

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерної інженерії та управління  
(повна назва)

Кафедра Автоматизації проектування обчислювальної техніки  
(повна назва)

## АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)  
(рівень вищої освіти)


Спеціалізований програмно-апаратний застосунок для тренування  
візуальної реакції  
(тема)

Виконав: студент 2 курсу, групи СКСм-19-1  
Громаков О.С.  
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія  
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Спеціалізовані комп'ютерні системи  
(повна назва освітньої програми)

Керівник  проф. Литвинова Є.І.  
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)

Чумаченко С.В.  
(прізвище, ініціали)

2020 р. Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерної інженерії та управління  
Кафедра Автоматизації проектування обчислювальної техніки  
Рівень вищої освіти другий (магістерський)  
Спеціальність 123 – Комп'ютерна інженерія  
Тип програми Освітньо-професійна  
Освітня програма Спеціалізовані комп'ютерні системи

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри \_\_\_\_\_

(підпис)

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 р.

### ЗАВДАННЯ НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ)

Студентові Громакову Олександрю Сергійовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) Спеціалізований програмно-апаратний застосунок для тренування візуальної реакції

затверджена наказом по університету від "30" 10 2020 р. № 1489Ст

2. Термін подання студентом роботи (проекту) 14.12.2020

3. Вихідні дані до роботи (проекту) \_\_\_\_\_

Плата Arduino Mega 2560 r3, рідкокристалічний дисплей LCD 1602, модуль I2C, сенсорна кнопка, світлодіод, блок живлення

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що потрібно розробити) \_\_\_\_\_

Огляд літератури за темою роботи; \_\_\_\_\_

Вибір методики реєстрації часу реакції; \_\_\_\_\_

Розробка архітектури спеціалізованого програмно-апаратного застосунку для тренування візуальної реакції; \_\_\_\_\_

Розробка апаратного забезпечення; \_\_\_\_\_

Розробка програмного забезпечення; \_\_\_\_\_

Виконання експерименту; \_\_\_\_\_

Висновки \_\_\_\_\_

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів) презентація

6. Консультанти розділів роботи (проекту)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата
Змістовна частина	Проф. каф. АПОТ Литвинова Є.І.		

7. Дата видачі завдання 01.10.2020

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи (проекту)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Отримання і аналіз завдання	01.09.2020	
2	Огляд літератури за темою роботи	01.10.2020	
3	Вибір методики реєстрації часу реакції	10.10.2020	
4	Розробка архітектури спеціалізованого програмно-апаратного застосунку для тренування візуальної реакції	15.10.2020	
5	Розробка апаратного забезпечення	01.11.2020	
6	Розробка програмного забезпечення	10.11.2020	
7	Виконання експерименту	15.11.2020	
8	Оформлення пояснювальної записки	01.12.2020	
9	Оформлення презентації	12.12.2020	
10	Представлення роботи до захисту	15.12.2020	

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник роботи (проекту) \_\_\_\_\_



(підпис)

проф. кафедри АПОТ Литвинова Є.І. \_\_\_\_\_  
(посада, прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 66 сторінок, 37 рисунків, 1 таблицю, 2 додатки, 26 джерел за переліком посилань

МІКРОКОНТРОЛЕР, ARDUINO UNO, ТРЕНАЖЕР РЕАКЦІЇ, ARDUINO IDE

Метою роботи є підвищення ефективності і зменшення вартості спеціалізованого програмно-апаратного застосунку для тренування візуальної реакції за рахунок використання мікроконтролера.

В роботі вирішено такі задачі: вибір методики реєстрації часу реакції, розробка архітектури пристрою для покращення периферійного сприйняття, розробка апаратного і програмного забезпечення, реалізація спеціалізованого програмно-апаратного застосунку на основі контролера Arduino, побудованого на ATmega328.

## ABSTRACT

The explanatory note contains: 66 pages, 37 figures, 1 table, 2 annex, 26 sources

MICROCONTROLLER, ARDUINO UNO, TRAINER FOR REACTION,  
ARDUINO IDE, COORDINATION

The object of the work is to increase the efficiency and reduce the cost of specialized software and hardware applications for training visual response through the use of a microcontroller.

The following tasks are solved in the work: choice of reaction time recording techniques, development of device architecture to improve peripheral perception, development of hardware and software, realize of specialized software-hardware application based on Arduino controller built on ATmega 328.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ.....	11
1.1 Основні відомості про мікроконтролер.....	11
1.2 Огляд плати Arduino.....	12
2 ВИБІР МЕТОДИКИ РЕЄСТРАЦІЇ ЧАСУ РЕАКЦІЇ.....	27
3 РОЗРОБКА СПЕЦІАЛІЗОВАНОГО ПРОГРАМНО-АПАРАТНОГО ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ ТРЕНУВАННЯ ВІЗУАЛЬНОЇ РЕАКЦІЇ.....	35
3.1 Плата Arduino Mega 2560.....	35
3.2 Рідкокристалічний дисплей LCD 1602 .....	38
3.3 Модуль I2C .....	40
3.4 Сенсорна кнопка.....	41
3.5 Світлодіод.....	42
3.6 Резистор.....	43
4 РОЗРОБКА АПАРАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	46
5 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	51
5.1 Загальні відомості.....	51
5.2 Опис програмних модулів.....	54
5.3 Принцип роботи застосунку.....	59
6 ВИКОНАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ .....	60
ВИСНОВКИ.....	64
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	65
ДОДАТОК А.....	68
Код розробленого пристрою.....	68
ДОДАТОК Б.....	74
Графічна частина магістерської роботи.....	74



## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

COB – chip on board  
CPU – Central Processing Unit  
DIP – dual in-line package  
I2C – Inter-Integrated Circuit  
I/O – Input/Output  
IDE – Integrated Development Environment  
GPIO – general-purpose input/output  
LED – Light-emitting diode  
LCD – Liquid Crystal Display  
MCU – Micro Controller Unit  
RAM – Random Access Memory  
RGB – Red Green Blue  
SMD – surface mounted device  
SPI – Serial Peripheral Interface  
SVT – Sports vision training  
USB – Universal Serial Bus  
ГСА – граф-схема алгоритму  
СКС – спеціалізовані комп'ютерні системи  
ЦП – центральний процесор

## ВСТУП

Компанія Gartner Inc., котра створює глобальну технологічну кібер-моду, в 2019 році виділила п'ять основних напрямів, які значно вплинуть на бізнес, суспільство і людей протягом наступних п'яти-десяти років: розширені можливості людини, сенсори та мобільність, цифрові екосистеми, а також вдосконалений штучний інтелект. В розширенні здібності людини (Augmented human) входять соціально-когнітивні технології, які застосовуються в науці, освіті, промисловості та медицині. Вони можуть вплинути на фізичні частини людського тіла, включаючи біочіпи та емоційний штучний інтелект. Деякі з них будуть мати «надлюдські здібності» - наприклад, протез, який перевищує силу людської руки, інші винайдуть шкіру, чутливу до дотиків. Ці технології в кінцевому випадку дозволять поліпшити здоров'я, інтелект і силу людей.

Когнітивні тренажери – це спеціальні програми, що розвивають когнітивні здібності. Вони пропонують користувачеві виконувати певні вправи, які допомагають йому тренувати концентрацію уваги, логічне мислення, пам'ять. Найчастіше когнітивні тренажери реалізуються в ігровій формі, що дозволяє зробити тренування більш захоплюючим.

Мільйони користувачів зараз користуються тренажерами для виявлення можливих когнітивних порушень і розладів, а також тренування за допомогою персональної програми тренінгу, відповідно до своїх потреб.

Прикладом зазначених пристроїв є тренажер візуальної реакції, що базується на використанні реакції людини на світло для тренування периферійного сприйняття координації рук, очей та часу візуальної реакції. Користуючись тренажером, люди мають змогу покращити увагу, зосередженість та координацію.

Програмно-апаратний застосунок може використовуватись для спортивного тренування та нейрокогнітивної реабілітації. Підвищена здатність отримувати візуальні подразники, психічно обробляти цю інформацію та потім

реагувати за допомогою рухів має велике значення для підвищення продуктивності людини. Тренажери використовують під час підготовки пілотів, футболістів, спортсменів, у медицині для реабілітації когнітивних функцій.

Значна частина випробувань, який може здолати спортсмен в ході тренувань та змагань, має високі вимоги до точності та швидкості реагування на ситуацію або дій інших спортсменів. Успішний старт, вірно обраний момент у гонці чи точно відданий пас, все це ґрунтується на правильному розумінні ситуації, високої концентрації і швидкості реакції. Саме тому важливим є ефективне тренування і діагностика часу реакції, причому не тільки на одиночний сигнал, але і більш складної реакції вибору з прийняттям правильного рішення за короткий період часу.

Метою роботи є підвищення ефективності і зменшення вартості спеціалізованого програмно-апаратного застосунку для тренування візуальної реакції за рахунок використання мікроконтролера.

Для досягнення мети роботи необхідно вирішити такі завдання:

- вибір методики реєстрації часу реакції;
- розробка архітектури пристрою для покращення периферійного сприйняття;
- розробка апаратного і програмного забезпечення;
- реалізація спеціалізованого програмно-апаратного застосунку на основі контролера Arduino, побудованого на ATmega328.

Об'єкт дослідження – процес тренування когнітивних функцій.

Предмет дослідження – моделі та методи автоматизованого тренування візуальної реакції.

## 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ

### 1.1 Основні відомості про мікроконтролер

Мікроконтролер (Micro Controller Unit, MCU) – це мікросхема, що застосовується для управління електронними засобами. Як показано на рис. 1.1 вона містить у собі електронно обчислювальний та логічний блок, пам'ять, порти введення-виведення та декілька інших компонентів [1,2].

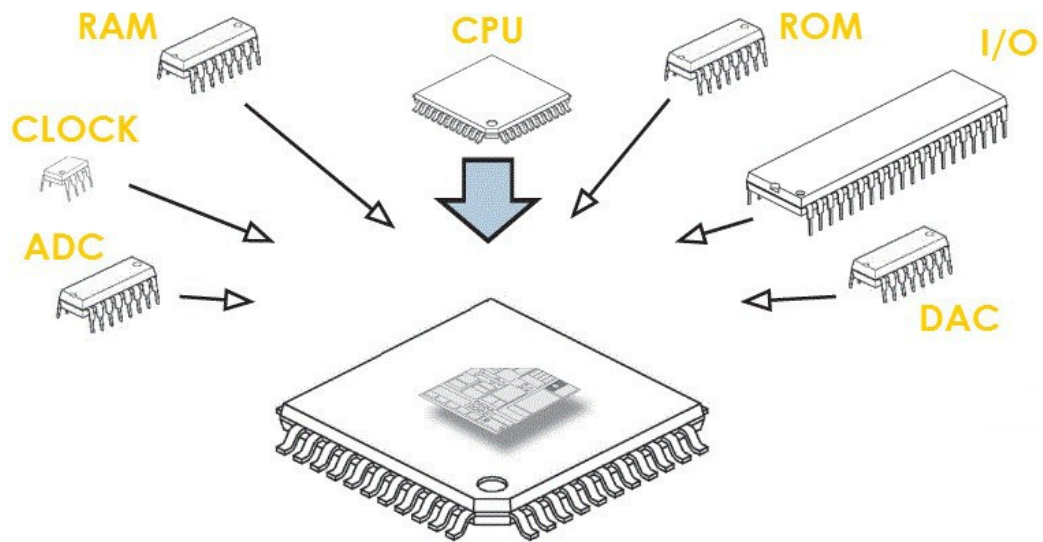


Рисунок 1.1 – Основні частини мікроконтролера

Іноді мікроконтролер можна розглядати як маленький комп'ютер, із за основних компонентів, які є у ньому. Розглянемо деякі компоненти мікроконтролера детальніше:

– усі комп'ютери мають ЦП (центральний процесор), він виконує арифметичні дії і логічні операції за допомогою АЛП (арифметико-логічного пристрою) та блоку управління, який обробляє усі команди процесора;

– порти введення-виведення мікроконтролер застосовує для зв'язку з оточуючим світом. Вхідні засоби, такі як перемикачі, клавіатура, датчики

температури та багато інших, отримують інформацію, а потім передають її до ЦП. Отримавши дані він відправляє сигнал на вихідні порти;

– компонент, який зберігає часові дані задля швидкого доступу, називається RAM. Він забезпечує швидкий доступ для читання та запису до пристрою зберігання даних;

– одним із важливих компонентів мікроконтролера є системна шина.

Системна шина – це група проводів, які з'єднують ЦП з іншими периферійними пристроями, такими як пам'ять, порти введення – виведення, та інші допоміжні компоненти [2].

Мікроконтролер збирає вхідні дані, обробляє інформацію та виконує певну дію на основі зібраної інформації. Зазвичай він працює в діапазоні від 1 МГц до 200 МГц, тому їх необхідно проектувати так, щоб вони споживали менше енергії, оскільки мікроконтролер може бути вбудований в інші засоби.

Мікроконтролери застосовуються у різних побутових пристроях, телефонах, обчислювальній техніці, сучасних приладах та системах розумного будинку, вони мають набагато більшу галузь застосування, ніж здається на перший погляд [3].

## 1.2 Огляд плати Arduino

Доки не було платформ, таких як Arduino, програмне та апаратне забезпечення було дорогим та складним. Багато університетів та дослідних центрів розробляли більш дешеві та прості альтернативи наприкінці двадцятого століття. У 2005 році в університеті Італії студент винайшов плату, яка після певних удосконалень отримала назву Arduino [4].

Arduino представляє собою просту платформу для розробки різних ідей на мікроконтролерах. Плата Arduino містить: мікроконтролер ATmega, з'єднувач USB, з'єднувач живлення, цифрові входи\виходи, кварцовий резонатор, стабілізатор напруги [5].

Arduino – це маленький комп'ютер який можна програмувати для обробки входів та виходів між пристроями і зовнішніми компонентами, що під'єднуються. Arduino будуються на основі мікроконтролерів Atmel та елементів обв'язки для написання програмного забезпечення. На платі подається напруга +3.3В або +5В [6].

До Arduino можна під'єднати світлодіоди, датчики температури, модулі Ethernet, матричні дисплеї або практично все, що виводить дані або може контролюватися [7].

Програмувати Arduino легше, ніж програмувати окремо мікроконтролери, досить лише кабелю USB та програмного забезпечення Arduino, яке можна знайти на офіційному сайті. У Arduino мова програмування C/C++, але має спрощений синтаксис, відносно легкий у засвоєнні. В інтернеті, у відкритому доступі, існує багато прикладів програм, що дозволяє повністю освоїти особливості мови програмування [6,10].

Існує багато інших мікроконтролерів і платформ для обчислень (наприклад, Uno, Nano, Leonardo, Mega, Duemilanove, Mini Pro), серед яких найбільш популярним та універсальним є Arduino. Особливості Arduino:

- Arduino Uno застосовується в робототехніці, для створення різних автоматичних систем, для управління розумним домом. Плата містить: мікроконтролер ATmega328, який наділений великим об'ємом пам'яті, з'єднувач USB, з'єднувач живлення, 14 цифрових входів\виходів, 6 аналогових входів, кварцовий резонатор, кнопка скидання, що дає платі відмінні технічні характеристики. Мікроконтролер Arduino Uno наведений на рис. 1.2 [6,8,9].

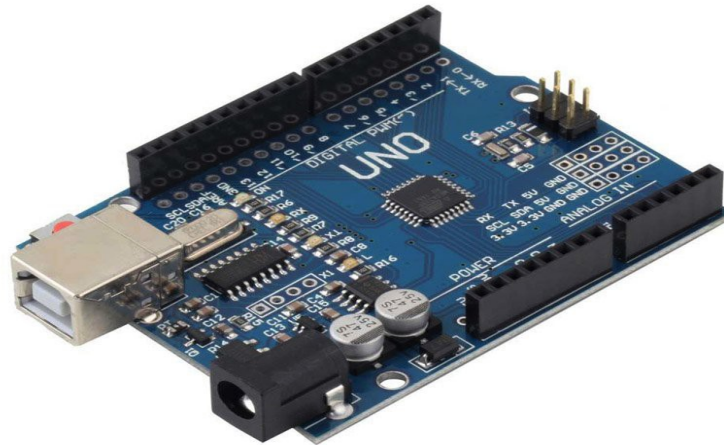


Рисунок 1.2 - Мікроконтролер Arduino Uno

В Arduino Mega, що показаний на рис. 1.3, є п'ятдесят чотири цифрових піни. Кожен з виходів може працювати у режимі входу чи виходу, використовуючи функції `digitalWrite/Read` та `pinMode`. Плата потужна та універсальна, працює на більш потужному мікроконтролері ATmega 2560 або ATmega 1280, має більше об'єму пам'яті та дозволяє перезавантажуватись програмним методом, а не кнопкою [6,8,9].

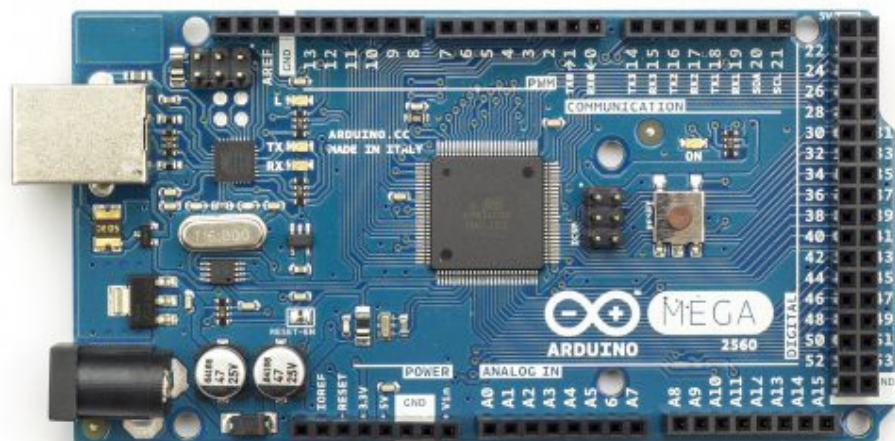


Рисунок 1.3 - Мікроконтролер Arduino Mega

Мікроконтролер Arduino Nano, відображений на рис. 1.4, відрізняється від інших своєю компактністю, має невеликі розміри. Плату можна застосувати для різних мініатюрних засобів будь якого призначення. Мікроконтролером цієї плати є ATmega 328. Функціональність схожа з платою Arduino Dueіlanove, однак відрізняється конструктивно [6,8,9].

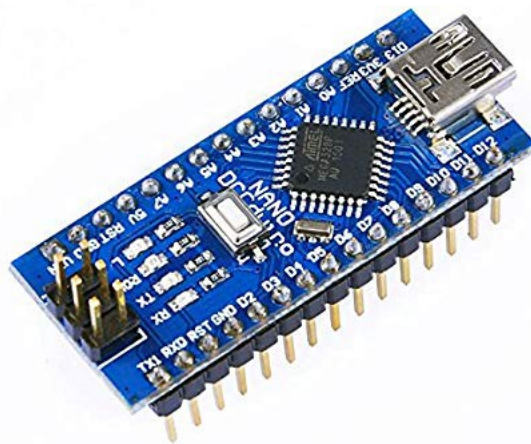


Рисунок 1.4 - Мікроконтролер Arduino Nano

Arduino Leonardo, наведений на рис. 1.5, працює на базі мікроконтролера ATmega32U4. В цілому порядок програмування та роботи такий самий, як і в інших моделях, але є декілька відмінностей. Однією з них є те, що його USB-контролер вбудований в сам мікроконтролер ATmega32U4, що виключає необхідність в додатковому процесі. Об'єднання двох функцій в один процесор дозволило зробити мікроконтролер більш гнучким для взаємодії з комп'ютером [6,8,9].

Arduino має ряд переваг: низька вартість, крос-платформеність, легке та зрозуміле середовище програмування. Arduino можна розширяти за допомогою

спеціалізованих мікросхем (GPS, LED, Ethernet, Motor shields), які можна підключити до Arduino, щоб отримати додаткову функціональність [7,10].

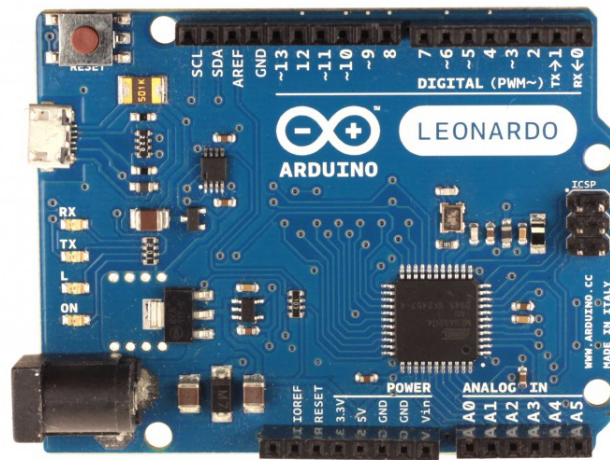


Рисунок 1.5 - Мікроконтролер Arduino Leonardo

У Arduino є офіційне програмне забезпечення, яке працює на багатьох платформах. Середовище Arduino IDE – застосовується для створення керуючих програм та прошивки мікроконтролерів. IDE містить вікно для написання коду, компілятор та відлагоджувальник, як показано на рис. 1.6.

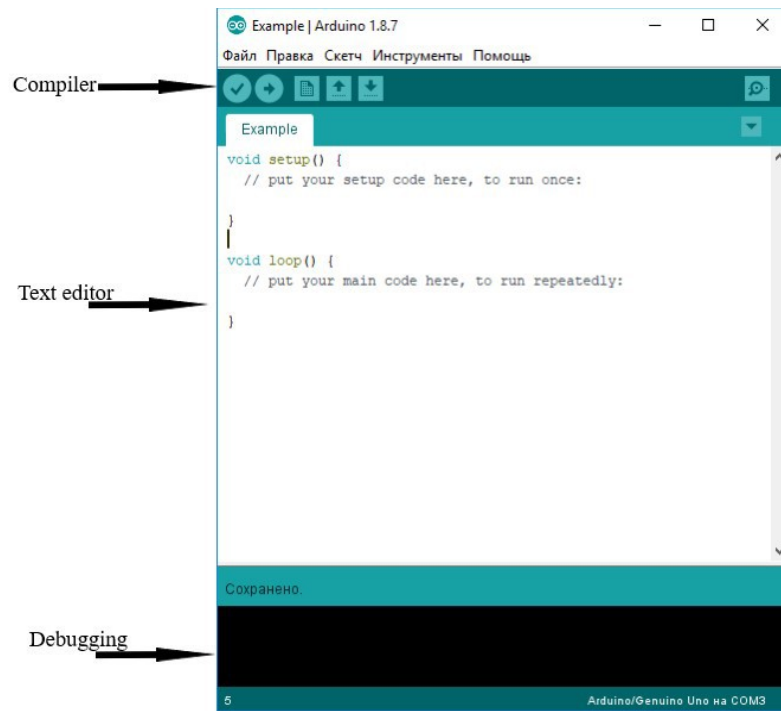


Рисунок 1.6 – Arduino IDE

IDE можна завантажити на багато платформ, що допомагає Arduino розвиватися. Він сумісний з основними світовими платформами Windows, Mac, Linux .

Програма, написана в середовищі, називається скетч, її можна скомпілювати та завантажити на мікроконтролер. У вікні “Debugging” з’являються пояснення чи повідомлення про помилку у разі неправильного написання коду.

Однією з особливостей середовища розробки є велика кількість бібліотек, які знаходяться у відкритому доступі і дозволяють працювати з різними датчиками, платами та модулями.

### 1.3 Інформація про світлодіоди

Світлодіод – це напівпровідниковий прилад, що випромінює світло при протіканні через нього електричної напруги. Він містить в собі область дотику двох напівпровідників з різними типами провідності (р-п-перехід) та здатний перетворити електричну напругу у світло.

Першовідкривачем є британський інженер Генрі Раунд, який вперше спостерігав ледь помітне світло, що виходило з кристала карбїду кремнію в 1907 році. Пізніше в 1923 році Олег Лосєв спостерігав подібне свїчення, виявивши явище електролюмінесценції, але повністю зрозуміти це явище можна було в 1948 році після винаходження транзистора.

Багато людей вважають, що саме в 1962 році світлодіод був створений групою вчених під керівництвом Ніка Голоняка.

В 1971 році Жак Панків винайшов синій світлодіод, хоча винахід був дорогим та тусклым, але вважається, що саме він поклав початок промислового випуску синіх світлодіодів. У 1972 році, були відкриті світлодіоди жовтого та зеленого кольору, а вже у 1993 році японський інженер Судзи Накамура винайшов недорогий над'яскравий синій світлодіод. Після цього було створено RGB-світлодіоди, що мають поєднання червоного, зеленого та синіх кольорів.

Ближче до 2008 році світлодіоди зайняли на ринку приблизно 50% у сфері мобільних засобів, у рекламі та транспортному освітленні 15%. Вартість світлодіодів почала знижуватися десь у 2012-2013 роках, коли збільшились об'єми продажу, що сприяло появі інтересу у споживачів [10].

Найбільша область застосування світлодіодів – це електронні табло, екрани та автомобільна промисловість. Застосування світлодіодних ламп розширюється з кожним роком, вони є самим довговічним та надійним джерелом світла, також значно зменшують рівень споживаної електроенергії.

Чіткого розуміння можливостей застосування світлодіодів цілком немає, тому рух на ринку світлодіодів залишається хаотичним.

В основі роботи світлодіоду лежить р-n-перехід, він побудований на взаємодії двох напівпровідників типу р-positive, позитивний тип, або дірковий та n-negative, негативний тип, або електронний. Частинки направляються до полюсів, що притягуються [11,12]. В результаті відбувається виділення енергії та ми бачимо випромінювання світла. Для випромінювання світла всередині активної зони напівпровідника слід дотримуватися двох умов:

а) кількість дефектів, що впливають на процес рекомбінації, повинна бути мінімально можливою, а чистота матеріалів напівпровідникового кристалу максимально великою;

б) простір забороненої зони по ширині має бути розташований близько до енергії випромінювальних квантів всередині діапазону частот.

Ця складна технічна задача може бути вирішена, шляхом створення декількох шарів р-n-переходів, коли утворюється складна гетеро-структура.

Критичним в забезпеченні роботи світлодіоду є обмеження температури в переходах за допомогою відповідно створених теплових виводів та інших варіантів конструктивних рішень для контролю за температурою.

Багато світлодіодів мають схожу конструкцію: контакти для підключення, напівпровідниковий кристал, з'єднувальні провідники для підключення контактів до кристалу, корпус та лінза.

В основі світлодіоду закріплюються анод та катод. Засіб закритий лінзою, на катоді встановлений кристал. Будова світлодіоду наведена на рис. 1.7 [12].



Рисунок 1.7 – Будова світлодіоду

В даний час світлодіоди мають велику популярність. У кожного виробника своя класифікація, тому чітко розділити їх за різними параметрами не вдасться, але різні типи світлодіодів можна об'єднати в класи за деякими характерними ознаками, розглянемо деякі з них.

Освітлювальні світлодіоди – це надійні пристрої, мають велику потужність, випромінюють білий колір та використовуються для забезпечення потрібного рівня освітлення замість звичайних джерел світла.

За способом монтажу освітлювальні світлодіоди бувають SMD-типу. SMD світлодіод складається з підкладки, яка може відводити тепло, кристал світлодіоду який припаяний до корпусу та розташований на підкладці. Зверху кристал закритий лінзою [13].

Освітлювальні світлодіоди бувають:

а) COB типу – вони представляють собою інтеграцію великої кількості кристалів SMD в одному корпусі, які надалі покриваються люмінофором. Світлодіод представлений на рис. 1.8;

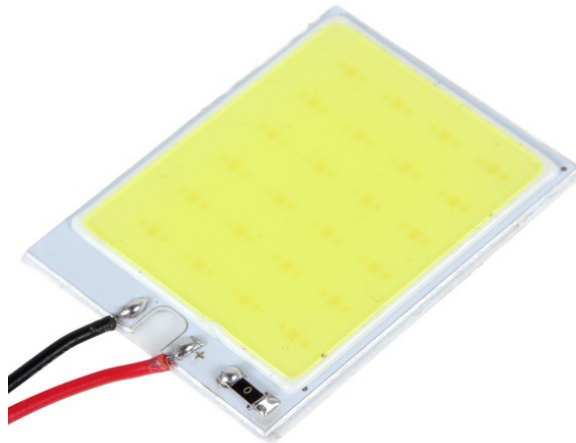


Рисунок 1.8 – COB матриця

б) Filament світлодіод наведений на рис. 1.9 – використовується тільки для освітлення та декоративного застосування. Спектр освітлення, порівняно з SMD та COB значно приємніший. При цьому зберігається, як низьке енергоспоживання так і довгий термін придатності [13].



Рисунок 1.9 – Filament світлодіоди в лампах

Індикаторні світлодіоди є дешевшими та менш потужнішими. Виготовляються в різних корпусах, можуть бути круглої або прямокутної форми, такі індикатори застосовуються для підсвічування дисплеїв або панелей. Також індикаторні світлодіоди, що випромінюють інфрачервоний луч світла, застосовуються в пультах дистанційного керування. Якщо порівнювати за типом лінз, то в першу чергу можна виділити світлодіоди з розсіювальною лінзою, до них відноситься освітлювальні та індикаторні, які можуть мати ще й фокусувальну форму лінзи. Також лінза може бути пофарбована у колір відповідного світлодіоду.

Індикаторні світлодіоди зазвичай відносяться до DIP типу (являють собою світловипромінювальний кристал у корпусі з парою контактів), але можна виділити деякі інші групи:

а) Straw Hat показано на рис. 1.10 – мають великий кут розсівання світлового потоку, дуже схожі зі звичайними циліндричними LED, але зі збільшеними радіусом лінзи та меншою висотою;



Рисунок 1.10 – Straw Hat світлодіод

б) Super Flux – бувають різних кольорів в квадратному прозорому корпусі в чотирьох виходами. Кристал розташований близько до стінки лінзи, тому кут розсіювання може досягати від 100 до 140 градусів. Використовуються дані світлодіоди в автомобілях, рекламі, декорі та інших місцях де потрібне рівномірне підсвічення з низьким енергоспоживанням. Приклад світлодіоду наведено на рис. 1.11;



Рисунок 1.11 – Super Flux світлодіод

в) SMD – найбільш розповсюджений тип для багатьох джерел світла. Являє собою кристал, розташований на поверхні плати. На рис. 1.12 показано деякі можливі варіанти конструкції світлодіоду. Завдяки простоті монтажу, використовуються світлодіодні стрічки [13].



Рисунок 1.12 – SMD світлодіоди

Основні характеристики світлодіодів – це напруга, потужність, сила світла та струму, кут розсіювання та габарити:

а) напруга у світлодіодів залежить від матеріалів та хімічних елементів, що застосовуються в якості напівпровідників. Напруга світлодіоду залежить від кольору. Якщо світлодіод горить жовтим або червоним кольором то його напруга може знаходитися від 1.8 до 2.4 Вольт;

б) сила струму визначає наскільки яскраве буде свічення. Сила струму освітлювальних елементів зазвичай 20мА, а індикаторних світлодіодів від 20-40мА;

в) потужність світлодіоду залежить від падіння напруги на ньому та робочого струму. Напруга може бути від 1.5 до 4 В, а робочий струм індикаторних світлодіодів зазвичай становить 15-20 мА;

г) кут розсіювання у світлодіодів може бути від 20 до 120 градусів. Найяскравіше світло знаходиться в центрі кута, а до країв воно розсіюється. Таким чином, світлодіоди зазвичай підходять для освітлення певного місця.

В залежності від матеріалу з якого зроблений світлодіод, він може випромінювати світло в заданому хвильовому діапазоні. За табл. 1.13 розглянемо які бувають діапазони хвиль в залежності від кольору [14,15].

Таблиця 1.13– Видимий спектр випромінювання.

<b>Колір</b>	<b>Діапазон хвиль, нм</b>
Фіолетовий	380-440
Синій	440-485
Голубий	485-500
Зелений	500-565
Жовтий	565-590
Оранжевий	590-625
Червоний	625-740

Чітко класифікувати світлодіоди досить складно, оскільки певні моделі використовуються для різних цілей. Тем не менш, основна галузь їхнього застосування – це індикація та освітлення. Світлодіодні системи мають багато переваг, які впливають на якість освітлення і на особливості використання цих систем:

- світлодіоди легко працюють на низькій температурі та здатні витримати вібрації, це дозволяє використовувати їх в складних умовах, де неможливе встановлення звичайних ламп;
- якісна розробка світлодіодних систем забезпечує легку установку завдяки простим з'єднувачам для підключення;
- порівняно з люмінесцентними лампами, світлодіоди є направленими джерелами світла, освітлюючи тільки певний напрям;
- лампи та ліхтарі в яких використовуються LED технології, виділяють мало інфрачервоного та ультра - фіолетового випромінювання, тому їх часто використовують для освітлення різних музеїв та вітрин магазину [15].

В даний час відбувається різке прискорення науково-технічного прогресу, виникають нові галузі які вивчають складні біологічні процеси, увагу, пам'ять, та складні форми моторних і інтелектуальних процесів.

Одним з підходів до поліпшення когнітивних функцій є зміна роботи периферійного сприйняття. При зниженні обсягу додаткових коригувальних, мало-амплітудних саккад, можна очікувати поліпшення виконавчих функцій, як за рахунок зменшення надходження інформації через зоровий аналізатор, так і за рахунок звільнення ресурсів реалізації ІФ.

Для тренування вищеописаних функцій було створено прилад, в якому вдало поєднується навантаження по швидкості та розсіювання в просторі стимулів, на появу яких потрібно реагувати.

Серед симптомів, що виникають у людей, зокрема, є головний біль, запаморочення, порушення сну та зорова дисфункція. Ці симптоми важко об'єктивно оцінити та прослідкувати повторно. Нові симптоми можуть з'явитися після струсу мозку, вони включають дисфункцію центрального поля зору, розмиття, подвійне бачення або порушення периферійного зору. Зорова дисфункція пов'язана з тим, що людина відчуває себе повільніше, ніж зазвичай. Уповільнений час реакції може вважатися ризиком для спортсменів при поверненні до гри через підвищену ймовірність повторного пошкодження [16].

Список видів спорту, в яких починають застосовувати методи тренінгу, неухильно і стрімко розширюється. На сьогодні їх застосовують в таких видах, як футбол, волейбол, настільний теніс, баскетбол.

Наприклад, в волейболі нападники, у яких гарно розвинений периферійний зір, можуть добре бачити як блок перед сіткою, так і розташування захисників, які перебувають на полі за блокуючим. Розвиток периферійного зору можуть поліпшити показники спортсменів різних рівнів. Незалежно від віку чи рівня спортивної майстерності гравців, подібні тренування сприяють прийняттю правильних рішень та покращують здатність комплексного сприйняття ситуації на майданчику.

Розвиток поля зору у юних баскетболістів в процесі цілеспрямованої тренувальної діяльності дозволило поліпшити технічно-тактичну підготовленість, розширити арсенал технічних прийомів і тактичних взаємодій,

виробило здатність швидко оцінювати правильну обстановку на майданчику та вибирати найбільш раціональний спосіб взаємодії у захисті та нападі [17].

## 2 ВИБІР МЕТОДИКИ РЕЄСТРАЦІЇ ЧАСУ РЕАКЦІЇ

Час реакції – час, що проходить з моменту сприйняття інформації до відповідної реакції на неї. Іншими словами, це здатність обробляти, виявляти та давати відповідну реакцію на інформацію. Час залежить від декількох факторів:

- сприйняття (можливість бачити, відчувати або чути стимул має важливе значення для швидкої реакції);
- обробка інформації (своєчасна реакція, вміння концентруватися і зрозуміти інформацію);
- відгук (розвинута моторика, щоб реагувати на стимул).

Якщо якийсь з цих процесів порушено, це негативно вплине на час відгуку та, наприклад, спортсмен буде в не вигідному положенні відносно інших.

Різні когнітивні функції, в тому числі і час реакції, можна ефективно оцінити за допомогою комплексного тестування. Тести для оцінки реакції засновані на класичних тестах, таких як: NEPSY, тест зміни уваги TOVA, тривала підтримка функцій СРТ, тест на порушення пам'яті ТОММ, тест на задачі візуальної організації Хупера VOT. Крім часу реакції можна виміряти робочу пам'ять, зорове сприйняття, сфокусовану увагу, візуальне сканування і просторове сприйняття [18]. Приклади тестів [18]:

- тест розслідування REST-COM: на короткий час з'являються малюнки та потім потрібно якнайшвидше вибрати необхідне слово, відповідне до малюнку;
- тест на декодування VIPER-NAM: на екрані ненадовго з'являються чотири літери, і тільки одна з них відповідає першій букві назви об'єкта, необхідно правильно вибрати цю букву;
- тест на розпізнавання WOM-REST: на екрані з'являються три об'єкти, необхідно згадати послідовність їх появи; потім з'являються чотири серії з трьох об'єктів, які відрізняються від раніше представлених;

– тест на швидкість REST-NECOOR: на екрані з'являється синій квадрат, необхідно якомога швидше натискати на нього, не виходячи за рамки, чим більше разів буде натиснута кнопка, тим кращими будуть отримані результати.

Для вимірювання часу реакції при вивченні різних психічних явищ використовуються методи, наведені нижче. Хронометрія – це один з перших методів, на думку голландського фізіолога Франса Дондерса, засновника одного з найбільш важливих напрямів визначення зв'язку між «певними особливостями мозкової діяльності, уявлення, зорової функції». Він першим розробив схему експерименту, що дозволяє визначити часові параметри протікання психічних процесів. Він припустив, що ускладнення експериментальної частини призведе до збільшення часу реакції. Згідно з класичним уявленням загальний час реакції складається з таких компонентів (рис. 2.1).



Рисунок 2.1– Схема реакції

Поява комп'ютерів дозволила спростити організацію хронометричних досліджень та автоматизувати процес тестування. Кожна методика має декілька серій, в яких реєструється різні типи реакції, основними з яких є:

а) проста сенсомоторна реакція, коли учасник повинен якнайшвидше відреагувати на появу будь якого стимулу; час цієї реакції складається з часу порушення рецепторів;

б) диференційна реакція простого вибору коли учасник реагує на стимули певного типу та ігнорує інші; час даної реакції збільшується з рахунок появи додаткової інформації;

в) диференційна реакція складного вибору коли учасник відповідає на кожний тип стимулу; час складного вибору реакції ще більше зростає, за рахунок збільшення тривалості прийняття рішення, яким чином реагувати на той чи інший стимул [19].

Завдання в методиках обирається таким чином, щоб можна було максимально ефективно оцінити вплив різних факторів на загальний час реакції. Вимірювання часу реакції є одним з перспективних методів в психофізичних дослідженнях, а поява різних технологій в значній мірі підвищує інтерес до методів і схем реєстрації часу реакції. Безсумнівними перевагами подібних методів є їх об'єктивність, швидкість і простота у використанні.

У світі спорту прагнення до досягнення оптимальних результатів широко поширене. Основна увага приділяється розвитку необхідних фізичних здібностей, таких як сила, швидкість та витривалість. Інший акцент робиться на розвитку навичок для конкретних видів спорту, котрі вимагають значного повторення зі зворотнім зв'язком про оптимальну біомеханіку. В залежності від виду спорту спортсмени можуть працювати над психологічними проблемами, які заважають або підвищують продуктивність. Роль факторів зорової діяльності в спорті протягом багатьох років привертала пильну увагу; проте багато спортсменів і зараз мають обмежений доступ до методів оцінки і покращення результатів. Зір і обробка зображень визнані важливими компонентами успішних спортивних досягнень. Процес оптимізації зору і

навичок обробки зображень починається с оцінки тих факторів, які визначені як важливі для відповідних спортивних завдань [20].

Оскільки візуальні вимоги, критично важливі для успіху в спорті, можуть сильно відрізнятись, для кожного виду спорту і спортивної позиції слід проводити ретельний аналіз візуальних завдань. Ефективна оцінка візуальних характеристик допомагає визначити, які візуальні фактори принесуть найбільшу користь від поліпшення.

Професійна література багата дослідженнями, котрі демонструють, що високі досягнення спортсмени показують краще, ніж не спортсмени чи спортсмени з більш низькими показниками, за різними параметрами візуальних, перцептивних, когнітивних і рухових здібностей. В роботі [21] зі спортивної експертизи прийшли до висновку, що спортсмени з більш високими досягненнями краще здатні виявляти перцептивні сигнали, робити більш ефективні рухи очей, краще виконувати вимірювання швидкості обробки і уваги в порівнянні з менш досвідченими спортсменами.

Розвиток візуальних і когнітивних навичок залежить від вимог спортивного досвіду кожного спортсмена, тому що ці вимоги можуть сильно відрізнятись в широкому спектрі видів спорту. Огляд основних оцінок, що безпосередньо впливають на спортивні показники:

– статична гострота зору: міра видимості зору спортсмена. Дефіцит при статичній гостроті зору може спричинити нездатність чітко та швидко бачити і розпізнавати дрібні предмети;

– динамічна гострота зору: здібність бачити предмети чітко, поки вони в русі. Бачити чітко предмет у русі вимагає більш вимогливого зору, ніж огляд нерухомого предмету. Ця оцінка допомагає спеціалісту зрозуміти, чи зможе спортсмен швидко та плавно відслідкувати об'єкти, з правильною обробкою, щоб мозок зміг її інтерпретувати [21];

– моторика очей: необхідно оцінити плавність, точність, сакадичні та вестибулярні рухи, у низькій та високій амплітуді, оцінки відстаней у далекому

та близькому зорі. Ця оцінка допомагає спеціалісту дізнатися, чи здатна людина правильно зафіксувати, наприклад у спорті, товаришів по команді чи суперників. У нединамічних видів, таких як стрільба по цілях, здатність підтримувати стійку фіксацію є життєво важливим аспектом успішної роботи. Отже, оцінка окорухової функції може включати оцінку рухів очей, що переслідують, сакадичні рухи та стійкість фіксації;

– акомодация: механізм зору, який дозволяє спеціалісту зі спортивного зору оцінити, чи зможе спортсмен підтримувати чіткий та плавний зір, змінюючи очі на різних відстанях. Основна ідея полягає в тому, що сила та гнучкість у фокусуванні забезпечують кращу стабільність зорової інформації для спортсмена, особливо коли він має справу із надмірною втомою та психологічним стресом;

– стереопсиса являється важливим фактором зору для досягнення результатів у багатьох видах спорту, але може мати обмежені можливості для стрілецьких видів спорту, в яких спортсмен дивиться в монокуляр. Стереопсиса зазвичай оцінюється на близькій відстані, але вимоги до неї в більшості спортивних ситуацій знаходяться на відносно великій відстані [22];

– сприйняття кольору. Простий, економічний і швидкий тест, такий як тест Ісхари, дозволяє виявити аномалії зору. Спеціаліст може компенсувати або порадити, надаючи допомогу у підборі кольорів та предметів, які будуть знаходитися у полі зору, щоб запобігти труднощі у розпізнаванні.

Вторинні навички у спортивному зорі:

– координація очей-рук, очей-ніг, очей-тіла відноситься до точного контролю тіла у відповідь на візуальну інформацію і є центром спортивних здібностей. Координація очі-рука-нога передбачає інтеграцію очей, рук та ніг в цілому. Очі повинні вести і направляти рухову систему тіла. Наскільки швидко і точно організм реагує на візуальне введення інформації, відокремлює елітних спортсменів від середніх [23];

– швидкість розпізнавання полягає в тому, щоб швидко обробляти візуальну інформацію. Швидкість обробки може бути виміряна як час перевірки. Коротший час перевірки дозволяє приймати точні рішення з меншою тривалістю стимулу, ніж із тривалим часом перевірки. Чим швидше спортсмен зможе прийняти візуальне рішення щодо спортивного виклику та задачі, тим більше він матиме конкурентну перевагу над своїм суперником;

– зорова пам'ять – це здатність очей та мозку розпізнавати певні об'єкти та вміти швидко та ефективно обробляти цю інформацію. Це дуже важливе вміння для спортсменів, яке можна вдосконалювати та навчити.

Зорові та фізичні здібності можна тренувати та вдосконалювати [24,25]. Існують багато факторів, що впливають на спортивні показники, і надзвичайно важливим є тренування. Спортсмени зазвичай тренують свої м'язи та стратегії. Але мало уваги приділяється тренуванню саме візуальних здібностей [22].

Існують підходи до SVT, які за допомогою саме тих методів діагностики, що було описано, модифікували традиційні програми зорової терапії та поєднували зі збільшенням інтеграції інших сенсорних, рухових та когнітивних потреб для кращого моделювання вимог до візуальної продуктивності, які можуть з'явитися у спорті. Ці підходи обмежені, оскільки їх відокремлюють фактори візуальної продуктивності і створюють моторне повторення цих дій в SVT.

Підходи SVT значно вдосконалюються завдяки різним програмам, які використовують інформацію про структуру та функції зорової системи в поєднанні з останніми інноваціями. Час зорової-рухової реакції – це здатність, котра частіше зустрічається в SVT, тому що багато спортивних ситуацій потребують від спортсмена швидкої реакції [26-28].

В різних видах рухової діяльності елементарні форми прояву швидкісних здібностей виступають в різних поєднаннях з іншими якостями і технічними діями. У цьому випадку має місце комплексний прояв швидкісних здібностей. До них відносяться: швидкість виконання цілісних рухових дій, здатність

якнайшвидше набрати максимальну швидкість людини, так як вона обумовлена не тільки рівнем розвитку швидкості, але й іншими факторами, зокрема технікою володіння, координацією [29].

Максимальна частота рухів залежить від швидкості переходу рухових нервових центрів зі стану збудження в стан гальмування і назад, тобто вона залежить від нервових процесів. На швидкість, що проявляється в рухових діях впливають: частота нервово-м'язової пульсації, швидкість переходу м'язів з фази напруги в фазу розслаблення, ступінь включення в процес рух скорочення м'язових волокон та їх синхронна робота.

За даними наукових досліджень, швидкість реакції приблизно на 60%-80% передається спадково, а швидкість в цілісних рухових актах, бігу, залежить приблизно в рівній мірі від генотипу і середовища.

Роль факторів візуальної продуктивності у спорті протягом багато років приділяла неабияку увагу, але багато спортсменів все ще мають обмежений доступ до підходів оцінки та вдосконалення. Спортсмени, які змагаються, постійно шукають шляхи підвищення своїх показників у своєму виді спорту. Основна увага приділяється розвитку необхідних фізичних здібностей, таких як сила, швидкість, спритність та витривалість. Інший основний акцент робиться на розвитку навичок для конкретних видів спорту, що вимагає значного повторення із зворотнім зв'язком щодо оптимальної біомеханіки. Залежно від виду спорту, спортсмени також можуть працювати над психологічними проблемами, які можуть підвищити результативність.

Першим кроком є оцінка первинних та вторинних здібностей до зорового виконання, властивих та основоположних для зорових вимог та спорту, які практикує спортсмен. Професійні спортсмени мають кращі фізичні, рухові та зорові здібності, ніж звичайні спортсмени, і ці навички піддаються тренуванню та вдосконаленню за допомогою візуального спортивного тренування. Тому, підходи SVT надають можливість для спортсмена покращити зір та фактори

візуальної продуктивності, які є важливими для спорту. У більшості видів спорту зір є найважливішим елементом для успішної діяльності [30].

### 3 РОЗРОБКА СПЕЦІАЛІЗОВАНОГО ПРОГРАМНО-АПАРАТНОГО ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ ТРЕНУВАННЯ ВІЗУАЛЬНОЇ РЕАКЦІЇ

#### 3.1 Плата Arduino Mega 2560

За допомогою Arduino Mega 2560 r3 (рис.3.1) можна створювати проекти, у яких не вистачає можливостей Arduino Uno. Із усіх плат сімейства Arduino, Arduino Mega має максимальну кількість пінів та розширений інтерфейс. Також в Arduino Mega більше пам'яті.

Mega 2560 R3 має: тактувальний кварц на 16 МГц, 4 апаратних порти UART, 54 цифрових порти виходу/входу (15 з яких використовуються як виходи ШІМ), 16 аналогових входів, роз'єм живлення, USB конектор, кнопка RESET и роз'єм для внутрішньосхемного програмування ICSP. Arduino Mega 2560 R3 сумісна с великою кількістю плат розширення, розроблених для платформ Uno або Duemilanove.

Зазначена плата – це гарний вибір для реалізації проектів, що потребують великого об'єму пам'яті та необхідність під'єднання великої кількості периферійних пристроїв.



Рисунок 3.1 – Arduino Mega 2560 R3

Функціональність плати не відрізняється від оригіналу, тому переплачувати за контролер Arduino Uno R3 не має сенсу.

Основні характеристики:

- мікроконтролер: ATmega2560;
- напруга: 7 - 12В;
- цифрові входи та виходи: 54, 15 з яких можуть використовуватися як ШІМ;
- пам'ять 256 Кб, з яких 8 Кб використовує завантажувач;
- ОЗУ 8 Кб (ATmega2560);
- EEPROM 4Кб (ATmega2560);
- тактова частота 16 МГц;
- постійна напруга через вхід/вихід 40 мА.

На Arduino Mega живлення можна подати від USB чи від іншого зовнішнього джерела – тип обирається автоматично.

В якості зовнішнього джерела питань можна використовувати мережевий АС/DC-адаптер чи акумулятор/батарею.

Штекер адаптера необхідно вставити у відповідний роз'єм живлення на платі. Якщо подати живлення від акумулятору чи батареї, то проводи необхідно під'єднати до виходів GND та VIN роз'єму POWER.

Напруга зовнішнього джерела живлення може бути в мережі від 6 до 20 В. Якщо напруга живлення буде нижче 7В, а на виході 5V, то пристрій може працювати некоректно. Також і навпаки, якщо використовувати напругу більше 12В це призводить до перегріву стабілізатора напруги та пристрій може вийти з ладу. З урахуванням всього, необхідно використовувати джерело живлення від 7 до 12В.

Плата містить такі виходи живлення:

- VIN. Напруга, що надходить до плати Arduino від зовнішнього джерела живлення. Через цей вихід можна подавати як зовнішню напругу так і споживати струм, коли плата живиться від зовнішнього адаптера;

- 5В. На цей вихід поступає напруга 5В від стабілізатора напруги на платі. Живити через виходи 5V та 3V не рекомендується, так як не використовується стабілізатор напруги, що може призвести до виходу плати з ладу;

- 3.3В, надходять від стабілізатора напруги на платі. Максимальний струм становить 50 мА;

- GND – вихід землі;

- IOREF – вихід надає платам розширену інформацію про робочу напругу мікроконтролера Arduino. Може працювати як з 5В так і з 3В – пристроями;

- пам'ять ATmega2560 містить 256Кб флеш-пам'яті, з яких 8 Кб використовує завантажувач. Мікроконтролер також має 8 Кб пам'яті ОЗУ та 4 Кб EEPROM( для роботи якого служить бібліотека EEPROM).

За допомогою функцій `pinMode()`, `digitalWrite()` и `digitalRead()` кожен з 54 цифрових виходів Arduino Mega можна налаштувати на роботу в якості входу чи виходу. Значення на виходах обмежено до 5 В.

- AREF – опорна напруга для аналогових входів;

- RESET – формування низького рівня LOW призведе до перезавантаження мікроконтролера. Зазвичай цей вихід застосовується для кнопки скидання.

Arduino Mega програмується в програмному забезпеченні Ардуіно.

ATmega2560 в Arduino Mega випускають з прошитим завантажувачем, котрий дозволяє завантажувати в мікроконтролер нові програми без необхідності використання зовнішнього програматора. Взаємодія з ним здійснюється за протоколом STK500.

Мікроконтролер також можна прошити через роз'єм для внутрішнього використання програмування ICSP (In-Circuit Serial Programming), не звертаючи увагу на завантажувач .

Одним з найпопулярніших мов програмування є мова Arduino, для якої існує середовище розробки Arduino IDE. Для програмування використовується мова C/C++, що робить його популярним та максимально зручним для програмування пристроїв. Мова Arduino базується на використанні:

- операторів (логічних, управління, порівняння, бітових, арифметичних);
- даних (константи, типи даних, постійні величини);
- функцій (аналогового та цифрового входу/виходу, тригонометричних, математичних, часу).

Мова Arduino є повноцінною мовою програмування, для якої створено багато бібліотек; вона має зручний синтаксис.

### 3.2 Рідкокристалічний дисплей LCD 1602

Рідкокристалічний дисплей (Liquid Crystal Display) побудовано на технології рідких кристалів. Із усіх LCD дисплеїв доступних на ринку найчастіше використовується дисплей LCD 1602A тому, що він не дуже дорогий, має багато доступних бібліотек для Arduino, та може відобразити ASCII символи в 2 строки (16 знаків в 1 строчці) кожен символ у вигляді матриці 5x7 пікселів. (рис.3.2)

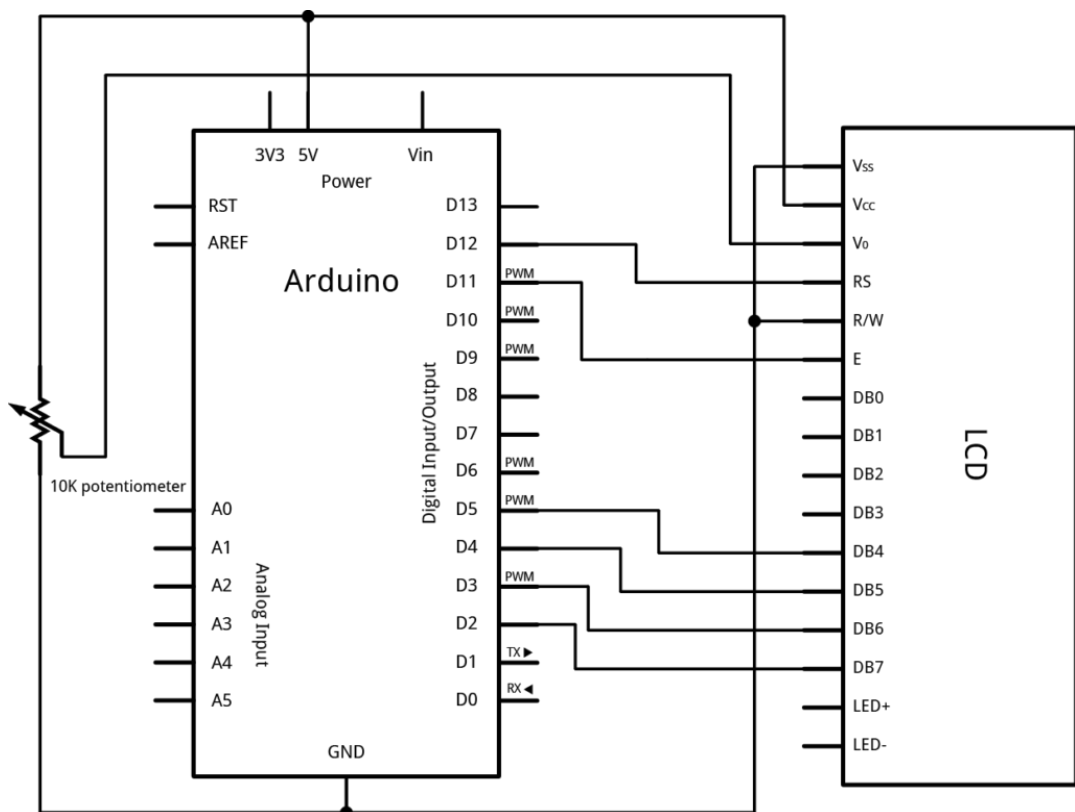
Параметри:

- напруга: 5 В;
- розмір дисплею: 2.6 дюйми;
- тип дисплею: 2 рядки по 16 символів;
- колір підсвітки: синій;
- колір символів: білий.



Рисунок 3.2 – LCD 1602

Стандартна схема приєднання дисплею до мікроконтролера Arduino без I2C виглядає наступним чином (рис.3.3).



## Рисунок 3.3 – Схема LCD

## 3.3 Модуль I2C

Модуль I2C дозволяє зменшити кількість використовуваних виходів контролеру замість 8 чи 4-бітного з'єднання, потребується тільки 2 виходи (SDA и SCL). Мікросхема PCF8574/PCF8574T забезпечує розширення портів вводу/виводу для контролерів через інтерфейс I2C и дозволяє легко вирішити проблему нехватки цифрових портів. При використанні модуля як розширювача портів вводу/виводу треба враховувати те, що вихід P3 має інверсний вихід с відкритим колектором.

Мікросхема може використовуватися для управління ЖК дисплея під управлінням контролера HD44780, в 4-х бітному форматі. Для цього на платі установлена мікросхема PCF8574, що перетворює I2C в паралельний 8 бітний порт.

Рідкокристалічний монітор с підтримкою I2C підключається до плати за допомогою чотирьох проводів – два проводи для даних, два проводи для живлення.

На вхід подається напруга и лінії I2C. На платі зразу встановленні резистори на лініях SCL и SDA, потенціометр для регулювання контрастності та живлення для самого дисплею.

Плата модуля розведена таким чином, щоб її можна було підключити до ЖКД (рис. 3.4).

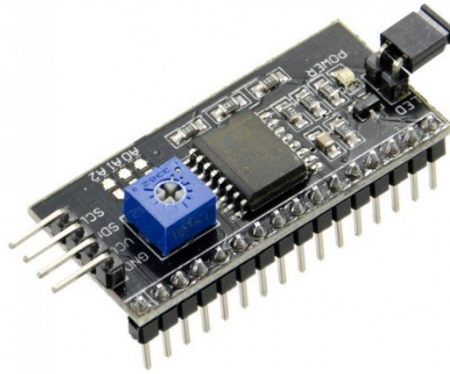


Рисунок 3.4 – Модуль I2C

Для з'єднання на модулі доступно три групи контактів.

- 1 група: SCL лінія тактування (Serial CLock), SDA лінія даних (Serial Dfita), VCC «+» живлення, GND «-» живлення;
- 2 група застосовується для підключення к дисплею LCD 1602;
- група для вмикання підсвітки.

### 3.4 Сенсорна кнопка

Сенсорні кнопки забезпечують перевагу порівняно з механічними, вони не так зношуються, не ламаються, не забруднюються та виготовляються з гігієнічних матеріалів.

Сенсорні кнопки не потребують зусилля для натискання, а спрацьовують від легкого натискання на сенсор. Висока чутливість дозволяє розташовувати кнопки за ізолюваним матеріалом (стекло, пластик) для запобігання попадання вологи.

Ємнісна сенсорна кнопка з підсвіткою на базі одноканального контролера AT42QT1012 від Atmel з мінімальною кількістю зовнішніх радіо компонентів. Спрацьовувати сенсор починає на відстані 5 мм від передньої або задньої

сторін, але не реагує на дотик своїми бічними гранями. До того ж, як обіцяє виробник, сенсор працює і через додаткові шари з пластику, дерева чи паперу.

Зовнішній вигляд кнопки наведений на рис. 3.5.

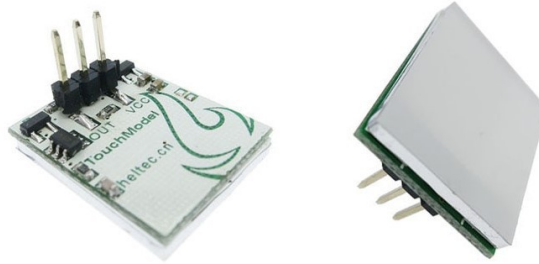


Рисунок 3.5 – Сенсорна кнопка

### 3.5 Світлодіод

Світлодіод – це напівпровідниковий елемент, він служить для освітлення та індикації. Вони мають полярність (+ та -) і відчують напрямок постійного струму, тому важно дотримуватися полярності при підключенні.

Якщо подивитися на ніжки світлодіоду можна побачити, що одна довше від другої. Довша ніжка це анод, її слід підключати до плюсу, тобто до ділянки схеми, котра веде до цифрового або аналогового роз'єму живлення. А коротку ніжку слід підключати до пину GND. Її треба підключати через резистор.

Зовнішній вигляд кнопки наведений на рис. 3.6.

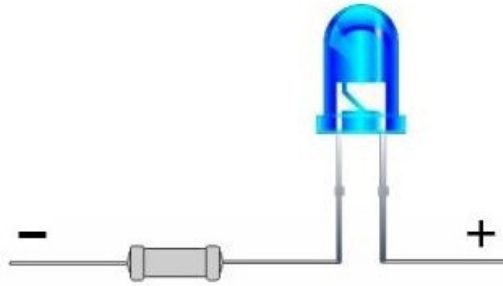


Рисунок 3.6 – Живлення світлодіоду

### 3.6 Резистор

Резистори це перешкода для струму. Чим більше номінал (Ом) резистора, тим менше струму пройде по ланцюгу, в якому його встановлено, і тим більший опір вин спричинить.

Щоб зрозуміти який номінал резистора, на нього наносять кольорові смужки. Кожній смужці відповідає певна цифра, рис. 3.7.

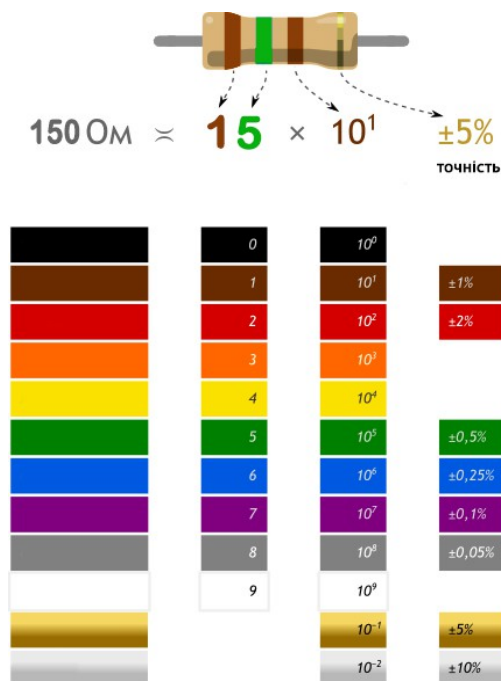


Рисунок 3.7 – Резистор

Перші дві смужки позначають перші два числових значення, так що коричневий та зелений означає 1 та 5. Наступна смужка – кількість нулів які

необхідно поставити після перших двох цифр. Третя смужка коричнева, відповідно номінал резистору буде 150 Ом. На відміну від світлодіодів, резистори не мають позитивних та від'ємних ніжок, тому неважливо, як його підключати .

На рис. 3.8 показано загальний дизайн пристрою. LCD дисплей розташовано для відображення інформації користувачеві. Також розташовано шість світлодіодних сенсорних кнопок, над котрими позначено, якому світлодіоду відповідає певна кнопка, кнопки застосовуються для подачі сигналу на плату. Світлодіоди розташовуються в будь-якому порядку в залежності від виду тренування. Керування здійснюється за допомогою плати Arduino Mega 2560 r3.

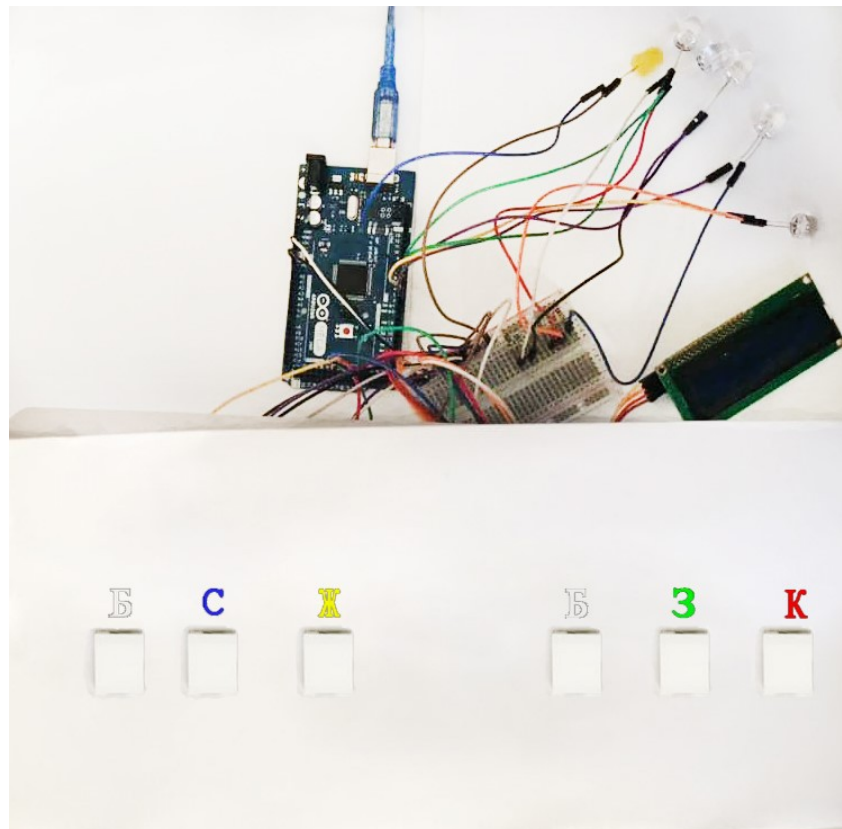


Рисунок 3.8 – Програмно-апаратний застосунок

Щоб розуміти як буде працювати пристрій слід побудувати схему за якою наглядно можна буде розглянути взаємозв'язок кожного з модулів, що застосовуються в даній роботі. Схема наведена на рис. 3.9.



Рисунок 3.9 – Схема спеціалізованого Arduino пристрою

Наступним шагом після вивчення технічних характеристик кожного з компонентів, що застосовується у даній роботі і необхідних для реалізації пристрою, є розробка спеціалізованого програмно-апаратного застосунку для тренування візуальної реакції.

## 4 РОЗРОБКА АПАРАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

На рис. 4.1 наведено зовнішній вигляд модулів, використаних при розробці пристрою.

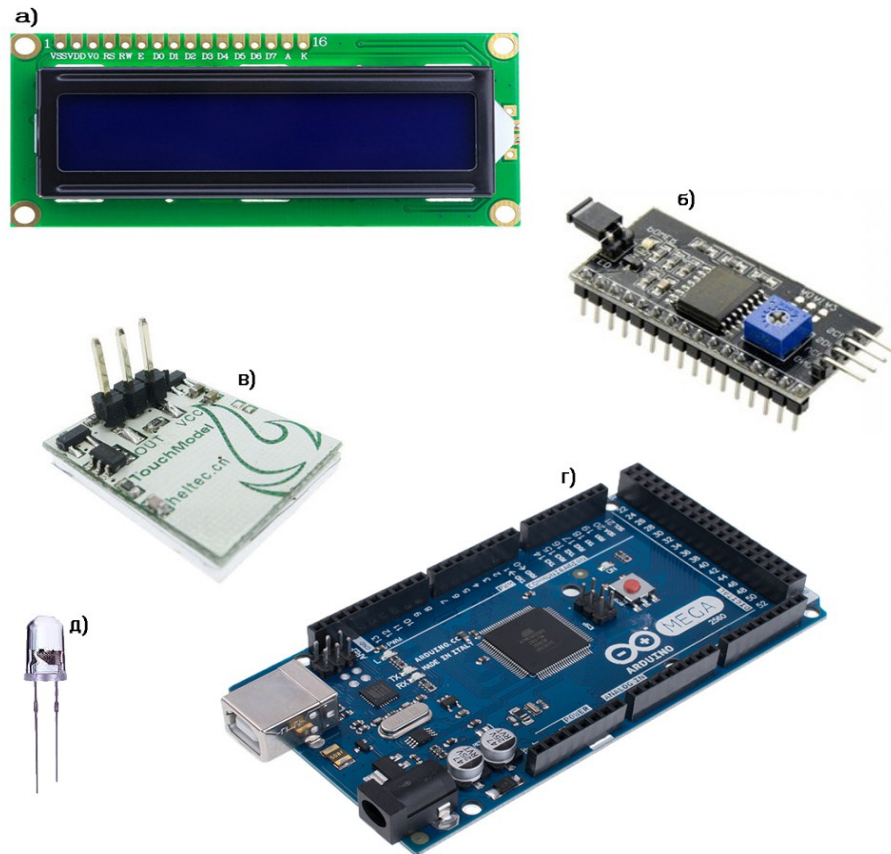


Рисунок 4.1 – Модулі, що використанні у проектуванні пристрою

При розробці були застосовані такі модулі:

а) рідкокристалічний дисплей LCD 1602, наведений на рис. 4.1 а), застосовується для відображення потрібної інформації;

б) модуль I2C, зображений на рис. 4.1 б), застосовується для зручності підключення до дисплею, зменшення кількості сполучних проводів та для виключення проблем з підмиканням змінного резистора для регулювання яскравості підсвітки;

в) для введення інформації було використано сенсорні кнопки, показані на рис. 4.1;

г) плата Arduino Mega 2560, показана на рис. 4.1 г), є головним модулем програмно-апаратного застосування, за допомогою якого оброблюється вся логіка та інформація, яка надходить до нього;

г) резистор потрібен для того, щоб регулювати скільки струму пройде через світлодіод, та його яскравість;

д) світлодіод служить як елемент відображення сигналу, який треба погасити відповідною кнопкою, рис. 4.1 б).

Модулі працюють під напругою від 3.3В до 5В, що є зручним використанням для Arduino Mega 2560, так як вони потрапляють в діапазон напруги. Для роботи має бути джерело живлення. При підключенні Arduino до комп'ютерів через USB-порт, що працюють на Mac OS X або Linux, мікроконтролер буде скидатися при кожному з'єднанні програмного забезпечення з платою. Після скидання на Arduino активізується завантажувач.

На платі є відновлювальні запобіжники, які захищають USB – порт від коротких замикань і перевантажень. Запобіжник автоматично розірве з'єднання, якщо струм буде більше 500мА.

Зібраний макет повністю працездатний, у ньому відсутня пайка, тому він може бути модифікований та розібраний без всяких складнощів. Також, можна додати додаткові сенсорні кнопки задля ускладнення пристрою. Для з'єднання елементів з макетною платою необхідно використовувати дроти типу «папа-папа».

Для відображення часу, скільки нам залишилось для того, щоб натиснути відповідно кнопку використовується LCD дисплей разом з модулем I2C. Якщо під'єднати дисплей до мікроконтролеру окремо, то кожен з контактів повинен бути підключений до цифрових ліній (рис. 4.2).

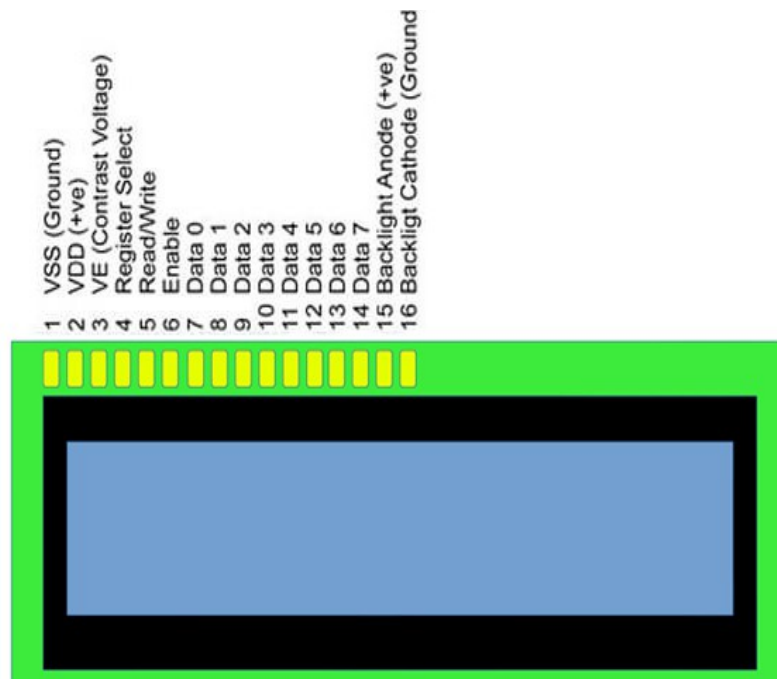


Рисунок 4.2 – Опис контактів дисплею

Але як було розглянуто раніше, зручніше використовувати модуль I2C, який зменшує кількість виходів дисплею.

Щоб підключити дисплей до модулю, спочатку треба визначити потрібні контакти, а потім під'єднати до модулю I2C, який наведено на рис. 4.3.



Рисунок 4.3 – Зовнішній вигляд підключення

Щоб формувати наш дисплей, виходи живлення, модуль I2C, VCC (оранжевий кабель) та GND (жовтий) з'єднуємо пристрій з макетною платою,

SDA (красний) підключаємо до цифрового виходу плати Arduino – 20, SCL (коричневий) – 21.

Для того щоб реалізувати відображення світлодіодів необхідно до кожної найменшої ніжки підключити резистор. А другу ніжку подати на цифровий вихід нашої плати.

Детальний огляд сенсорної кнопки зображено вище, а підключення відбувається за допомогою трьох виходів. GND підключено до макетної плати к GND, до напруги – 5V, та OUT до аналогового виходу на платі Arduino. На рис. 4.4 приведена схема підключення усіх елементів до плати.

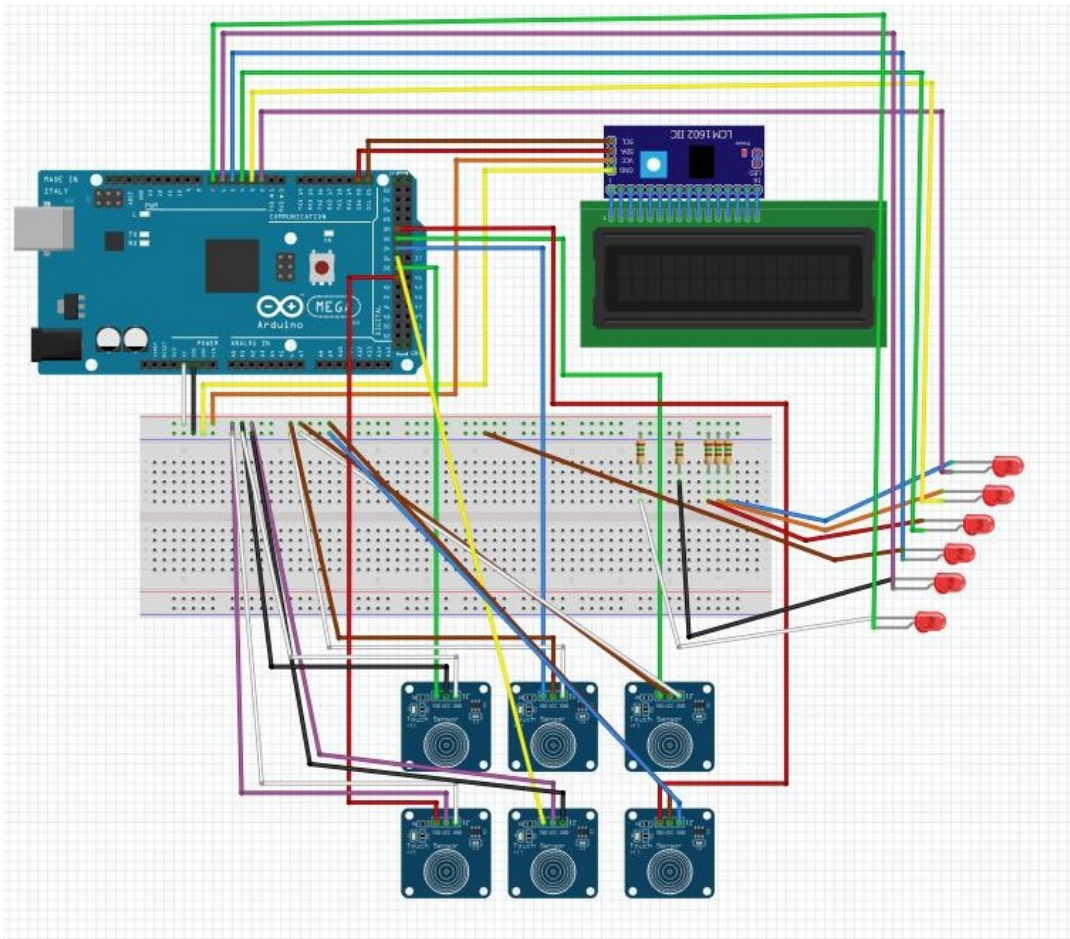


Рисунок 4.4 – Схема підключення елементів

Модель дозволяє обробляти інформацію та за допомогою світлодіодної матриці виводити її для користувача.

Всі елементи схеми підключені до однієї лінії живлення. Для нормальної роботи контролера необхідна наявність зовнішнього джерела живлення, в даній роботі використовується живлення від комп'ютера. Для живлення модулів необхідно подавати 5 вольт, так як при великій потужності деякі елементи можуть вийти з ладу, а при напрузі менше 5 вольт це може вплинути на роботу системи.

Після того, як було визначено принцип роботи модулів, та все підготовлено до роботи, можна створювати код програми та оглянути основні функції, що застосовуються для написання коду.

## 5 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

### 5.1 Загальні відомості

Алгоритм роботи визначає функціонування спеціалізованого Arduino пристрою. Код складається з основної та допоміжної частини, до якої завантажується вся необхідна інформація, генеруються всі дані та модулі за допомогою яких буде працювати основна частина коду.

Для створення програмного коду було використано середовище розробки Arduino IDE, що базується на мові програмування C++ та має деякі особливості, що полегшують написання програми:

а) перед компіляцією файли програм обробляються препроцесором Arduino;

б) відсутність попередніх налаштувань компілятора;

в) у тексті не обов'язково записувати заголовний файл при використанні стандартних функцій;

г) на початку коду повинні бути обов'язково дві функції: `setup()` – викликається при старті та `loop()` – повторюється у безкінечному циклу.

Програмний код може завантажуватися без використання додаткових апаратних засобів за допомогою вбудованого завантажувача, що є програмою. Завантажувач є активним деякий час при завантаженні скетчу у програму, про це повідомляє світлодіод, який вбудовано у мікроконтролер.

Програма може складатися з декількох функцій, кожна з яких необхідна для розв'язання конкретної задачі.

В самому початку за допомогою директиви `#define` рис.5.1 можна дати назву константі перед тим, як програма буде скомпільована. Певні цією директивою константи не займають програмної пам'яті, оскільки компілятор замінює всі звернення до них їх значення на етапі компіляції, відповідно вони слугують виключно для зручності.

```

#define GAMETIME 120000
#define LAMP 6
#define BTN 7
#define RES_KEY 6
#define BLINK 300

```

Рисунок 5.1 – Директива define

Тип даних «int» використовується для збереження чисел від -32768 до 32767, займає 2 байти пам'яті. Arduino бере на себе обробку та розміщення в пам'яті від'ємних чисел, тому арифметичні дії над цілими числами не потребують додаткових дій. Застосування на детальному прикладі наведено на рис. 5.2.

```

int score = 0;
int delay = 1000;
int btn = 0;
int old_btn = 100;
int customKey;

```

Рисунок 5.2 – Тип даних «int»

Ключове слово «boolean» (приклад зображено на рис. 5.3) може приймати одне з двох значень: True чи False. Кожне з цих значень займає в пам'яті усього лиш один байт.

```

byte btnPins[BTN] = {30, 32, 34, 36, 38, 40, 42}
boolean lamp_on[LAMP];
boolean steps = true, go_game = true;

```

Рисунок 5.3 – Використання «static»

На рис.5.4 показана функція «pinMode» яка використовується для ініціалізації режиму роботи виходу чи входу. Змінні в скобках вказують на те, що pin: номер входу/виходу котрий встановлено, та mode: режим одного з двох значень INPUT/OUTPUT .

```
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("REACT GAME");
  randomSeed(analogRead(0)); // включення випадкового
  pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
}
```

Рисунок 5.4 – Функція «pinMode»

Оператор «if», наведений на рис. 5.5, є основним для усіх керуючих структур у програмуванні. За допомогою нього можна перевірити чи трапиться або ні якась подія, що відповідає заданій умові. Конструкція дозволяє здійснювати декілька перевірок, об'єднаних разом. Також є конструкція, де перевіряється друга умова (на випадок, якщо перша умова невірна).

```
if (go_game) game_over();
go_game = false;
```

Рисунок 5.5 – Приклад if

Функція LiquidCrystal() створює змінну типу LiquidCrystal. Дисплей може ініціалізуватися за допомогою lcd.init.

setCursor переміщує курсор в задане положення LCD дисплею куди буде виводитися наступний текст, який задано у функції lcd.print( "REACT GAME").

Delay зупиняє виконання програми на задану кількість мілісекунд, що вказано в параметрах функції.

У нашому випадку на дисплей виведеться текст який написано у скобках на рис. 5.6.

```
lcd.init();  
lcd.backlight();  
lcd.setCursor(0,0);  
lcd.print("  REACTION");  
delay(500);
```

Рисунок 5.6 – Робота с дисплеєм

Функція `digitalWrite`, яка подає сигнал HIGH/LOW значення на цифровий вхід/вихід.

Якщо пін було встановлено у режимі OUTPUT, то для значення HIGH напруга на відповідному піні буде відповідна 5В для HIGH чи 0В для LOW. На рис. 5.7 наведено приклад, де вмикається світлодіод тому, що ми подаємо на його значення 1 (HIGH).

```
void sw_led_on(int num) {  
    digitalWrite(lamp_pin[num], 1);  
    lamp_on[num] = 1;  
}
```

Рисунок 5.7 – Функція `digitalWrite`

## 5.2 Опис програмних модулів

Надалі буде більш детально описано розроблений код програмно-апаратний застосунку. Повний текст програмного коду наведений у додатку А.

Перший крок полягає в ініціалізації портів виведення мікроконтролера Arduino Mega тому що, він керує модулями пристрою: зчитує та обробляє дані кнопок, відображає інформацію на LCD дисплеї, обробляє сигнали та відображає їх на світлодіоди.

Для більш зручного орієнтування у кодї програми використовуються змінні, кожному задіяному виходу буде присвоєно ім'я, яке більш явно відображає їх значення (Лістинг 5.1).

Аналогові порти, використовуються функцією «analogRead», для зчитування значення.

#### Лістинг 5.1 – Присвоєння змінних

```
byte btnPins[BTN] = {30,32,34,36,38,40,42} ;// Піни до яких підключенно  
кнопки
```

Щоб світлодіоди блимали, їх було підключено до цифрових виходів. (Лістинг 5.2). Для підключення декількох світлодіодів треба підключити кожен з них до відповідного цифрового порту.

#### Лістинг 5.2 – Присвоєння змінних

```
int lamp_pin[LAMP] = {2,3,4,5,6,7}; // Піни до яких підключенно  
світлодіоди
```

Функція «void loop» виконує усі функції, доки увімкнена плата Arduino (Лістинг 5.3). Цикл тренування відбувається до того моменту, поки не закінчиться час, у нашому випадку час тренування 30 секунд.

Також відбувається оновлення дисплею кожному секунду задля того, щоб відображати потрібну інформацію.

#### Лістинг 5.3 Цикл тренування

```
void loop()
```

```

    {
      while ((nowMillis-gameStart<GAMETIME)and(go_game))
      {
        nowMillis = millis();
        if (nowMillis - toSec > 1000) { // оновлення екрана кожну
секунду
          lcd_print();
          toSec = nowMillis;
        }
      }

```

В даному блоку (Лістинг 5.4.) буде блимати відповідний світлодіод, за допомогою millis без delay. За допомогою millis ми не зупиняємо виконання скетчу, а вказуємо, скільки часу Arduino повинен обходити ту частину коду, який треба призупинити.

#### Лістинг 5.4 Блимання світлодіодом

```

    if (nowMillis - toBlink > BLINK) { // блимання світлодіоду
      if (lamp_on[old_butn]) {sw_led_off(old_butn);}
      else {sw_led_on(old_butn);}
      toBlink = nowMillis;
    }

```

Щоб всі 6 кнопок працювали та можна було їх ініціалізувати, потрібно використати Лістинг 5.5, де детально описується, що натискатися може нова кнопка, крім тієї ж, яка була натиснута раніше.

#### Лістинг 5.5 Вмикання іншої кнопки

```

    if (steps)
    {
      while (old_butn == butn) { // нова кнопка, крім тієї ж
        butn = random(LAMP);
      }
      sw_led_off(old_butn);
      old_butn = butn;
    }

```

```

        sw_led_on(butn);
        steps = false;
    }

```

У лістингу 5.6, перевіряється нажата правильна кнопка чи ні. Якщо нажата правильна кнопка відповідному світлодіоду, то до лічильника рахунку добавляється 1 та потім обирається наступна кнопка, і так доки не закінчиться час .

#### Лістинг 5.6 Зчитування кнопки

```

    customKey = pressedButton();
    if (customKey > -1) Serial.println(customKey);
    if (customKey == butn){    // нажата правильна кнопка
        sw_led_off(customKey);
        score++;
        steps = true;    // вибір нової кнопки
    }
    lcd_print();

```

Для того щоб користувач бачив скільки йому часу залишилось виконувати завдання та скільки правильних кнопок він натиснув, використовується функція `lcd_print` (Лістинг 5.7).

#### Лістинг 5.7 Блок `lcd_prit`

```

void lcd_print(){
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("TIME:");
    ...
    lcd.print("SCORE:");
    lcd.print(score);
}

```

А сама ініціалізація часу виконується за допомогою функцій `time` (Лістинг 5.8). Спочатку очищується екран дисплею та переміщує курсор. Потім

данні функції повертають час, який пройшов з моменту запуску за допомогою `millis` (повертає кількість мікросекунд, що пройшли з моменту запуску).

#### Лістинг 5.8 Функція часу

```
void lcd_print(){
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("TIME:");
    int time = GAMETIME/1000-(nowMillis - gameStart)/1000;
    lcd.print(time);
}
```

Функцією для відображення кнопки, яку ми натиснули застосовується спеціальна функція (Лістинг 5.9). Якщо була натиснута правильна кнопка, її номер відобразиться на дисплеї у верхньому правому куті.

#### Лістинг 5.9 Натиснута відповідна кнопка

```
lcd.setCursor(11, 0);
    lcd.print("BTN:");
    ...
    int pressedButton() {
        for (int i=0; i<BTN; i++) {
            if( digitalRead(btnPins[i])){return i;}
        }
    }
    return -1;
```

Після закінчення часу нашого тренування користувачеві відображається така інформація: рахунок балів, оновлюються всі дані, очищується екран та з'являється можливість почати все спочатку (Лістинг 5.10).

#### Лістинг 5.10 Кінець тренування

```
void game_over()
```

```
{  
  lcd.clear();  
  lcd.setCursor(0, 0);  
  lcd.print(" TRAINER OVER");  
  lcd.setCursor(0, 1);  
  lcd.print(" SCORE: ");  
  lcd.print(score);  
  foreach (lamp_pin, LAMP, digitalWrite, HIGH);  
}
```

### 5.3 Принцип роботи застосунку

Коли плата підключається з'єднувачем до джерела напруги, спочатку загораються всі світлодіоди для перевірки працездатності. Користувач за допомогою кнопки повинен натиснути на кнопку, котра відповідає певному світлодіоду. Кожен раз, коли нажата вірна кнопка кількість балів збільшується на одиницю та відображається один світлодіод.

Коли час тренування вийшов, тренування закінчується. Користувачеві відображається повідомлення та кількість правильно нажатих кнопок. Після цього пристрій скидає всі дані та користувач може почати процес заново. Існує лише декілька професійних пропозицій тренажерів, але створений аналог буде значно дешевшим.

## 6 ВИКОНАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ

Даний пристрій являє собою шість світлодіодів та шість кнопок. Учасник повинен якнайшвидше натиснути на кнопку, яка відповідає певному світлодіоду, що загорається випадковим чином та вимкнути її. Як тільки кнопка вимкнеться, інший світлодіод з відповідною йому кнопкою засвітиться, і учасник повинен буде натиснути на неї. Програма розрахована на 30 секунд, після закінчення часу прилад дозволяє побачити кількість успішно погашених кнопок.

Керування датчиками відбувається за допомогою мікроконтролера. Існує «реактивний» вид тренування – це коли датчики хаотично вмикаються один за одним із заданою швидкістю. При даному режимі траєкторія очей має чітку структуру: фіксація в центрі, відсутність хаотичного зорового пошуку ввімкненого датчика.

В дослідженні прийняли участь 5 людей яких було поділено на три групи:

- 2 хлопця, які займались спортом, та досягали високих результатів у ньому;
- 2 хлопця, які ніколи не займались спортом;
- 1 дівчина.

Середній вік людей які приймали участь у випробуванні 22 роки. Учасники проходили тренування два - три рази на день по 10-20 хвилин протягом однієї неділі. Метод, що було використано, реалізовано за допомогою спеціалізованого програмно-апаратного застосунку.

Спочатку учасники проходили тренування, де світлодіоди були розташовані послідовно, так як розташовані відповідні їм кнопки (рис. 6.1). Дане розташування світлодіодів найпростіше для тренування. Це обумовлено тим, що увага та пам'ять націлена на певні зони, і немає багатого розсіювання у просторі.

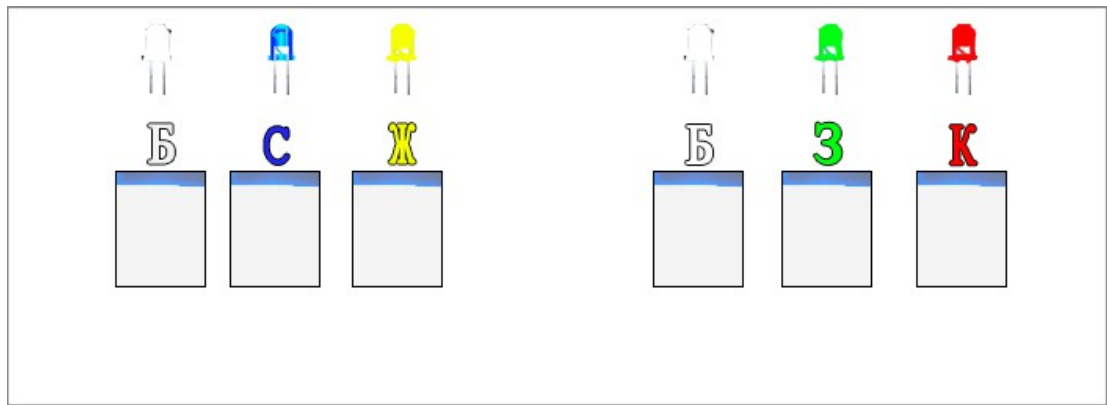


Рисунок.6.1 – Послідовне розташування

В процесі тренування з програмно-апаратним застосунком для візуальної реакції учасники відслідковували суб'єктивні відчуття від роботи та оцінювали власні відчуття і успіхи. Всі учасники відмітили, що взаємодія з застосунком приносить задоволення та не відчувається втоми.

Суб'єктивно оцінюючи власну динаміку, учасники відмітили, що в процесі тренування здібність до зорового пошуку поліпшується, також збільшується точність зорово-моторної координації. Ці суб'єктивні спостереження учасників підтверджуються отриманими на основі статистики результатами (рис. 6.2). Час реакції розраховувався за простою формулою – ; де  $R$  – час реакції,  $t$  – час тренування (30 с.) відобразиться на дисплеї після закінчення часу,  $s$  – середня кількість правильно нажатих кнопок в день.

Учасників було поділено на три групи:

- 1 група – чоловіки, які займались і мали гарні результати у спортивних видах змагань;
- 2 група – чоловіки, які не займаються спортом;
- 3 група – жінки, які також не мали досвіду у спорті.

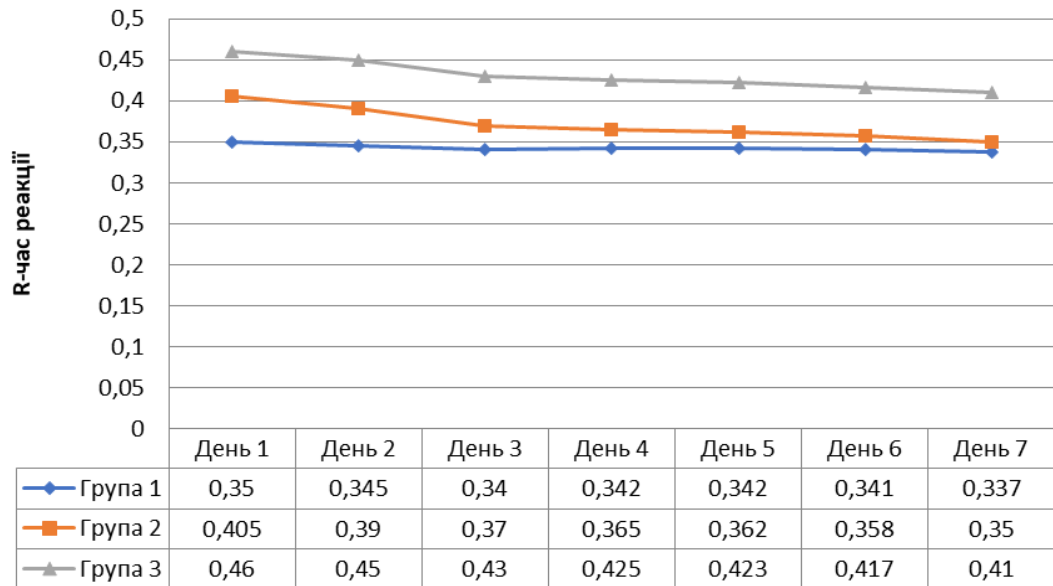


Рисунок 6.2 – Середній час реакції

На третій день тренування можна відстежити найбільше продуктивне значення часу реакції. Це тому, що учасники протягом двох днів запам'ятали розташування світлодіодів до певних кнопок.

Паралельно першій програмі тренування, було зібрано ідентичні групи учасників для оцінювання реакції іншого методу.

Розглянемо інший варіант розташування світлодіодів відносно кнопок. Як можна бачити на (рис 6.3) розташування світлодіодів значно відрізняється від першого методу.

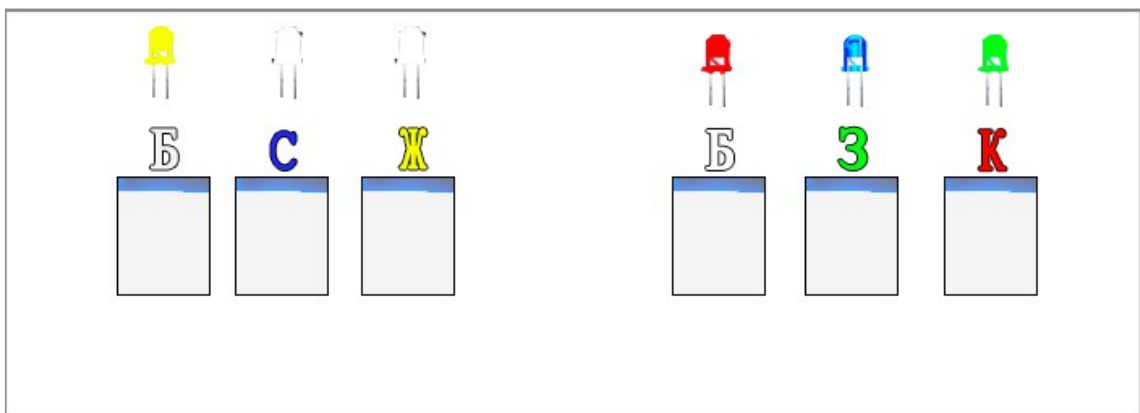


Рисунок 6.3 – Певне розташування

Наведені залежності демонструють стійку динаміку зниження середнього часу реакції від першого дня заняття до останнього. Крім того, аналіз показав вплив фактору заняття спорту між групами: показники зорово-моторної реакції виявилися кращими у першій групі. У всіх учасників спостерігалось суттєве скорочення часу зорово-моторної реакції. Метод, який було розглянуто на рис.6.4, показав більш продуктивну динаміку в процесі тренування, порівняно з першим варіантом тренінгу. Особливо, прогресію видно в 5 день використання застосунку, де помітно різкий стрибок динаміки.

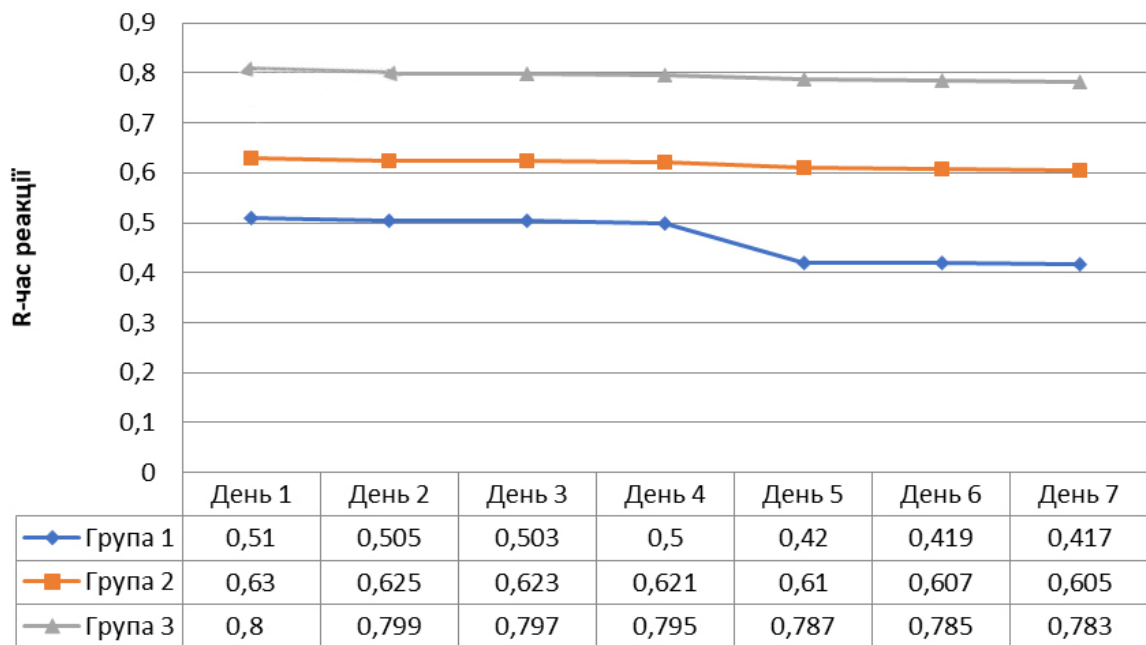


Рисунок 6.4 – Середній час реакції

Важливим аспектом використаного методу є те, що учасники відмітили комфортність роботи зі спеціалізованим програмно-апаратним застосунком та що заняття проводяться з легкістю та задоволенням.

## ВИСНОВКИ

У результаті проведеної роботи розроблено спеціалізований програмно-апаратний застосунок для тренування візуальної реакції, який використовується для спортивного тренування та нейрокогнітивної реабілітації. Підвищена здатність отримувати візуальні подразники, психічно обробляти цю інформацію та потім реагувати за допомогою рухів, має велике значення для продуктивності людини. Ці тренажери використовують пілоти, футболісти, спортсмени, широке застосування є у медицині.

У процесі виконання роботи вибрано методику реєстрації часу реакції, розроблено архітектуру пристрою для покращення периферійного сприйняття, апаратне і програмне забезпечення, здійснено реалізацію спеціалізованого програмно-апаратного застосунку на основі контролера Arduino, побудованого на ATmega328.

Для тренування уваги, пам'яті та складних форм моторних і інтелектуальних процесів було створено програмно-апаратний застосунок, в якому вдало поєднується навантаження по швидкості та розсіювання в просторі стимулів, на появу яких потрібно реагувати.

У подальшому можна удосконалити розроблений тренажер, наприклад, реалізувати алгоритм, коли людина "полює" за інтерактивними індикаторами, застосовуючи всі свої рецептори і аналізуючи швидкість та інтенсивність загоряння індикаторів, їх колір, патерни переміщення, віддаленість.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. McRoberts, M. Arduino Starter Kit Manual: A Complete Beginners guide to the Arduino [Текст] / М. McRoberts. – USA: Apress, 2009 – 105 p.
2. Electronics HUB [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [www/ URL: https://www.electronicshub.org/microcontrollers-basics-structure-applications/](http://www.electronicshub.org/microcontrollers-basics-structure-applications/) – Загол. з екрану.
3. Arduino Projects For Dummies by [Brock Craft](#) [Електронний ресурс] – Режим доступу : [www/ URL: https://arduino.ua/art2-istoriya-sozdaniya-arduino](http://www.arduino.ua/art2-istoriya-sozdaniya-arduino) – Загол. з екрану.
4. Arduino [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [www/ URL: https://doc.arduino.ua/ru/hardware/Uno](http://www.doc.arduino.ua/ru/hardware/Uno) – Загол. з екрану.
5. Петин, В. А. Проекты с использованием контроллера Arduino [Текст] / В. А. Петин. – СПб.: БХВ-Петербург, 2014. – 400 с.
6. McRoberts, M. Beginning Arduino [Текст] / М. McRoberts – USA: Apress, 2010. – 433 p.
7. Соммер, У. Программирование микроконтроллерных плат Arduino/Freduino [Текст] : пер. с немец. / У. Соммер – СПб.: БХВ-Петербург, 2012. – 256 с.
8. Arduino [Електронний ресурс]. – Режим доступа : [www/ URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Arduino](http://www.uk.wikipedia.org/wiki/Arduino) – Загол. з екрану.
9. Arduino Products [Електронний ресурс]. – Режим доступа : [www/ URL: https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction/](http://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction/) – Загол. з екрану.
10. Шуберт, Ф. Е. Светодиоды [Текст] : пер. с англ. / Ф. Е. Шуберт. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 496 с.
11. Пихтин, А. Н. Квантовая и оптическая электроника [Текст] / А. Н. Пихтин. – СПб.: Абрис, 2012. – 656 с.
12. Пихтин, А. Н. Оптическая и квантовая электроника [Текст]: учеб. для вузов / А. Н. Пихтин. – М.: Высш. шк., 2001. – 573 с.

13. Виды и типы светодиодов – полная классификация [Электронный ресурс] / Сайт Владимира Руденко – Режим доступа : [www/ URL: https://leds-test.ru/vidy-i-tipy-svetodiiodov-polnaya-klassifikatsiya/](http://www/ URL: https://leds-test.ru/vidy-i-tipy-svetodiiodov-polnaya-klassifikatsiya/)– 13.01.2016 г. – Загол. з экрану.
14. Гадре, Д. Занимательные проекты на базе микроконтроллеров tinyAVR [Текст] : пер. с англ. – СПб.: БХВ-Петербург, 2012. – 352 с.
15. Кашкаров, А. Современные осветительные приборы: выбор, подключение, безопасность [Текст] / А. Кашкаров . – Изд-во: ДМК Пресс, 2017. – 130 с.
16. Laby, D. A new model for Sports and Performance Vision [Текст] / D. Laby, D.G. Kirschen // Vision Development and Rehabilitation. – 2018. –Vol.4, No.2. – P. 91-97.
17. Miller, B. Vision to Decision: The Role of Visual Attention in Elite Sports Performance [Текст] / B. Miller, W. Clapp // Eye and Contact Lens. – 2011. – Vol.37, No.3 – P. 131–139.
18. CogniFit [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [www/ URL: https://www.cognifit.com/ru](http://www/ URL: https://www.cognifit.com/ru) – 09.01.2019 г. – Загол. з экрану.
19. Зайцев, А. В. Время реакции в теоретических и прикладных исследованиях [Текст] / А. В. Зайцев, В. И. Лупандин, О. Е. Сурнина // Психологический вестник Уральского государственного университета. Вып. 3. — Екатеринбург: Банк культурной информации, 2002. — С. 3–20.
20. Abernethy, B. Training the visual-perceptual skills of athletes: insights from the study of motor expertise [Текст] / B. Abernethy // The American Journal of Sports Medicine.– 1996 . – Vol. 24. – P. 89–92.
21. Jorge, J. Static and dynamic visual acuity and refractive errors in elite football players [Текст] / J. Jorge, P. Fernandes // Clinical and Experimental Optometry. – 2019. – No.102. – P. 51–56.

22. Erickson, G. B. Sports Vision: Vision Care for the Enhancement of Sports Performance [Текст] / G. B. Erickson. – St Louis, Missouri : Butterworth Heinemann Elsevier, 2007. – 308 p.
23. Teig, D. S. High performance vision: How to improve your visual acuity, hone your motor skills and up your game [Текст] / D. S. Teig. – Square One Publishers, 2015. –160 p.
24. Jordet, G. Perceptual Training in Soccer: An Imagery Intervention Study with Elite Players” [Текст] / G. Jordet // Journal of Applied Sport Psychology. – 2005. – Vol.17, No.2. – P. 140–156.
25. Smith, T.Q. Stroboscopic training enhances anticipatory timing [Текст] / T. Q. Smith, S. R. Mitroff // International Journal of Exercise Science. – 2012. – Vol.5, No.4. – P. 344–353.
26. McGuckian, T. The impact of constraints on visual exploratory behavior in football [Текст] / T. McGuckian // Studies in Perception and Action. – 2017. – P. 5–87.
27. Mitroff, S. R. Enhancing ice hockey skills through stroboscopic visual training [Текст] / S. R. Mitroff, P. Friesen, D. Bennett, H. Yoo, A. Reichow // Athletic Training & Sports Health Care. – 2013. – Vol. 5, No.10. – P.1–5.
28. Mangine, G. T. Visual tracking speed is related to basketball-specific measures of performance in NBA players [Текст] / G. T. Mangine, J. R. Hoffman, A. J. Wells, A. M. Gonzalez, J. P. Rogowski, J. R. Townsend, A. R. Jajtner, K. S. Beyer, J. D. Bohner, G. J. Pruna, M. S. Fragala, J. R. Stout // Journal of Strength and Conditioning Research. – 2014. – Vol.28, No.9. – P. 2406–2414.
29. Abernethy, B. Visual search strategies and decision-making in sport [Текст] / B. Abernethy // International Journal of Sport Psychology. – 1991. – No.22. – P. 189–201.
30. Babu, R. J. Dynamics of saccadic adaptation: differences between athletes and nonathletes [Текст] / R. J. Babu, L. Lillakas, E. L. Irving // Optometry and Vision Science. – 2005. – Vol.82, No.12. – P. 1060–1065.