Міністерство освіти і науки України

Луцький національний технічний університет
(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет комп'ютерних та інформаційних технологій
(повне найменування факультету)

Кафедра комп'ютерної інженерії та безпеки
(повне найменування кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»

ЛІЧИЛЬНИК ВІДЖИМАНЬ НА БАЗІ МІКРОКОНТРОЛЕРА ARDUINO UNO

PUSH-UP COUNTER BASED ON ARDUINO UNO MICROCONTROLLER

спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія
(шифр і назва спеціальності)

освітня програма Комп'ютерна інженерія
(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи КІс-21
Лукомський Олександр Олександрови

(підпис)

Керівник:
к.т.н., доцент
Поліщук Микола Миколайович

(підпис)

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту
« 04 » червня 2025 р.
Гарант освітньої програми:
к.т.н., доцент
Лавренчук Світлана Василівна

(підпис)

Луцьк – 2025 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет *комп'ютерних та інформаційних технологій*
Кафедра *комп'ютерної інженерії та безпеки*
Ступінь вищої освіти: *бакалавр*
Галузь знань: *12 Інформаційні технології*
Спеціальність: *123 Комп'ютерна інженерія*
Освітня програма: *«Комп'ютерна інженерія»*

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ доц. Т. ТЕРЛЕЦЬКИЙ
« 10 » 01 2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Лукомському Олександру Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи *Лічильник віджимань на базі мікроконтролера Arduino Uno*

Керівник роботи *к.т.н., доц. Поліщук Микола Миколайович*

затверджені наказом закладу вищої освіти від «04» січня 2025 року № 11/01-02
2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи 10.06.2025р.

3. Вихідні дані до роботи *джерелом розробки є науково-технічна література та публікації в періодичних виданнях з даного питання, опубліковані зарубіжні та вітчизняні роботи в даній області та різні інтернет-ресурси технічного спрямування.*

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
Вступ
Аналіз існуючих рішень створення лічильників віджимання
Апаратна частина лічильника віджимань
Розробка програмно-апаратного забезпечення лічильника віджимань
Висновки

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		завдання видав	завдання прийняв
Аналіз існуючих рішень створення лічильників віджимання	*Поліщук М.М., доцент*		
Апаратна частина лічильника віджимань	*Поліщук М.М., доцент*		
Розробка програмно-апаратного забезпечення лічильника віджимань	*Поліщук М.М., доцент*		
Нормоконтроль	*Багнюк Н.В., доцент*		
Гарант ОП	*Лавренчук С.В., доцент*		
Показник запозичень тексту	***___%***		
Академічна доброчесність	*Міскевич О.І.,ст.викладач*		

7. Дата видачі завдання 10.01.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	*Огляд літератури із досліджуваної проблеми, аналіз предметної області та наявних рішень*	до 10.02.2025 р.	Виконано
2.	*Апаратна частина лічильника віджимань*	до 02.03.2025 р.	Виконано
3.	*Розробка програмно-апаратного забезпечення лічильника віджимань*	до 02.04.2025 р.	Виконано
4.	*Висновки та пропозиції*	до 10.04.2025 р.	Виконано
5.	*Формування списку використаних джерел*	до 15.04.2025 р.	Виконано
6.	*Формування додатків*	до 02.05.2025 р.	Виконано
7.	*Оформлення ілюстративного матеріалу*	до 10.05.2025 р.	Виконано
8.	*Представлення остаточного варіанту кваліфікаційної роботи керівникові*	до 10.05.2025 р.	Виконано
9.	*Нормоконтроль*	до 30.05.2025 р.	Виконано
10	*Інструментальна перевірка на академічний плагіат*	до 04.06.2025 р	Виконано
11.	*Здача кваліфікаційної роботи та всіх супровідних документів на кафедру*	до 10.06.2025 р.	Виконано

Здобувач вищої освіти _____ (підпис) Лукомський О.О. (прізвище, ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи _____ (підпис) Поліщук М.М. (прізвище, ініціали)

АНОТАЦІЯ

Лукомський О. О. Лічильник віджимань на базі мікроконтролера Arduino Uno. Рукопис.

Кваліфікаційна робота бакалавра ОП «Комп'ютерна інженерія» спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2025.

Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, переліку використаних джерел та додатків.

Перший розділ присвячено огляду предметної області, тут обґрунтовано актуальність обраної теми, зроблено огляд методів контролю рухів у фізичних вправах, проаналізовано мікроконтролери для реалізації проекту, а саме переваги Arduino Uno та наведено особливості інтеграції лічильників з дисплеями для виведення результатів.

В другому розділі здійснено огляд апаратної частини лічильника віджимань, а саме вибір та обґрунтування компонентів для апаратної реалізації (мікроконтролер Arduino Uno, датчики руху для фіксації віджимань). Запропоновано схемотехнічне рішення для підключення сенсорів та індикаторів. Представлено розробку прототипу апаратної частини лічильника та особливості програмування Arduino: середовище та бібліотеки.

Третій розділ присвячено огляду апаратного забезпечення лічильника віджимань, представлено розробку схеми підключення та етапи розробки програмного забезпечення лічильника віджимань

Ключові слова: лічильник віджимань, мікроконтролер, датчик, програмування, схема, Arduino Uno

ANNOTATION

Lukomsky O. Push-up counter based on the Arduino Uno microcontroller. Manuscript.

Qualification work of the bachelor of the OP «Computer Engineering» specialty 123 Computer Engineering. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2025.

Qualification work consists of an introduction, three sections, conclusions, a list of sources used and appendices.

The first section is devoted to an overview of the subject area, the relevance of the chosen topic is substantiated, a review of methods for controlling movements in physical exercises is made, microcontrollers for the implementation of the project are analyzed, namely the advantages of Arduino Uno and the features of integrating counters with displays for displaying results are given.

The second section reviews the hardware part of the push-up counter, namely the selection and justification of components for hardware implementation (Arduino Uno microcontroller, motion sensors for recording push-ups). A circuit solution for connecting sensors and indicators is proposed. The development of a prototype of the hardware part of the counter and the features of Arduino programming are presented: environment and libraries.

The third section is devoted to an overview of the hardware of the push-up counter, the development of the connection diagram and the stages of developing the software of the push-up counter are presented

Keywords: push-up counter, microcontroller, sensor, programming, scheme, Arduino Uno

ЗМІСТ

ВСТУП 7
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ЛІЧИЛЬНИКІВ ВІДЖИМАНЬ 9
1.1 Огляд методів контролю рухів у фізичних вправах 9
1.2 Аналіз мікроконтролерів для реалізації проекту: переваги Arduino Uno . 12
1.3 Огляд сенсорів для детекції руху (ультразвукові, інфрачервоні, акселерометри) 14
1.4 Особливості інтеграції лічильників з дисплеями для виведення результатів 18
РОЗДІЛ 2 АПАРАТНА ЧАСТИНА ЛІЧИЛЬНИКА ВІДЖИМАНЬ 22
2.1 Вибір та обґрунтування компонентів для апаратної реалізації 22
2.1.1 Мікроконтролер Arduino Uno 22
2.1.2 Датчики руху для фіксації віджимань 23
2.2 Схемотехнічне рішення для підключення сенсорів та індикаторів 26
2.3 Розробка прототипу апаратної частини лічильника 29
2.4 Особливості програмування Arduino: середовище та бібліотеки 31
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ПРОГРАМНО-АПАРАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЛІЧИЛЬНИКА ВІДЖИМАНЬ 33
3.1 Апаратне забезпечення лічильника віджимань 33
3.2 Розробка схеми підключення 35
3.3 Програмування мікроконтролера в Arduino IDE 36
3.4 Розробка програмного забезпечення лічильника віджимань 40
ВИСНОВКИ 42
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 44
ДОДАТКИ 58

ВСТУП

У сучасному світі дедалі більше уваги приділяється здоровому способу життя та використанню технологій для моніторингу фізичної активності. Одним із ефективних способів контролю за виконанням вправ є автоматизація підрахунку рухів. Лічильник віджимань на базі мікроконтролера Arduino Uno є прикладом доступного, надійного та простого у використанні пристрою, що дозволяє користувачам відстежувати кількість виконаних повторень без залучення сторонніх осіб чи ручного підрахунку. Кваліфікаційна робота бакалавра присвячена розробці та дослідженню автоматизованої системи підрахунку віджимань із використанням ультразвукових сенсорів та мікроконтролера Arduino Uno.

Метою роботи є створення функціонального, недорогого та простого у використанні пристрою для автоматичного підрахунку фізичних вправ, зокрема віджимань, який може бути використаний як у домашніх умовах, так і у спортивних закладах.

Об’єкт дослідження – мікроконтролер Arduino Uno в якості центрального мозку для лічильника.

Предмет дослідження – процес підрахунку віджимань на основі використання мікроконтролера Arduino Uno.

У ході виконання кваліфікаційної роботи бакалавпа було поставлено наступні завдання, спрямовані на аналіз існуючих рішень, вибір апаратних і програмних компонентів, розробку схемотехнічного рішення та створення прототипу системи лічильника віджимань на базі мікроконтролера Arduino Uno:

– провести порівняльний аналіз можливих мікроконтролерних платформ для створення лічильника;

– обґрунтувати вибір основних апаратних компонентів для створення системи;

– розробити надійне схемотехнічне рішення для інтеграції компонентів;

– розробити та протестувати прототип апаратної частини пристрою;

– розробити програмне забезпечення для лічильника із забезпеченням стабільності та точності обробки даних.

РОЗДІЛ 1
АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ЛІЧИЛЬНИКІВ ВІДЖИМАНЬ

1.1 Огляд методів контролю рухів у фізичних вправах

Контроль рухової активності у фізичних вправах є ключовим аспектом у спортивній науці, реабілітації та розвитку персоналізованих фітнес-систем. Методи контролю рухів поділяються на контактні та безконтактні, кожен з яких має свої переваги та обмеження залежно від умов застосування.

Контактні методи базуються на використанні датчиків, що безпосередньо взаємодіють із тілом спортсмена. До таких пристроїв належать акселерометри, гіроскопи та силові датчики, які можуть бути вбудовані в спеціальні браслети, пояси або розташовані на тренувальному обладнанні. Вони забезпечують високу точність вимірювання кінематичних параметрів руху, проте можуть створювати дискомфорт при тривалому використанні.

Безконтактні методи використовують оптичні, ультразвукові або інфрачервоні технології для відстеження рухів без необхідності фізичного контакту із суб’єктом. Зокрема, оптичні системи на основі камер із глибоким навчанням дозволяють аналізувати рух у реальному часі та розпізнавати тип виконуваної вправи. Лідарні та ультразвукові сенсори також застосовуються для визначення зміни положення тіла відносно фіксованої точки. Основним недоліком цих систем є залежність від умов освітлення, можливі перешкоди в навколишньому середовищі та обмежена мобільність.

Зважаючи на особливості різних методів, вибір оптимального способу контролю рухів у фізичних вправах визначається специфікою застосування, точністю вимірювань, рівнем зручності та вартістю реалізації. У контексті автоматизованого лічильника віджимань на базі Arduino Uno доцільним є використання поєднання акселерометричних та оптичних технологій для забезпечення точності детекції рухів та мінімізації похибок у підрахунку повторень.

Акселерометри, наприклад, MPU6050 (рис. 1.1), вимірюють прискорення у трьох координатних осях (X, Y, Z). При виконанні віджимань акселерометр, закріплений на корпусі людини або на спортивному інвентарі, реєструє зміну швидкості та напрямку руху. За отриманими даними можна визначити амплітуду та частоту рухів, що дозволяє розпізнати виконані повторення. Основною перевагою акселерометрів є їх компактність, енергоефективність і можливість роботи без зовнішніх умов освітлення. Однак вони можуть допускати похибки через шум у сигналі або зміщення датчика під час тренування.

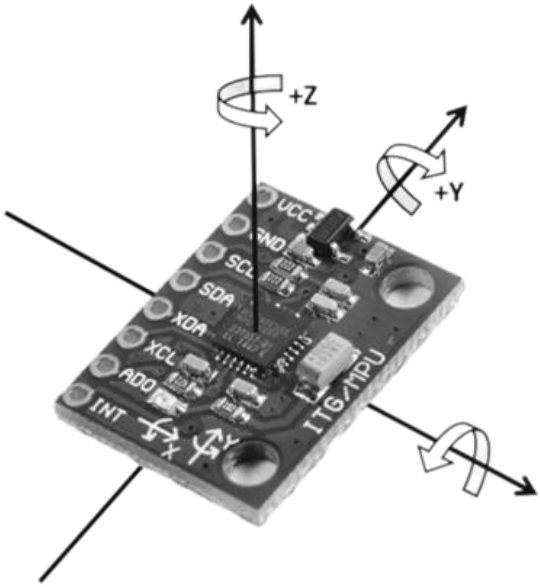

Рисунок 1.1 – MPU6050 [1]

Оптичні технології, зокрема інфрачервоні датчики, наприклад, VL53L0X (рис. 1.2) та камери комп’ютерного зору, дозволяють безконтактно відстежувати положення тіла. Використання камери або LiDAR-сенсора дає змогу реєструвати зміну висоти корпусу спортсмена відносно контрольної точки (наприклад, підлоги або фіксованої опорної площини). Додатково алгоритми комп’ютерного зору можуть аналізувати відеопотік, розпізнаючи ключові позиції спортсмена в просторі. Оптичні технології забезпечують високу точність вимірювань, але мають обмеження, пов’язані з умовами освітлення, можливими перешкодами в полі зору та необхідністю додаткової обробки зображень.

Рисунок 1.2 – Датчик вимірювання відстані VL53L0X [2]

Комбінація акселерометричних та оптичних сенсорів дозволяє взаємно компенсувати їхні недоліки та підвищити точність підрахунку повторень. Алгоритм обробки даних може працювати принципом, представленим на рисунку 1.3.

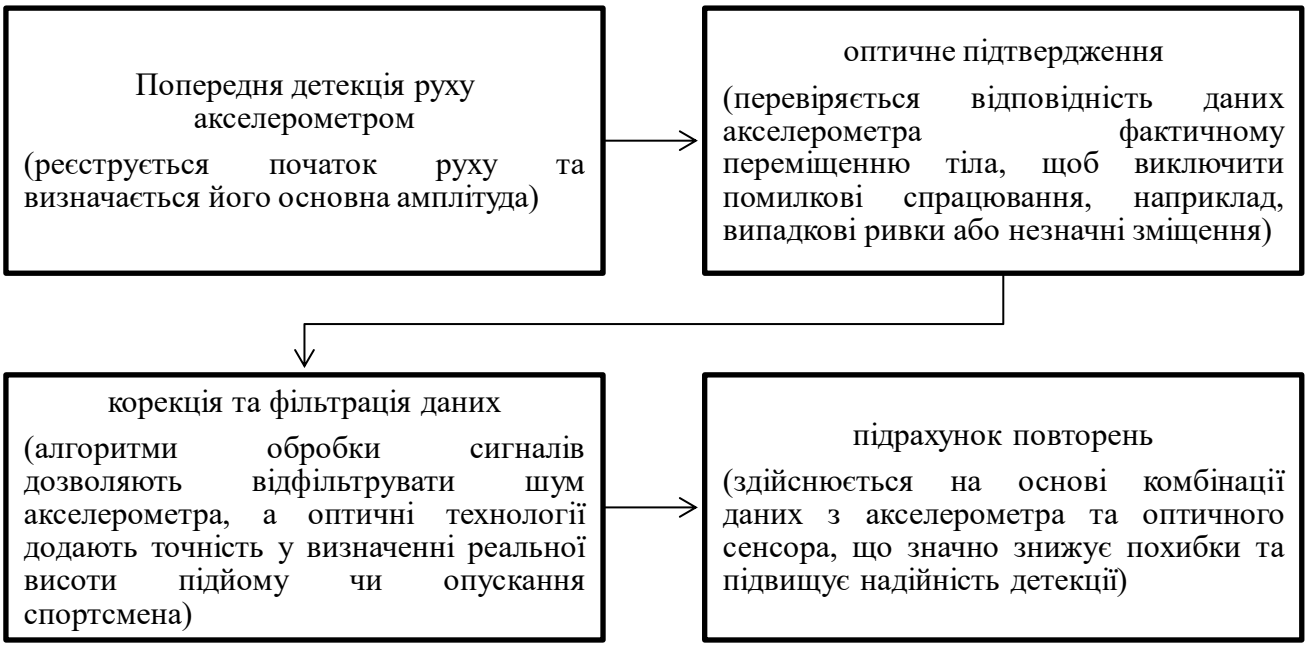

Рисунок 1.3 – Алгоритм обробки даних для лічильника віджимань із використанням акселерометричних та оптичних сенсорів [3]

Завдяки такому підходу система може коректно розпізнавати правильність виконання віджимань, фільтрувати часткові або неповні рухи та запобігати випадковим спрацьовуванням через сторонні фактори. Це особливо важливо для

автоматизованого аналізу тренувань, де точність підрахунку повторень впливає на ефективність оцінки фізичної активності користувача.

1.2 Аналіз мікроконтролерів для реалізації проекту: переваги Arduino Uno

Вибір мікроконтролера є ключовим етапом при розробці лічильника віджимань, оскільки від його продуктивності, енергоефективності та функціональних можливостей залежить точність і надійність роботи пристрою. Серед популярних мікроконтролерних платформ для реалізації подібних проєктів можна виокремити Arduino Uno, ESP8266, ESP32, STM32, Raspberry Pi Pico. Однак, Arduino Uno залишається оптимальним вибором завдяки низці переваг.

Для оцінки різних платформ в таблиці 1.1, розглянемо їх ключові характеристики.

Таблиця 1.1 – Порівняння мікроконтролерів для реалізації лічильника віджимань [4]

Параметр	Arduino Uno	ESP8266	ESP32	STM32 (F103C8T6)	Raspberry Pi Pico
Процесор	ATmega328P (8–біт)	Tensilica L106	Dual–core Tensilica Xtensa	ARM Cortex–M3	Dual-core ARM Cortex–M0+
Тактова частота	16 МГц	80/160 МГц	240 МГц	72 МГц	133 МГц
ОЗП (RAM)	2 КБ	80 КБ	520 КБ	20 КБ	264 КБ
ПЗП (Flash)	32 КБ	4 МБ	4–16 МБ	64 КБ	2 МБ
Кількість GPIO	14 цифрових, 6 аналогових	11	34	37	26
Підтримка Wi–Fi	ні	так	так	ні	ні
Енергоспоживання	низьке	середнє	високе	низьке	середнє
Простота програмування	дуже проста	середня	вимагає додаткових бібліотек	висока складність	висока складність
Вартість	низька	низька	середня	висока	середня

Однією з ключових переваг Arduino Uno (рис. 1.4) є його висока доступність та простота використання.

Рисунок 1.4 – Плата Arduino Uno [5]

Завдяки розвиненій спільноті розробників та обширній документації, цей мікроконтролер є оптимальним вибором для реалізації проєктів у сфері автоматизації фізичних вправ. Підтримка інтегрованого середовища розробки Arduino IDE забезпечує швидке написання, компіляцію та завантаження програмного коду, що сприяє оперативному налагодженню та тестуванню пристрою.

Надійність та стабільність функціонування мікроконтролера є важливими факторами при створенні автономних систем. Arduino Uno характеризується низьким енергоспоживанням і простою архітектурою, що підвищує його стійкість до зовнішніх перешкод та збоїв. Відсутність вбудованих бездротових інтерфейсів, таких як Wi-Fi або Bluetooth, зменшує ризик апаратних відмов та підвищує загальну стабільність роботи пристрою, що є критично важливим для задач тривалого моніторингу рухової активності.

Важливою характеристикою Arduino Uno є достатня кількість входів та виходів, що дозволяє підключати широкий спектр сенсорів та інших периферійних пристроїв. Зокрема, мікроконтролер підтримує 6 аналогових входів та 14 цифрових входів/виходів, що уможливлює використання акселерометрів, інфрачервоних та ультразвукових датчиків для точного

визначення рухів у фізичних вправах. Додатково можуть бути інтегровані дисплеї або світлодіодні індикатори для візуалізації отриманих даних.

Розвинена екосистема апаратних модулів та програмних бібліотек є ще одним важливим чинником, що обґрунтовує вибір Arduino Uno для реалізації проєкту лічильника віджимань. Завдяки підтримці широкого спектра датчиків і готових бібліотек для роботи з акселерометрами (наприклад, MPU6050), процес розробки пристрою значно спрощується, а точність збору та обробки даних підвищується.

З точки зору економічної ефективності, Arduino Uno є вигідним рішенням завдяки своїй низькій вартості та широкій доступності. Це робить його особливо привабливим для навчальних, науково-дослідних та аматорських проєктів, де необхідно забезпечити баланс між функціональністю та фінансовими витратами.

Ще однією важливою перевагою є можливість автономної роботи пристрою, що забезпечується підтримкою живлення від зовнішніх джерел (наприклад, батарейних блоків або акумуляторів напругою 9 В). Ця характеристика робить Arduino Uno придатним для використання у мобільних та автономних системах моніторингу фізичної активності без потреби у постійному підключенні до електромережі.

Таким чином, поєднання простоти програмування, стабільності функціонування, розширених можливостей підключення датчиків, підтримки програмних бібліотек, доступної вартості та автономності роботи робить Arduino Uno оптимальним вибором для реалізації лічильника віджимань на основі мікроконтролерної платформи.

1.3 Огляд сенсорів для детекції руху (ультразвукові, інфрачервоні, акселерометри)

У процесі розробки лічильника віджимань на базі мікроконтролера Arduino Uno важливим аспектом є вибір відповідних сенсорів для детекції рухів. Серед

найбільш поширених типів сенсорів, які використовуються для цієї мети, виділяють ультразвукові, інфрачервоні та акселерометричні датчики.

Ультразвукові сенсори, такі як HC-SR04, вимірюють відстань до об’єкта, випромінюючи ультразвуковий імпульс і вимірюючи час його повернення після відбиття. Цей метод дозволяє точно визначати положення тіла під час виконання віджимань. Наприклад, у проєкті [6] ультразвуковий сенсор HC-SR04 використовується для визначення відстані між тілом користувача та підлогою, що дозволяє точно підраховувати кількість віджимань (рис. 1.5).

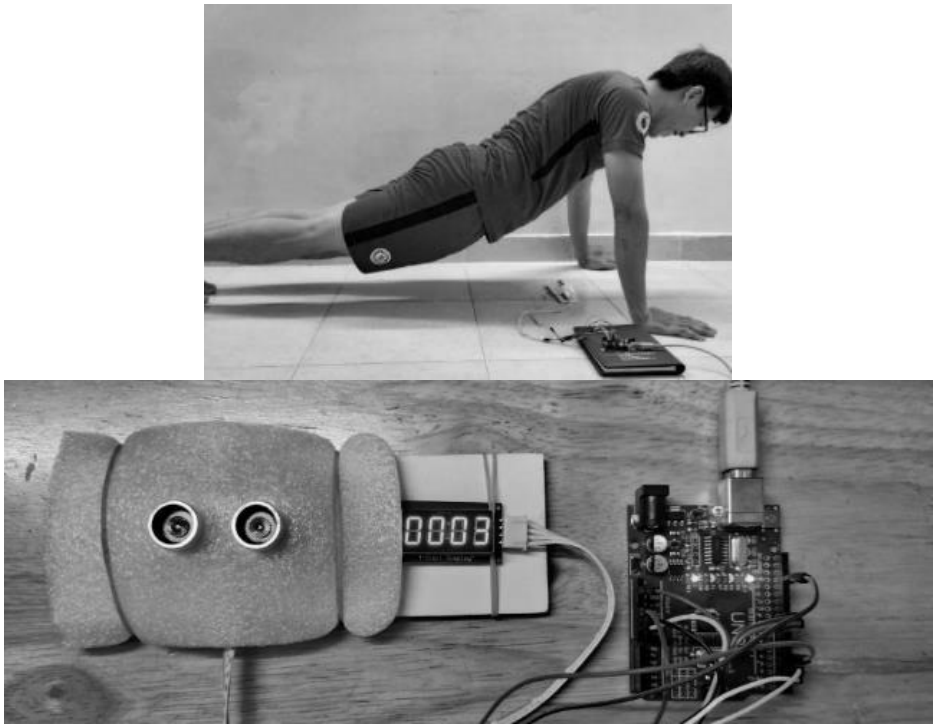

Рисунок 1.5 – Лічильник віджимань з використанням Arduino та ультразвукового датчика [6]

Інфрачервоні (ІЧ) сенсори, такі як TCRT5000, використовують інфрачервоне випромінювання для виявлення наявності об’єкта. Вони особливо ефективні для детекції близьких об’єктів і можуть бути використані для фіксації положення рук або грудей під час віджимань. У проєкті [7] інфрачервоний сенсор використовується для виявлення руху тіла під час виконання вправ, що забезпечує точний підрахунок повторень (рис. 1.6).

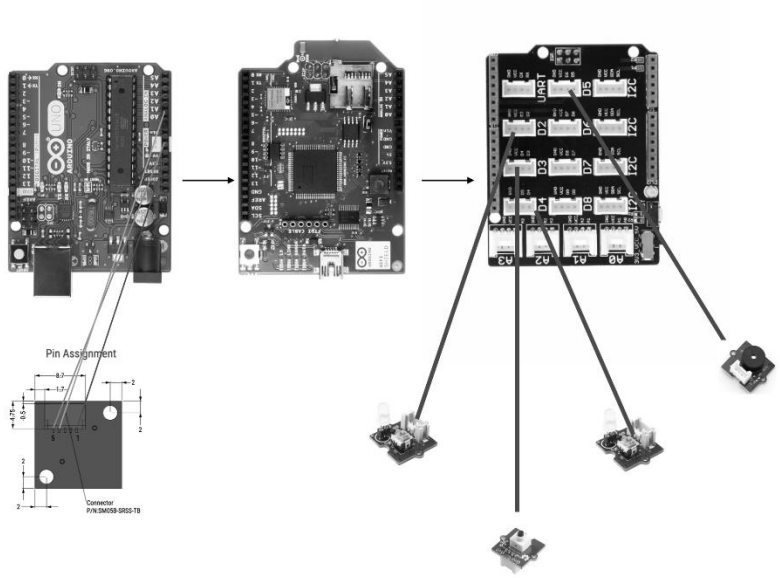

Рисунок 1.6 – Схема лічильника віджимань [7]

Акселерометри, такі як MPU6050 або ADXL345, вимірюють прискорення по трьох осях, що дозволяє визначати рухи тіла в просторі. Вони особливо корисні для виявлення динамічних змін положення тіла під час фізичних вправ. Використання акселерометра MPU6050 для вимірювання прискорення та кутової швидкості, що може бути застосовано для детекції рухів під час віджимань зображено на рисунку 1.7.

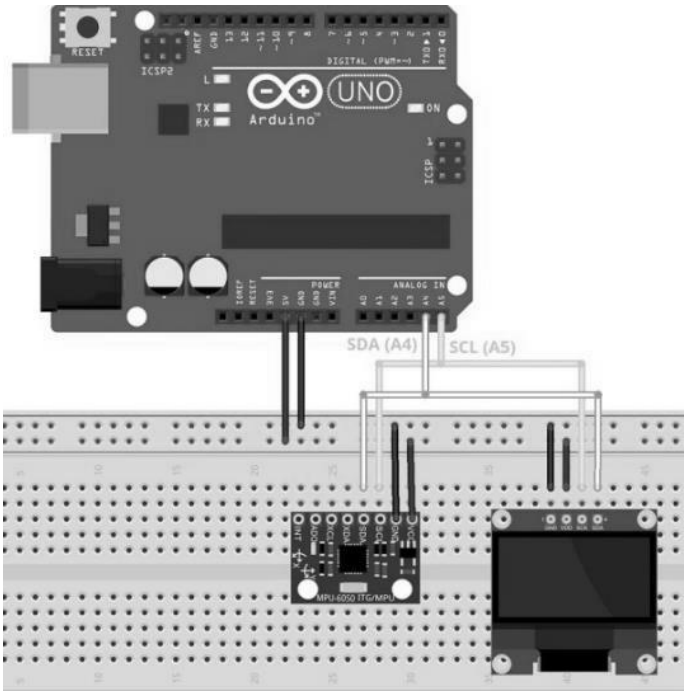

Рисунок 1.7 – Принципова схема Arduino з MPU-6050 і OLED дисплеєм [8]

Для обґрунтованого вибору сенсорів у процесі розробки лічильника віджимань доцільно провести порівняльний аналіз їх характеристик за ключовими параметрами. У таблиці 1.2 наведено зіставлення найбільш поширених типів сенсорів – ультразвукових, інфрачервоних та акселерометрів – з урахуванням принципу їхньої роботи, переваг і обмежень, що дозволяє оцінити доцільність використання кожного типу у конкретному застосуванні.

Таблиця 1.2 – Порівняльна характеристика сенсорів [6-8]

Тип сенсора	Приклад моделі	Принцип роботи	Переваги	Обмеження
Ультразвуковий	HC–SR04	вимірювання часу проходження ультразвукового імпульсу	висока точність на середніх відстанях	чутливість до перешкод, обмежена точність на коротких відстанях
Інфрачервоний	TCRT5000	виявлення відбитого інфрачервоного світла	компактність, низьке енергоспоживання	залежність від кольору та відбивної здатності об’єкта
Акселерометр	MPU6050, ADXL345	вимірювання прискорення по трьох осях	висока чутливість до рухів, можливість аналізу динаміки	потреба в складній обробці даних, чутливість до шумів

Вибір сенсора для детекції рухів у лічильнику віджимань залежить від конкретних вимог проєкту. Ультразвукові сенсори забезпечують високу точність на середніх відстанях і підходять для виявлення положення тіла відносно підлоги. Інфрачервоні сенсори ефективні для виявлення близьких об’єктів і можуть бути використані для фіксації положення рук або грудей. Акселерометри дозволяють аналізувати динаміку рухів, що особливо корисно для виявлення неправильного виконання вправ. Комбінація цих сенсорів може забезпечити найвищу точність і надійність лічильника віджимань.

1.4 Особливості інтеграції лічильників з дисплеями для виведення результатів

Виведення результатів підрахунку віджимань у реальному часі є важливим аспектом для забезпечення зручності користувача та ефективності тренувального процесу. Для реалізації цієї функції в системах на базі Arduino Uno найчастіше використовуються дисплеї типу LCD та OLED. Кожен із цих типів має свої особливості інтеграції, переваги та обмеження, що слід враховувати при розробці лічильника віджимань.

LCD-дисплеї, зокрема моделі 1602 (рис. 1.8), є популярними завдяки своїй доступності та простоті використання. Вони зазвичай працюють на базі контролера HD44780 і можуть бути підключені до мікроконтролера Arduino Uno як безпосередньо, так і через інтерфейс I2C для зменшення кількості необхідних пінів. Інтеграція LCD-дисплеїв передбачає використання бібліотек LiquidCrystal або LiquidCrystal_I2C, які забезпечують зручний інтерфейс для виведення текстової інформації.

Рисунок 1.8 – LCD-дисплей моделі 1602 [9]

Основними перевагами LCD-дисплеїв є їхня доступність, що проявляється у широкому виборі моделей за помірною ціною, простота інтеграції завдяки наявності численних бібліотек і прикладів коду для розробки, а також чіткість

відображення тексту, яка забезпечує зручне виведення числових значень та коротких повідомлень.

Разом з тим, варто враховувати певні обмеження використання LCD-дисплеїв, такі як обмежена кількість символів на екрані та відсутність можливості виведення графічної інформації.

У статті Pranjali Bharat Ahire [10] описано IoT-систему для підрахунку віджимань, яка використовує мікроконтролер Arduino Uno, ультразвукові сенсори та LCD-дисплей для виведення результатів у реальному часі. Дослідження підкреслює важливість візуального зворотного зв’язку для користувача та детально описує інтеграцію дисплея з іншими компонентами системи.

Інший проєкт, представлений на платформі Hackster.io [11], демонструє реалізацію лічильника віджимань з використанням Arduino Uno, ультразвукового сенсора HC-SR04 та LCD-дисплея 16x2. Ця система не лише підраховує кількість віджимань, але й забезпечує візуальну та звукову підтримку користувача, що сприяє підвищенню мотивації під час тренувань.

OLED-дисплеї, наприклад моделі SSD1306 з роздільною здатністю 128x64 пікселів (рис. 1.9), забезпечують вищу якість відображення та гнучкість у дизайні інтерфейсу.

Рисунок 1.9 – OLED дисплей графічний SSD1306 [12]

Завдяки високій контрастності та можливості виведення як текстової, так і графічної інформації, OLED-дисплеї є привабливим вибором для реалізації лічильників віджимань. Інтеграція OLED-дисплеїв зазвичай здійснюється через інтерфейс I2C з використанням бібліотек Adafruit_SSD1306 та Adafruit_GFX.

Переваги OLED-дисплеїв полягають у високій роздільній здатності, що забезпечує можливість відображення детальної інформації та графічних елементів, компактності, яка дозволяє інтегрувати дисплеї у малі портативні пристрої, а також низькому енергоспоживанню, що є критично важливим фактором для автономних вбудованих систем.

Проте, OLED-дисплеї можуть мати вищу вартість порівняно з LCD-аналогами та потребують більш складного програмного забезпечення для повноцінного використання їхніх можливостей.

У проєкті на платформі Instructables [13] описано використання OLED-дисплея SSD1306 з Arduino для виведення графічної інформації, що може бути адаптовано для відображення результатів фізичних вправ. Цей підхід дозволяє створити більш гнучкий та інформативний інтерфейс для користувача.

Сучасні IoT-проєкти часто передбачають як локальне виведення інформації, так і передачу результатів у хмару чи на мобільний додаток. Дослідження описують багаторівневу систему, що використовує сенсори руху, модуль ESP і дисплей для локального відображення кількості віджимань. У поєднанні з передачею даних на сервер, такий підхід забезпечує як мобільність, так і наочність.

Таким чином, сучасні дослідження та проєкти підтверджують ефективність інтеграції дисплеїв у системи підрахунку фізичних вправ, забезпечуючи зручний та наочний спосіб відображення результатів для користувачів.

Для обґрунтованого вибору дисплея у системі лічильника фізичних вправ доцільно порівняти найпоширеніші типи індикаторів – LCD та OLED. Врахування їх технічних характеристик, функціональних можливостей, енергоспоживання та зручності інтеграції дає змогу визначити оптимальне

рішення залежно від вимог до проєкту. У таблиці 1.3 наведено ключові відмінності між цими двома типами дисплеїв.

Таблиця 1.3 – Порівняльна таблиця LCD та OLED–дисплеїв [9, 12]

Параметр	LCD 1602	OLED SSD1306 128x64
Тип відображення	Текстовий	Графічний
Інтерфейс підключення	Паралельний / I2C	I2C
Роздільна здатність	16x2 / 20x4 символів	128x64 пікселів
Підтримка графіки	Немає	Є
Енергоспоживання	Помірне	Низьке
Розміри	Більші	Компактні
Вартість	Низька	Вища

Вибір між LCD та OLED-дисплеями залежить від конкретних вимог до проєкту. Якщо необхідно виводити лише текстову інформацію, LCD-дисплеї можуть бути достатніми. Однак, для більш гнучкого та естетично привабливого інтерфейсу з можливістю відображення графіки та анімацій доцільно обрати OLED-дисплеї. У контексті розробки лічильника віджимань на базі Arduino Uno, OLED-дисплеї надають більше можливостей для створення зручного та інформативного користувацького інтерфейсу.

Отже, особливість інтеграції лічильників віджимань із дисплеями полягає у забезпеченні зворотного зв’язку для користувача в режимі реального часу, що дозволяє ефективно контролювати перебіг фізичної активності без залучення зовнішніх пристроїв або мобільних додатків. Виведення результатів на дисплей дає змогу спортсмену або користувачу одразу бачити кількість виконаних повторень, оцінити динаміку тренування та підтримувати мотивацію. Залежно від типу обраного індикатора LCD чи OLED – реалізація цієї функції має свої технічні особливості. Вибір дисплея впливає на енергоспоживання системи, спосіб підключення до мікроконтролера та обсяг програмного забезпечення, необхідного для керування виводом даних. Таким чином, інтеграція дисплеїв у лічильники фізичних вправ є не лише засобом візуалізації, а й важливим елементом ергономіки та автономності системи.

РОЗДІЛ 2
АПАРАТНА ЧАСТИНА ЛІЧИЛЬНИКА ВІДЖИМАНЬ

2.1 Вибір та обґрунтування компонентів для апаратної реалізації

2.1.1 Мікроконтролер Arduino Uno

Мікроконтролер Arduino Uno є одним із найбільш популярних рішень для розробки систем автоматизації завдяки своїй доступності, простоті використання та широким функціональним можливостям. Він базується на 8-бітному мікроконтролері ATmega328P, який працює на тактовій частоті 16 МГц, має 32 КБ флеш-пам’яті для програм, 2 КБ оперативної пам’яті (SRAM) та 1 КБ пам’яті EEPROM для збереження даних [14].

Arduino Uno підтримує 14 цифрових входів/виходів, з яких 6 можуть використовуватися як ШІМ-канали, а також 6 аналогових входів, що дає змогу підключати широкий спектр сенсорів і виконавчих пристроїв. Однією з ключових переваг плати є наявність стандартного інтерфейсу USB для програмування та живлення, що значно спрощує розробку прототипів.

Дослідники активно застосовують Arduino Uno у проєктах, пов’язаних із моніторингом фізичної активності. Зокрема, у дослідженні [10] Arduino Uno використовується як основний обчислювальний модуль у системі підрахунку віджимань із виведенням результатів на LCD-дисплей. Автори підкреслюють простоту інтеграції сенсорів руху завдяки зрозумілій архітектурі плати та підтримці численних бібліотек.

Крім того, Arduino Uno має низький рівень енергоспоживання, що дозволяє використовувати його у мобільних автономних пристроях із живленням від батарей або акумуляторів. Це особливо важливо у контексті створення лічильників фізичних вправ, де потрібна тривала робота системи без необхідності постійної підзарядки.

Ще однією важливою перевагою Arduino Uno є підтримка великої екосистеми апаратних модулів та програмних бібліотек, що дозволяє розширювати функціональність системи без суттєвого ускладнення розробки.

Використання стандартних бібліотек, таких як Wire.h для I2C-з’єднання та LiquidCrystal.h для роботи з дисплеями, мінімізує час на написання коду та полегшує обслуговування пристрою [15].

Таким чином, Arduino Uno є оптимальним вибором для реалізації лічильника віджимань завдяки своїй простоті інтеграції, енергоефективності, широкій підтримці середовища розробки та великій спільноті користувачів, що забезпечує доступ до обширної бази знань та прикладів.

2.1.2 Датчики руху для фіксації віджимань

Для ефективного визначення моментів виконання віджимань у системах на базі Arduino використовуються різні типи датчиків руху.

У рамках розробки лічильника віджимань на базі Arduino Uno доцільним є використання ультразвукового сенсора HC-SR04 як основного елемента для фіксації рухів завдяки його високій точності на середніх відстанях та стійкості до змін освітлення. Додаткове застосування акселерометра MPU6050 може забезпечити підвищену точність шляхом фільтрації даних, що дозволить виключити хибні спрацьовування, викликані сторонніми рухами. Така комбінація сенсорів забезпечить баланс між простотою інтеграції, енергоспоживанням та точністю підрахунку фізичної активності.

Ультразвуковий сенсор HC-SR04 [6] є одним із найпоширеніших рішень для вимірювання відстані в аматорських і професійних проєктах на базі Arduino завдяки своїй доступності, простоті використання та надійності. Основний принцип роботи сенсора полягає у випромінюванні ультразвукового імпульсу частотою 40 кГц і вимірюванні часу його повернення після відбиття від об’єкта. На основі часу проходження імпульсу обчислюється відстань до об’єкта. У контексті лічильника віджимань HC-SR04 дозволяє точно реєструвати зміну положення тіла спортсмена відносно фіксованої точки, наприклад, підлоги або поверхні тренажера. Завдяки широкому діапазону вимірювань (від 2 см до 400 см) та достатній чутливості, цей сенсор здатний фіксувати навіть невеликі зміни відстані, що виникають під час виконання фізичних вправ.

Вибір ультразвукового сенсора HC-SR04 як основного елемента для фіксації рухів обумовлений рядом його технологічних переваг. По–перше, сенсор забезпечує високу точність вимірювань, що є критично важливим для правильного підрахунку повторень віджимань. По-друге, його робота є незалежною від умов освітлення, що дає змогу використовувати пристрій у різноманітних середовищах – як у добре освітлених спортивних залах, так і в умовах обмеженого світла. По-третє, модуль має низьке енергоспоживання, що дозволяє використовувати його в автономних системах живлення. З огляду на те, що HC-SR04 має два окремі пінів для тригера і ейхо–сигналу, він забезпечує швидке реагування і високу стабільність вимірювань, що підтверджено у ряді наукових досліджень, де ультразвуковий модуль було використано для автоматичного підрахунку віджимань.

Інтеграція сенсора HC-SR04 до системи на базі Arduino Uno відбувається через просту схему підключення з використанням цифрових пінів для управління тригером і зчитування ехо-сигналу. Стандартна бібліотека Arduino (NewPing.h) спрощує обробку даних, автоматизуючи вимірювання часу імпульсу та конвертацію його у відстань. Для практичної реалізації лічильника віджимань сенсор розміщується в такій точці, де його ультразвуковий промінь перпендикулярно спрямований на грудну клітку або корпус користувача. Коли спортсмен опускається під час виконання вправи до певної мінімальної відстані, фіксується спрацювання, яке за спеціальним алгоритмом інтерпретується як завершення одного віджимання. Подібний підхід дозволяє мінімізувати кількість хибних спрацьовувань і забезпечити високу точність підрахунку навіть за умов різної швидкості виконання вправ.

Акселерометр MPU6050 [1] є багатоосевим інерційним датчиком, що об’єднує в собі тривісний акселерометр та тривісний гіроскоп, що дозволяє фіксувати як лінійні прискорення, так і кутові зміщення. Його застосування у системах моніторингу рухової активності, зокрема у фітнес-пристроях, забезпечує високий рівень деталізації рухів тіла. У контексті розробки лічильника віджимань, використання MPU6050 як допоміжного сенсора

дозволяє виявляти динамічні патерни руху користувача. Це забезпечує можливість аналізу амплітуди, швидкості та напрямку руху тіла під час виконання фізичних вправ, що критично важливо для фільтрації часткових або некоректних повторень. Крім того, наявність вбудованого цифрового фільтра (DLPF) дозволяє ефективно зменшити шум сигналу, що покращує точність даних при обробці в реальному часі.

Додаткове застосування MPU6050 у комбінації з ультразвуковим сенсором HC-SR04 значно підвищує точність системи рахування віджимань завдяки мультисенсорному контролю руху. Ультразвуковий сенсор фіксує зміну положення тіла у вертикальній площині, тоді як акселерометр контролює фактичну зміну прискорення, що виникає під час циклу руху. Завдяки цьому можна розпізнати характерний профіль одного повного віджимання та виключити випадкові спрацювання, спричинені сторонніми рухами, коливанням платформи або змінними положеннями рук. Такий підхід активно використовується в системах розпізнавання дій у спортивній аналітиці та реабілітаційних технологіях, де застосовуються інерційні датчики для точного розпізнавання рухової активності.

З технічної точки зору, MPU6050 зручно інтегрується з платформою Arduino Uno через інтерфейс I2C, використовуючи лише два цифрові піни (SDA і SCL), що дозволяє зберегти інші входи/виходи для підключення додаткових модулів, таких як дисплей або кнопки управління. Для роботи з MPU6050 доступні потужні бібліотеки, зокрема MPU6050.h та Wire.h, які дозволяють зчитувати не лише «сирі» значення прискорення, а й оброблені дані, включаючи кут нахилу, швидкість обертання та вектор гравітації. Ці характеристики можуть бути використані в алгоритмах машинного навчання або адаптивної фільтрації для вдосконалення точності рахування. Застосування MPU6050 як додаткового сенсора не лише підвищує точність і надійність пристрою, а й відкриває перспективу масштабування проєкту в напрямку повноцінного фітнес–трекера з функціями оцінки техніки виконання вправ і виявлення відхилень від стандартного шаблону руху.

2.2 Схемотехнічне рішення для підключення сенсорів та індикаторів

Схемотехнічне рішення є ключовим етапом у розробці апаратної частини лічильника віджимань, оскільки воно забезпечує правильне підключення всіх елементів до мікроконтролера Arduino Uno та їхню узгоджену роботу. У запропонованій системі передбачено використання ультразвукового сенсора HC-SR04 для вимірювання відстані між тілом користувача та опорною площиною, акселерометра MPU6050 для фіксації динаміки рухів та LCD-дисплея 1602 з модулем I2C, що забезпечує виведення результатів у зручній для користувача формі.

Підключення ультразвукового сенсора HC-SR04 до плати Arduino Uno здійснюється через два цифрові входи:

– Trig – для активації ультразвукового імпульсу;

– Echo – для зчитування відбитого сигналу.

Доцільно використовувати резистори для обмеження струму при потребі, особливо якщо сенсор підключається до інших пристроїв з різними рівнями напруги. Акселерометр MPU6050 підключається до Arduino через інтерфейс I2C, використовуючи виводи SDA (A4) та SCL (A5) на платі Uno. Живлення обох сенсорів здійснюється від стабільного джерела напруги 5V (HC-SR04) або 3.3V (MPU6050) залежно від версії модуля.

Для виведення результатів використовується LCD-дисплей 1602, оснащений модулем I2C, що значно спрощує схему підключення та зменшує кількість задіяних пінів Arduino. Підключення дисплея здійснюється до тих самих виводів SDA (A4) та SCL (A5), що і акселерометр, з урахуванням того, що інтерфейс I2C підтримує мультиадресну передачу даних. Напруга живлення дисплея становить 5 V, а заземлення об’єднується з іншими модулями через спільний GND. У разі потреби можливе додавання кнопки скидання або старту підрахунку, що підключається до будь-якого вільного цифрового піну із застосуванням внутрішнього підтягувального резистора (INPUT_PULLUP в Arduino IDE).

У процесі побудови схемотехнічного рішення для лічильника віджимань важливим є дотримання правильних принципів підключення компонентів для забезпечення стабільної роботи системи та мінімізації можливих завад. У таблиці 2.1 узагальнимо основні технічні заходи, які слід врахувати під час проєктування апаратної частини лічильника віджимань на базі Arduino Uno.

Таблиця 2.1 – Технічні заходи для проєктування апаратної частини лічильника віджимань

Рекомендація	Опис
Загальне заземлення (GND)	усі компоненти повинні бути підключені до спільного заземлення для стабільності роботи системи
живлення компонентів	HC-SR04 та LCD – від 5 V, MPU6050 – від 3,3 V; забезпечити стабільні джерела напруги
використання шини I2C	MPU6050 і LCD працюють на одній I2C-шині; перевірка адрес через скетч I2CScanner.ino
стабілізація живлення MPU6050	фільтрувальний конденсатор 100 нФ для зменшення високочастотних шумів на лінії живлення
захист входу Echo	обмежувальний резистор 330 Ом на піні Echo сенсора HC-SR04 для захисту Arduino
додаткові керуючі елементи	кнопка Start/Reset із підтягуванням INPUT_PULLUP для ручного управління підрахунком
візуальні та звукові індикатори	світлодіоди для індикації стану, акустичний сигналізатор для зворотного зв’язку
захист живлення	діод Шотткі або запобіжник на вході живлення для захисту від коротких замикань
використання step–down–конвертера	перетворення напруги для модулів, що потребують 3,3 V, у разі автономного живлення

Перш за все, усі елементи, зокрема сенсори та дисплей, повинні мати спільне заземлення (GND) для уникнення потенційних перепадів напруги та шумів у сигнальних лініях. Живлення компонентів здійснюється через стабільні джерела напруги: модуль акселерометра MPU6050 потребує живлення 3,3 V, тоді як ультразвуковий сенсор HC-SR04 та дисплей LCD 1602 з інтерфейсом I2C працюють від напруги 5 V. Особливу увагу слід приділити використанню шини I2C для підключення MPU6050 та LCD, яка є спільною для обох пристроїв. Також важливо переконатися у відсутності конфлікту адрес на шині. Для цього може бути використана утиліта сканування адрес, наприклад, скетч I2CScanner.ino, що дозволяє визначити зайняті адреси пристроїв на шині.

З метою підвищення стійкості сигналів та надійності роботи системи доцільним є впровадження додаткових заходів. Біля джерела живлення акселерометра MPU6050 рекомендовано встановити фільтрувальний конденсатор ємністю 100 нФ для згладжування високочастотних шумів, які можуть впливати на точність вимірювань. Для запобігання перенапруги на вході Echo ультразвукового сенсора HC-SR04 слід використовувати обмежувальний резистор номіналом близько 330 Ом, що дозволить захистити вхідні пін–контакти Arduino Uno від можливих стрибків напруги під час обробки відбитого сигналу.

Окрім базового функціоналу, схемотехніка може бути розширена для підвищення зручності користувача та додаткового зворотного зв’язку. Наприклад, можна підключити кнопку Start/Reset до одного з цифрових пінів Arduino із внутрішнім підтягуванням (INPUT_PULLUP), що дозволить запускати підрахунок віджимань або обнуляти результати вручну. Додатково до системи можуть бути інтегровані світлодіодні індикатори: зелений – для індикації правильного руху, червоний – для сигналізації про помилки або сторонні перешкоди. Також можливе підключення акустичного сигналізатора (buzzer), який, наприклад, подаватиме короткий звуковий сигнал після кожного десятого віджимання.

Для підвищення безпеки та довговічності пристрою необхідно врахувати аспекти захисту живлення. Зокрема, у разі використання автономного живлення від акумуляторів або батарей, рекомендується впровадити діод Шотткі або малопотужний запобіжник на вході живлення для захисту від коротких замикань та стрибків напруги. Якщо пристрій живиться від джерела напруги, що перевищує 5 V (наприклад, від батареї 7,4 V чи 9 V), доцільним є використання step-down-конвертера для забезпечення стабільного живлення модулів, особливо тих, що потребують 3,3 V, таких як MPU6050.

2.3 Розробка прототипу апаратної частини лічильника

Етап розробки прототипу апаратної частини є критично важливим для перевірки працездатності обраної архітектури системи та валідації схемотехнічних рішень. На даному етапі здійснюється фізичне збирання компонентів відповідно до розробленої схеми підключення, тестування взаємодії між модулями та налагодження базових функцій пристрою.

Основними елементами прототипу є мікроконтролер Arduino Uno, ультразвуковий сенсор HC-SR04 для детекції положення тіла користувача, акселерометр MPU6050 для фіксації рухової активності та LCD-дисплей 1602 з інтерфейсом I2C для виведення кількості виконаних віджимань. З'єднання компонентів здійснюється за допомогою макетної плати (breadboard) та гнучких з'єднувальних проводів. Такий підхід дозволяє швидко змінювати конфігурацію підключень під час процесу тестування та налагодження системи.

Для ефективної реалізації прототипу апаратної частини лічильника віджимань було обрано ключові компоненти, кожен із яких виконує конкретну функціональну роль у системі. У таблиці 2.2 наведено перелік основних елементів із відповідним призначенням та практичними рекомендаціями щодо їх підключення і використання для забезпечення стабільності роботи пристрою та підвищення його надійності.

Таблиця 2.2 – Компоненти та рекомендації для розробки прототипу апаратної частини лічильника

Компонент	Призначення	Рекомендації
1	2	3
Arduino Uno	основний мікроконтролер для управління пристроєм та обробки даних сенсорів	забезпечити надійне підключення через USB або батарейний блок
HC-SR04 (ультразвуковий сенсор)	вимірювання відстані до користувача для виявлення виконання віджимань	використовувати резистор 330 Ом на піні Echo для захисту Arduino
MPU6050 (акселерометр і гіроскоп)	фіксація прискорення і положення тіла для підвищення точності підрахунку	додати фільтрувальний конденсатор 100 нФ біля живлення

Продовження таблиці 2.2

1	2	3
LCD 1602 з I2C-модулем	виведення кількості віджимань та повідомлень для користувача	перевірити адреси I2C при одночасному використанні дисплея і MPU6050
Макетна плата (breadboard)	організація зручного та швидкого з'єднання всіх модулів без пайки	розміщувати компоненти для мінімізації довжини проводів
З'єднувальні проводи	підключення компонентів до Arduino Uno та між собою	використовувати короткі проводи для зменшення перешкод
Кнопка Start/Reset (опційно)	ручне ініціювання початку або скидання підрахунку повторень	підключити кнопку з використанням INPUT_PULLUP у коді
Світлодіодні індикатори (опційно)	візуальне сповіщення про стан системи (правильний рух/помилка)	застосовувати резистори для обмеження струму через світлодіоди
Акустичний сигналізатор (buzzer, опційно)	звуковий сигнал для інформування про виконання певної кількості повторень	підключити через транзистор для захисту Arduino при використанні потужних бузерів

При розробці прототипу особливу увагу варто приділити організації розташування елементів на макетній платі з метою мінімізації довжини сигнальних провідників та зниження рівня електромагнітних завад. Сенсор HC-SR04 закріплюється у такій позиції, щоб його ультразвуковий промінь був перпендикулярним до площини руху користувача. MPU6050 встановлюється у стабільному положенні для забезпечення коректного вимірювання прискорень. Для дисплея 1602 обирається місце, яке забезпечує зручну візуалізацію результатів користувачем під час виконання фізичних вправ. У разі потреби, в прототип додаються кнопки Start/Reset для ручного керування процесом підрахунку та світлодіодні індикатори для сигналізації про стан системи.

Після фізичного складання системи проводиться первинне тестування кожного окремого модуля: перевірка відгуку ультразвукового сенсора на зміну відстані, стабільність даних з MPU6050 та правильність виведення інформації на дисплей. Використання базових тестових скетчів для кожного компонента дозволяє швидко виявити можливі помилки у підключенні або конфігурації модулів. Тільки після успішного завершення індивідуальних тестів здійснюється інтеграція компонентів у єдину систему та подальше тестування прототипу в реальних умовах виконання фізичних вправ.

2.4 Особливості програмування Arduino: середовище та бібліотеки

Розробка програмного забезпечення для системи лічильника віджимань здійснюється у середовищі Arduino IDE, яке є стандартним інструментом для програмування мікроконтролерів платформи Arduino. Це середовище забезпечує зручний інтерфейс, підтримує компіляцію, завантаження коду на плату, а також має вбудовану систему керування бібліотеками. Arduino IDE підтримує мову програмування, засновану на спрощеному синтаксисі C/C++, що дозволяє ефективно реалізовувати логіку роботи сенсорів, дисплеїв та додаткових модулів.

Програмна частина лічильника складається з кількох функціональних блоків:

– ініціалізації сенсорів та дисплея, зчитування даних з ультразвукового сенсора HC-SR04 та акселерометра MPU6050;

– обробки отриманих значень для виявлення віджимань;

– виведення результатів на LCD-дисплей.

Для реалізації програмної частини лічильника віджимань на базі Arduino Uno використовують спеціалізовані бібліотеки, що забезпечують спрощений доступ до функціоналу сенсорів та дисплеїв. У таблиці 2.3 наведено основні бібліотеки, які застосовуються у проєкті, із зазначенням їхнього призначення.

Таблиця 2.3 – Бібліотеки Arduino [15]

Назва бібліотеки	Призначення
Wire.h	бібліотека для роботи з I2C-пристроями (MPU6050, LCD)
LiquidCrystal_I2C.h	бібліотека для управління LCD-дисплеями через I2C-інтерфейс
NewPing.h	бібліотека для зручної роботи з ультразвуковим сенсором HC–SR04
MPU6050.h	бібліотека для базової роботи з MPU6050 через I2C
Adafruit_MPU6050.h	розширена бібліотека для точнішої роботи з MPU6050, підтримує фільтрацію даних

Особливу увагу при програмуванні приділяється обробці даних сенсорів для уникнення помилкових спрацювань. Наприклад, дані з акселерометра можуть фільтруватися за допомогою алгоритмів ковзного середнього або

порогового детектування зміни прискорення. Дані з HC-SR04 перевіряються на відповідність допустимому діапазону відстаней (наприклад, 10-30 см для реєстрації одного повного віджимання). При кожному підтвердженому русі лічильник інкрементується, і відповідна інформація виводиться на дисплей. Для збереження простоти та модульності коду використовуються функціональні блоки (наприклад, detectPushup(), updateDisplay(), readDistance()), що сприяє масштабованості проєкту та полегшує налагодження.

Середовище розробки Arduino IDE надає розробникам зручний інструмент для управління зовнішніми бібліотеками – менеджер бібліотек (Library Manager), який суттєво спрощує процес підключення необхідних модулів до проєкту. Завдяки вбудованому менеджеру користувач може здійснювати пошук бібліотек за назвою, переглядати їх описи, версії та здійснювати встановлення у декілька кліків без необхідності ручного завантаження та розпакування файлів. Такий підхід зменшує ймовірність помилок, пов’язаних із неправильною інсталяцією бібліотек, а також забезпечує сумісність версій із обраною платформою Arduino.

Крім встановлення, менеджер бібліотек дозволяє своєчасно оновлювати вже наявні бібліотеки до актуальних версій, що є важливим аспектом для підвищення стабільності роботи системи та забезпечення сумісності з новими оновленнями середовища Arduino IDE. Регулярне оновлення бібліотек сприяє виправленню потенційних помилок у коді, покращенню продуктивності функцій, а також додає нові можливості для роботи з периферійними пристроями. Таким чином, використання менеджера бібліотек є невід’ємною частиною ефективного процесу розробки програмного забезпечення для мікроконтролерних систем.

РОЗДІЛ 3
РОЗРОБКА ПРОГРАМНО-АПАРАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЛІЧИЛЬНИКА ВІДЖИМАНЬ

3.1 Апаратне забезпечення лічильника віджимань

Прототип системи підрахунку віджимань, побудованої на основі мікроконтролера Arduino Uno та ультразвукового сенсора HC-SR04.

Для реалізації проєкту було використан:

– мікроконтролер Arduino Uno, який виступає як обчислювальний центр системи (рис. 3.1);

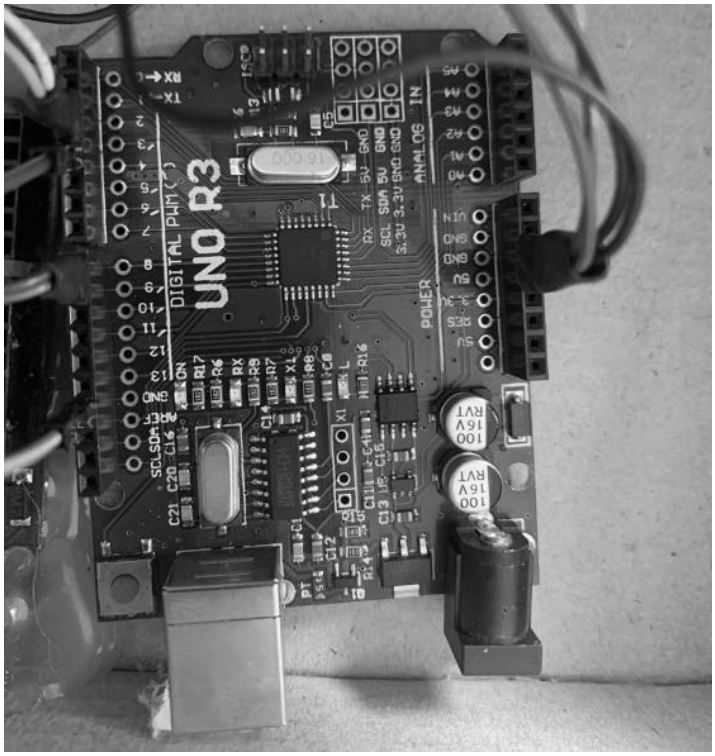

Рисунок 3.1 – Мікроконтролер Arduino Uno

– ультразвуковий датчик HC-SR04 (рис. 3.2), що вимірює відстань між тілом користувача та підлогою під час виконання віджимань;

Рисунок 3.2 – ультразвуковий датчик HC-SR04

– 4-розрядний дисплей Grove TM1637 (рис. 3.3) для виведення кількості повторів у реальному часі;

Рисунок 3.3 – Grove TM1637

– з’єднувальні дроти та кнопка (рис. 3.4) для скидання показників.

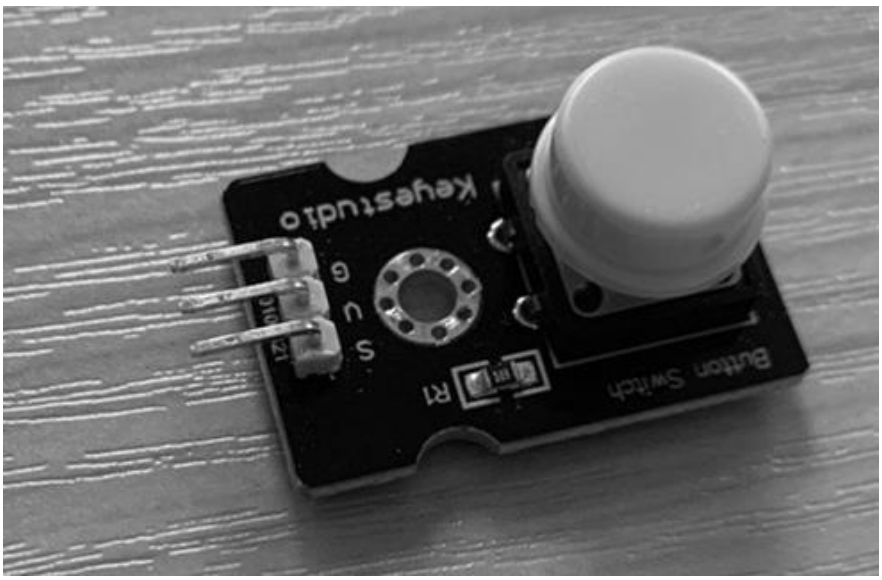

Рисунок 3.4 – Кнопка

3.2 Розробка схеми підключення

Опис підключення:

– до Arduino підключаються Trig і Echo ультразвукового датчика;

– дисплей Grove TM1637 з’єднано по виходам (DIO, CLK) до мікроконтролера.

Загальна схема підключення представлена на рисунку 3.5.

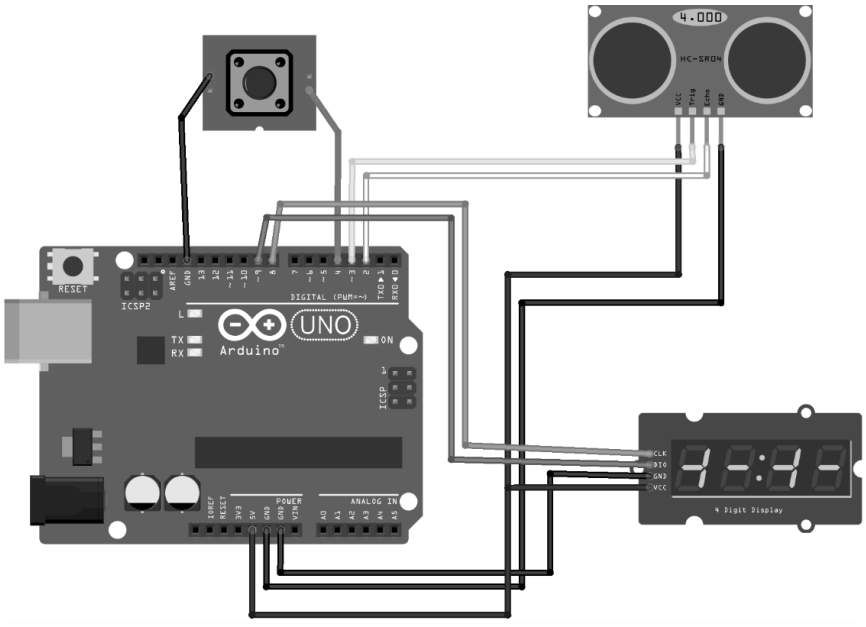

Рисунок 3.5 – Схема підключення компонентів Arduino Uno

3.3 Програмування мікроконтролера в Arduino IDE

Для налаштування мікроконтролера автоматизованої системи відкривання ємностей необхідно попередньо встановити програмне забезпечення Arduino IDE (рис. 3.6). Після запуску середовища виконується підключення необхідної плати шляхом переходу до вкладки «Інструменти» → «Менеджер плат» і вибору серед наявних варіантів Arduino AVR Boards (рис. 3.7).

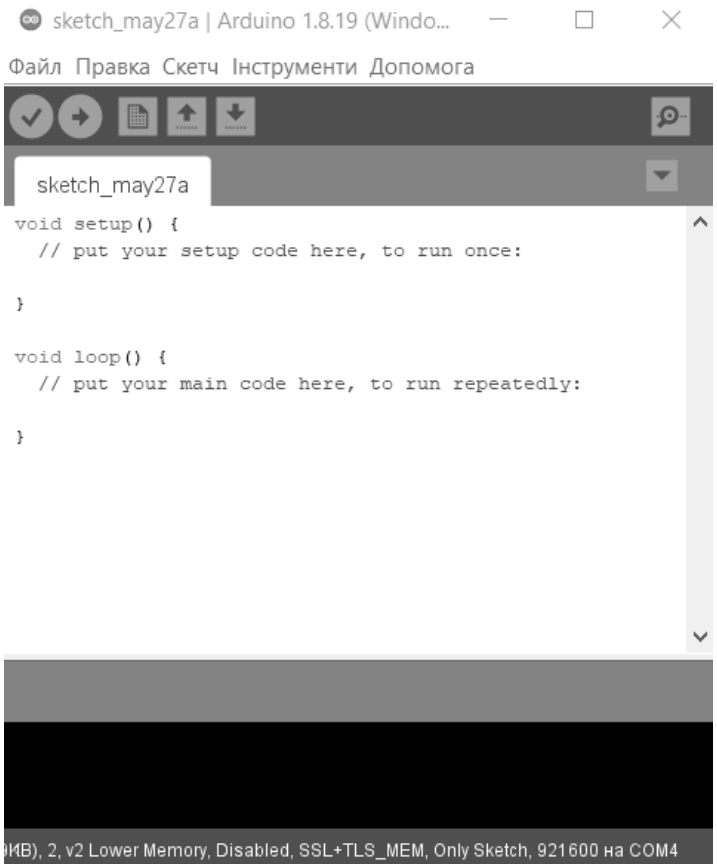

Рисунок 3.6 – Головне вікно середовища Arduino IDE

Наступним етапом є фізичне підключення плати Arduino Uno до комп’ютера. Важливим моментом є правильний вибір типу плати в меню «Інструменти», що дозволяє уникнути помилок під час завантаження скетча (рис. 3.8).

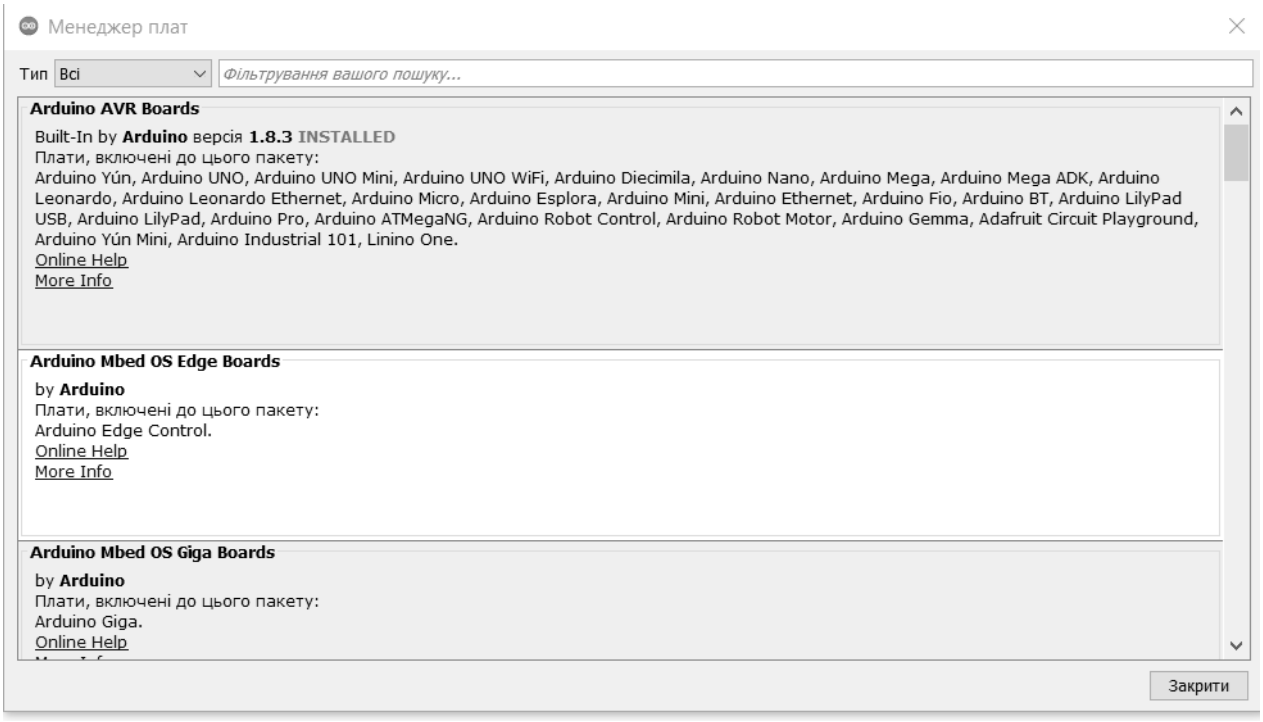

Рисунок 3.7 – Вікно налаштувань Менеджера плат

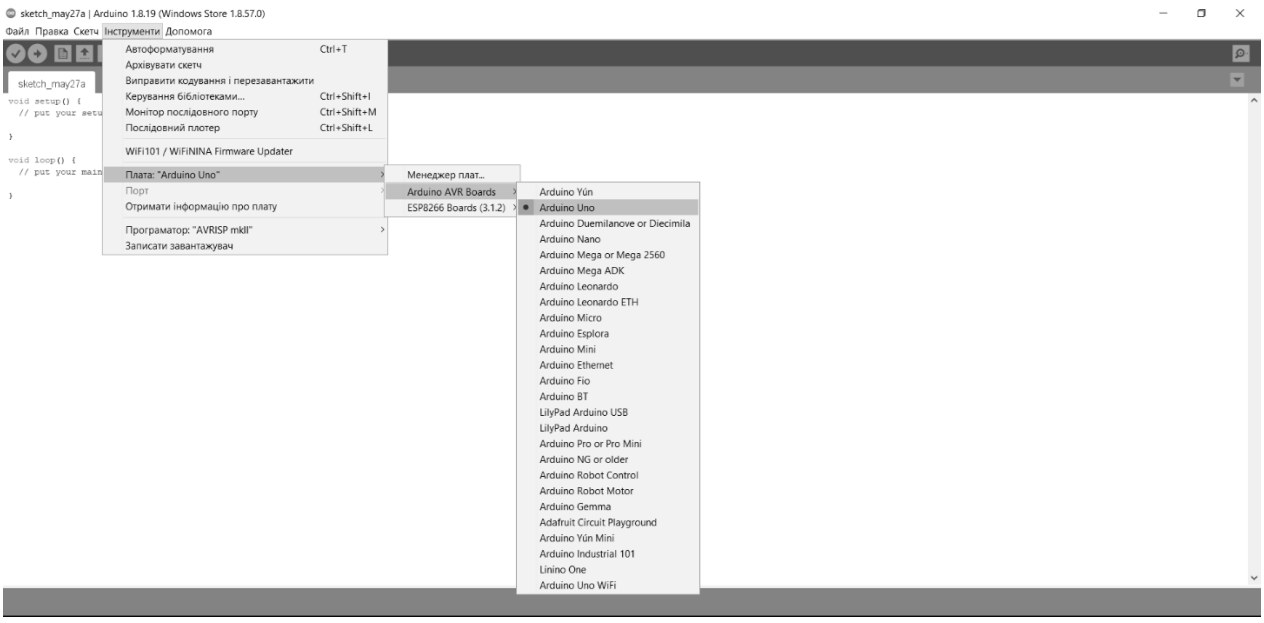

Рисунок 3.8 – Вибір плати Arduino Uno для завантаження програмного коду

Після інсталяції драйверів необхідно обрати коректний COM-порт, до якого підключено пристрій (рис. 3.9), наприклад, COM4.

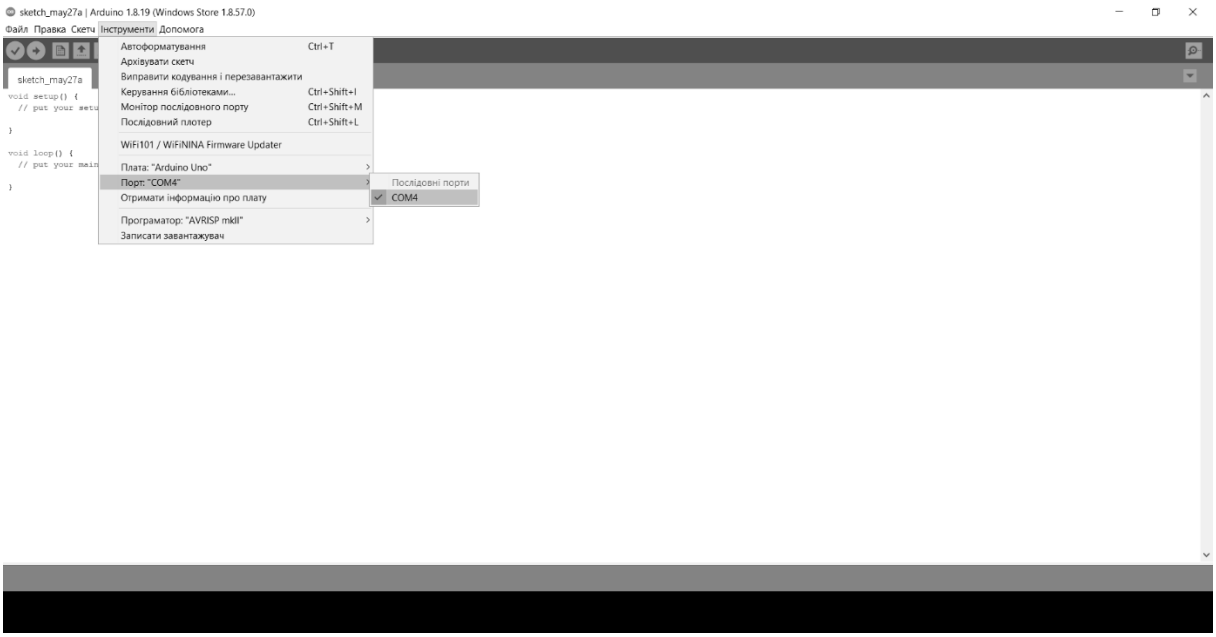

Рисунок 3.9 – Вибір відповідного COM-порту для комунікації з платою

Підключення ультразвукового датчика HC-SR04 до плати Arduino є прямолінійним та дає змогу здійснювати замір відстані до об’єктів. Датчик працює на основі звукових імпульсів і має два основні виходи: передавач (TRIG) та приймач (ECHO). Основні параметри підключення наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Підключення датчика HC-SR04 до Arduino

Виходи сервопривода	Підключення
VCC	5V
GND	GND
TRIG	Pin 9
ECHO	Pin 10

Для роботи з датчиком можна використовувати стандартні Arduino-бібліотеки або ж розробити власний алгоритм. У листингу 3.1 наведено приклад програмного коду, що забезпечує вимірювання відстані за допомогою HC-SR04.

На етапі ініціалізації визначаються пін TRIG як вихідний, а ECHO – як вхідний. Щоб запустити вимірювання, на пін TRIG подається короткий 10-мікросекундний імпульс. Тривалість відбитого сигналу, який приймається на пін ECHO, вимірюється функцією pulseIn(), а розрахунок відстані виконується на

основі часу проходження сигналу. Результати виводяться на серійний монітор через послідовний порт.

Лістинг 3.1 – Вимірювання відстані за допомогою датчика HC-SR04

```
// Визначення пінів
const int trigPin = 9;
const int echoPin = 10;

// Змінні для зберігання виміряної відстані
long duration;
int distance;

void setup() {
  // Налаштування пінів
  pinMode(trigPin, OUTPUT);
  pinMode(echoPin, INPUT);

  // Налаштування серійного порту для виведення результатів
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  // Генерація 10 мікросекундного імпульсу на TRIG пін
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(trigPin, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(trigPin, LOW);

  // Вимірювання тривалості імпульсу на ECHO пін
  duration = pulseIn(echoPin, HIGH);

  // Обчислення відстані в сантиметрах
  distance = duration * 0.034 / 2;

  // Виведення результату на серійний порт
  Serial.print("Distance: ");
  Serial.print(distance);
  Serial.println(" cm");

  // Затримка перед наступним вимірюванням
delay(500);
```

кінець лістингу 3.1

Підключення й програмування ультразвукового датчика HC-SR04 є відносно нескладним процесом, який дозволяє розширити функціональні можливості систем, відкриваючи шлях до розробки робототехнічних, автоматизованих і захисних рішень.

3.4 Розробка програмного забезпечення лічильника віджимань

Програмна частина розроблена на мові Arduino C у середовищі Arduino IDE. Основна логіка полягає у тому, що ультразвуковий датчик постійно вимірює відстань до об’єкта, розташованого перед ним (груди користувача). Якщо значення відстані зменшується нижче певного порогу (наприклад, 10 см), система реєструє одне віджимання. Для уникнення помилкових спрацювань додається затримка (debounce delay) та перевірка, щоб відлік повторювався тільки після повернення користувача у вихідне положення.

Програмна реалізація код проєкту включає:

- ініціалізацію пінів ультразвукового сенсора;
- розрахунок відстані на основі часу проходження ультразвукової хвилі;
- реалізацію циклу перевірки значення відстані;
- збільшення змінної лічильника при кожному зафіксованому віджиманні;
- виведення результатів на OLED-дисплей.

Основні програмні блоки представлено на лістингу 3.2.

Апаратне з’єднання Сенсор HC-SR04 підключається до Arduino наступним чином:

- Trig → пін 9 Arduino;
- Echo → пін 10 Arduino;
- Vcc → 5V Arduino;
- GND → GND Arduino.

4-розрядний дисплей Grove TM1637 (A4 - SDA, A5 - SCL).

Система була протестована в лабораторних умовах. При розташуванні сенсора під тілом користувача система стабільно реєструвала віджимання, без

помилкових спрацювань. Похибка вимірювань складала менше 5 %, що є прийнятним для спортивних цілей.

Лістинг 3.2 – Основні програмні блок

```
  digitalWrite(triggerPin, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(triggerPin, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(triggerPin, LOW);
  return pulseIn(echoPin, HIGH) / 29 / 2;
}

void loop() {
  long distance = readUltrasonicDistance(triggerPin, echoPin);
  if (distance < threshold && !detected) {
    count++;
    detected = true;
    displayCount();
  }
  if (distance > threshold + buffer) {
    detected = false;
  }
}
```

кінець лістингу 3.2

Розроблена система демонструє практичне використання мікроконтролерів Arduino та ультразвукових сенсорів для побудови побутових та спортивних девайсів. Вона може стати основою для подальшого вдосконалення, наприклад, шляхом додавання Bluetooth-модуля для передачі даних на смартфон або розширення функціоналу (лічильник підходів, збереження історії тренувань тощо).

Після завершення написання основного програмного коду необхідно виконати його перевірку на наявність синтаксичних та логічних помилок. Після успішної компіляції можна завантажити програму безпосередньо на мікроконтролер для подальшого тестування. Завершальним етапом є налаштування параметрів сервоприводу з метою забезпечення його коректного функціонування відповідно до заданих умов. Повний текст програмного коду наведено в додатку А.

ВИСНОВКИ

Контроль рухової активності є основою для автоматизації оцінки фізичних вправ і моніторингу стану користувача. Існуючі методи поділяються на контактні та безконтактні технології, кожна з яких має свої переваги і обмеження щодо точності, зручності використання та умов застосування. Для задачі лічильника віджимань оптимальним є поєднання акселерометричних та оптичних технологій, що дозволяє досягти високої достовірності визначення рухів за мінімального втручання у комфорт користувача.

Проведений аналіз мікроконтролерних платформ засвідчив, що Arduino Uno є найкращим вибором для розробки компактної, енергоефективної та доступної системи лічильника фізичних вправ. Простота програмування, розвинена екосистема бібліотек, низьке енергоспоживання і достатня кількість входів/виходів роблять Arduino Uno ідеальним рішенням для реалізації даного проєкту як на рівні прототипу, так і на стадії його вдосконалення.

Вибір апаратних компонентів здійснювався на основі принципів доступності, енергоефективності, простоти підключення та сумісності із платформою Arduino Uno. Обрані модулі – HC-SR04, -розрядний дисплей Grove TM1637, що дозволяють створити мінімалістичну, проте функціонально повноцінну систему підрахунку віджимань із можливістю розширення її можливостей у майбутньому.

Схемотехнічне рішення було розроблено з урахуванням мінімізації кількості задіяних виводів Arduino Uno, забезпечення стійкості сигналів та запобігання можливим електричним завадам. Використання загального заземлення, обмежувальних резисторів, фільтрувальних конденсаторів та інтерфейсу I2C для кількох пристроїв дозволяє створити компактну та надійну апаратну платформу для системи.

Під час створення прототипу було успішно реалізовано апаратну інтеграцію усіх обраних модулів із застосуванням макетної плати, що дозволило швидко протестувати роботу системи, оптимізувати розташування елементів та

налаштувати їхню взаємодію. Створений прототип продемонстрував можливість надійного підрахунку фізичних вправ у реальних умовах виконання тренувань.

Програмування системи лічильника здійснювалося у середовищі Arduino IDE із використанням стандартних та сторонніх бібліотек для роботи з сенсорами та дисплеєм. Основна увага приділялася забезпеченню неблокуючої роботи програми, стабільній обробці даних та реалізації механізмів фільтрації шумів, що в сукупності забезпечило точність підрахунку віджимань і високу стійкість системи до сторонніх впливів.

У рамках бакалаврської роботи було розроблено та реалізовано прототип автоматизованого лічильника віджимань на основі мікроконтролера Arduino Uno. Система дозволяє ефективно фіксувати кількість виконаних віджимань за допомогою ультразвукового сенсора, що реагує на зміну відстані під час рухів.

Проведені експерименти підтвердили працездатність запропонованої конструкції, її точність та стабільність роботи. Отримані результати демонструють, що запропонований пристрій має перспективи для подальшого розвитку, зокрема у напрямках удосконалення програмного забезпечення, розширення функціоналу (наприклад, додавання підрахунку інших видів вправ) та підключення до мобільних додатків для збереження статистики тренувань.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. MPU6050 від Electronic Cats – бібліотека для Arduino. *GitHub.* URL: https://github.com/ElectronicCats/mpu6050 (дата звернення: 15.01.2025).

2. Датчик відстані STMicroelectronics VL53L0X. *Mouser Electronics.* URL: https://eu.mouser.com/ProductDetail/STMicroelectronics/VL53L0CXV0DH–1?qs=dTJS0cRn7ojtsK3C9%252BTaSw%3D%3D (дата звернення: 15.01.2025).

3. Chen Y.Y., Sha L.W., Chiu W.H. Use Accelerometer to Monitoring the Exercise Status: Held the Push-Ups Movement as an Example. *Sensor Networks and Signal Processing. Smart Innovation, Systems and Technologies*. Vol. 176. Springer, Singapore, 2021. P. 51-61.

4. Засоби розробки, прогрматори. *Arduino.* URL: https://arduino.ua/cat12-sredstva-razrabotki-programmatori (дата звернення: 12.02.2025).

5. Плата Arduino Uno. *Arduinokit*. URL: https://arduinokit.com.ua/ua/p1137698825-plata-arduino-uno.html (дата звернення: 13.02.2025).

6. Push-up Counter using Arduino and Ultrasonic Sensor. *Arduino.* URL: https://projecthub.arduino.cc/herolivechannel/push-up-counter-using-arduino-and-ultrasonic-sensor-2fe58e (дата звернення: 20.02.2025).

7. Pushup Counter. *Hackster.io, an Avnet Community*. URL: https://www.hackster.io/mixpose/pushup-counter-e3ed69 (дата звернення: 20.02.2025).

8. Arduino Guide for MPU-6050 Accelerometer and Gyroscope Sensor. *Randomnerdtutorials.* URL: https://randomnerdtutorials.com/arduino-mpu-6050-accelerometer-gyroscope/ (дата звернення: 20.02.2025).

9. LCD 1602 I2C символьний дисплей. *Arduino*. URL: https://arduino.ua/prod6188-lcd-1602-i2c-simvolnii-displei-16x2-sinii (дата звернення: 25.02.2025).

10. Pranjali Bharat Ahire, Neha Prakash Suryawanshi, Gauri Dhananjay Dugane, Radhika Gore. Push Up Counter – IoT in Fitness. *International Journal of Science, Engineering and Technology.* Vol. 12:1. 2024. URL: https://www.ijset.in/wp-content/uploads/IJSET_V12_issue1_535.pdf (дата звернення: 25.02.2025).

11. Pushup Counter, helps with stay-at-home training! *Hackster.io, спільнота Avnet.* URL: https://www.hackster.io/glerumkyle/pushup-counter-helps-with-stay-at-home-training-0b5fff?utm_source (дата звернення: 25.02.2025).

12. OLED дисплей графічний «SSD1306 I2C 4p 0.96» 128x64 Arduino. *Evse.* URL: https://evse.com.ua/oled-displej-graficheskij-ssd1306-i2c-4p-096-128x64-arduino-sine-zheltyj (дата звернення: 25.03.2025).

13. Graphics on a SSD1306 I2C OLED 128x64 Display With CircuitPython Using an Itsybitsy M4 Express. *Autodesk, Inc.* URL: https://www.instructables.com/Graphics-on-a-SSD1306-I2C-OLED-128x64-Display-With/ (дата звернення: 25.03.2025).

14. Arduino Uno Rev3. *Arduino Official.* URL: https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3 (дата звернення: 12.04.2025).

15. Arduino Libraries Documentation. *Arduino Official.* URL: https://docs.arduino.cc /libraries/ (дата звернення: 12.04.2025).

ДОДАТКИ

Додаток А

Код програми

```
#include <TM1637Display.h>
//HC-SR04
#define echoPin  2
#define trigPin  3
#define resetPin 4

// 4-digital display pins (Digital Pins)
#define CLK 8
#define DIO 9
TM1637Display display(CLK, DIO);

float duration;
  //micro second
float d_cm;
long numDisplay=100;
boolean trigUp = false;
boolean
  trigDown = false;
float counterPushUp=0;

void setup() {

// initializ serial communication:
  Serial.begin(9600);
  pinMode(trigPin,OUTPUT);

  pinMode(echoPin,INPUT);
  //
  pinMode(resetPin,INPUT_PULLUP);
  //

  display.setBrightness(4);
  display.clear();
  delay(500);
  display.showNumberDecEx(numDisplay,
  false, true, 4, 0);
}

void loop() {

  //reset by switch
  if(digitalRead(resetPin)==0){

    trigUp=false;
    trigDown=false;
    counterPushUp=0;
  }


  // generate pusle trigger
  digitalWrite(trigPin,LOW);
  delayMicroseconds(2);

  digitalWrite(trigPin,HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(trigPin,LOW);
```

```
  // receive, convert time (us) to cm
  duration = pulseIn(echoPin,HIGH);

  d_cm = duration * 0.034/2.;

  //trigger body
  if (d_cm>15 && d_cm<=30){

    trigUp = true;
  } else if (d_cm < 10){
    trigDown = true;
  } else
  if(d_cm >30) {
  }
  //counter
  if (trigUp==true && trigDown==true){

    counterPushUp=counterPushUp+0.5;
    trigUp=false;
    trigDown=false;

  }
  //print
//  Serial.print(d_cm);
//  Serial.print(" --- ");
//
  Serial.println(counterPushUp);
  display.showNumberDecEx(counterPushUp, false,
  true, 4, 0);
}
```