2021.

Активация Windows  
Перейдіть до розділу "Настро  
Windows.

## ВИСНОВКИ

- У результаті проведених теоретичних та практичних досліджень вдосконалено метод діагностики зору людини із використанням таких властивостей ока як інерційність та кольоросприйняття. Запропонований метод реалізовано у кіберфізичній системі діагностики зору людини, особливістю якої є можливість автоматизованого, мобільного, швидкого та точного визначення стану зору людини.
- Перший розділ присвячено аналізу існуючих методів та засобів діагностики. На основі аналізу встановлено основні переваги та недоліки існуючих систем діагностики та сформовано основні завдання дипломної роботи. Показано, що тема роботи є досить актуальною та необхідною у різних галузях.

В другому розділі наведено моделі синтезу кольорів на основі їх «змішування», тобто використовуючи метод адитивного накладання. У цьому розділі описано модель сприйняття кольору та його відтінків оком людини. Встановлено, що погіршення функціонування колбочок ока людини призводить до погіршення зору в цілому.

Активация Windows  
Перейдіть до розділу "Настро  
Windows.

- В третьому розділі запропоновано метод діагностики зору людини, який складається з двох етапів: дослідження інерційності та кольоросприйняття оком. Проведення діагностики відбувається у вставлений проміжок часу та відбувається фіксування людиною відповідних відчуттів: перестає бачити блимання світлодіода зеленим та червоним кольором і кольори та їх відтінки. На основі отриманих даних формується звіт про стан зору ока людини.
- В четвертому розділі побудовано структурну схему запропонованої кіберфізичної системи і модулю діагностики, а також алгоритми функціонування елементів системи. Проведено моделювання кіберфізичної системи діагностики зору людини та встановлено, що кожен колір формується у різних пропорціях з всіх або двох з основних кольорів: червоний, синій, зелений. Використання RGB-світлодіоду дозволяє з високою точністю відтворити необхідний для тестування колір.



Ім'я користувача:  
Кафедра КІ

ID перевірки:  
1011255558

Дата перевірки:  
19.05.2022 18:38:53 EEST

Тип перевірки:  
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:  
19.05.2022 18:39:27 EEST

ID користувача:  
100005591

Назва документа: Ковальчук\_Метод побудови та архітектура кіберфізичних систем діагностики зору людини  
Кількість сторінок: 84 Кількість слів: 11732 Кількість символів: 92298 Розмір файлу: 22.63 MB ID файлу: 1011145761

## 1.14% Схожість

Найбільша схожість: 0.72% з джерелом з Бібліотеки (ID файлу: 1010898932)

0.43% Джерела з Інтернету

9

Сторінка 86

1.06% Джерела з Бібліотеки

65

Сторінка 86

## 0% Цитат

Не знайдено жодних цитат

Не знайдено жодних посилань

## 0% Вилучень

Немає вилучених джерел

## Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи

11

Три Мау 19 17:46:15 EEST 2022, Мезягині Дмитро Миколайович, Хмельницький національний університет, ХНУ

## Anti-Plagiarism v-15.257

**Максимальное совпадение с одним документом 0,00%**

Словари проверки: en\_US, ru\_RU, ua\_UA. Ошибок в документах: 10%

ID: 103690 Название: Метод побудови та архітектура кіберфізичних систем діагностики зору людини Добавлено в БД: 2022-05-19 Авторы: Ковальчук О.В. Руководитель: Корещька Л.О. Консультанты: Опоненты:		Документ		Суммарное совпадение по Базе Данных	
		Символы	Лексемы	Символы	Лексемы
		83035	819	873 (1%)	12 (1%)

Источник платяга

ID	Описание	Найлучше платяга в документе	
		Символы	Лексемы

МІНІСТЕРСТВО ОВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Ковальчук Олексій Васильович

Тема: Метод побудови та архітектура кіберфізичних систем діагностики зору людини

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія

Обсяг кваліфікаційної роботи

Кількість листів креслень 0 Кількість сторінок записки 80

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень в результаті виконаного наукового дослідження розроблена кіберфізична система діагностики зору людини
2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню Дипломна робота відповідає виданому завданню
3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки та техніки і передових методів роботи: Перший розділ присвячено аналізу існуючих методів та засобів діагностики. На основі аналізу встановлено основні переваги та недоліки існуючих систем діагностики та сформовано основні завдання дипломної роботи. Показано, що тема роботи є досить актуальною та необхідною у різних галузях. В другому розділі наведено моделі синтезу кольорів на основі їх «зміщення», тобто використовуючи метод адитивного накладання. У цьому розділі описано модель сприйняття кольору та його відтінків оком людини. Встановлено, що погіршення функціонування колбочок ока людини призводить до погіршення зору в цілому. В третьому розділі запропоновано метод діагностики зору людини, який складається з двох етапів: дослідження інерційності та кольоросприйняття оком. Проведення діагностики відбувається у вставлений проміжок часу та відбувається фіксування людиною відповідних відчуттів: перестає бачити блимання світлодіода зеленим та червоним кольором і кольори та їх відтінки. На основі отриманих даних формується звіт про стан зору ока людини. В четвертому розділі побудовано структурну схему запропонованої кіберфізичної системи і модулю діагностики, а також алгоритми функціонування елементів системи. Проведено моделювання кіберфізичної системи діагностики зору людини та встановлено, що кожен колір формується у різних пропорціях з всіх або двох з основних кольорів: червоний, синій, зелений. Використання RGB-світлодіоду дозволяє з високою точністю відтворити необхідний для тестування колір.

4. Позитивні сторони роботи: набув подальшого розвитку метод діагностики зору людини, який відрізняється від існуючих тим, що формування світлового оптичного потоку відбувається адитивним методом синтезу кольорів із трьох основних кольорів, що дає можливість отримати заданий колір із точністю до 0,1%.

5. Негативні сторони роботи: не в достатній мірі проведено аналіз результатів моделювання кіберфізичної системи діагностики зору, наявні стилістичні недоліки

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: -

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на достатньому науковому рівні

8. Інші зауваження: -

9. Оцінка дипломної роботи: Розглянувши представлену роботу, вважаю, що робота заслуговує оцінки добре 3,75 (С)

10. Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, місце роботи)

Мартинович Валерій Володимирович,  
зав. кат. АКТ, д.т.н. проф.

« 18 » 05 2022р.

  
підпис

Завідувачу кафедри КІС  
д-р.техн.наук, проф. Говорущенко Т. О.

Ковальчука Олексія Васильовича

ІІІ здобувача вищої освіти

ФІТ, 2 курсу, групи КІ2м-20-1

### ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про дотримання академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті» від 26.09.2020 (зі змінами від 26.11.2020), згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіатоповіщений (а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

27.04.2022р.

дата



підпис

**РІШЕННЯ ЕКСПЕРНОЇ КОМІСІЇ**  
**КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ**  
**ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ**

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: «Метод побудови та архітектура кіберфізичних систем діагностики зору людини»

Автор: Ковальчук Олексій Васильович

Спеціальність: 123 – Компютерна інженерія

Освітня програма: освітньо-наукова

Науковий керівник: Корецька Людмила Олександрівна, к.т.н, доцент

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи.	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:


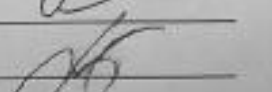

- 1) в тексті кваліфікаційної роботи системами перевірки на плагіат виявлено схожість з деякими документами в частині загальноживаних обов'язкових словосполучень в бланках (титулка, бланк завдання, в структурі підрозділів ВСТУПУ) та в назвах публікацій джерел посилання;
- 2) найбільшу схожість встановлено з одним документом і становить вона 0,9 відсотка в частині загальноприйнятої термінології;
- 3) збігів та ідентичності в тексті кваліфікаційної роботи немає, наявна лише схожість.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення схожості, складає 1,14% і адресується до 74 першоджерела, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи

Професор кафедри КІС

Завідувач кафедри КІС

Л. О. Корецька

О. С. Савенко

Т. О. Говорущенко