

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і
робототехніки
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи бакалавра

на тему:

**Комп'ютеризована система вимірювання та контролю
дистанції та швидкості руху спортсмена**

Виконав: студент 4 курсу, групи МТ-5
спеціальності 152 Метрологія та
інформаційно-вимірювальна техніка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Лісовик Єгор Андрійович

(прізвище та ініціали)

Керівник дтн, проф. каф. ІВТ

Пількевич І.А.

(прізвище та ініціали)

Рецензент _____

(прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і
робототехніки
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій
Спеціальність 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

інформаційно-вимірювальних технологій

д.т.н., професор Подчашинський Ю.О.

«22» квітня 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

Студенту Лісовику Єгору Андрійовичу

1. Тема роботи: Комп'ютеризована система вимірювання та контролю
дистанції та швидкості руху спортсмена

Затверджена Наказом по університету від «22» квітня 2026 р. № 175/с

2. Термін здачі закінченої роботи на кафедру «11» червня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи вивід виміряних значень швидкості та дистанції
на дисплей, розрахунок надійності та точності вимірювання відстані
та швидкості, точність системи не менше $\pm 0,117$ м/с, $\pm 0,4$ м.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які підлягають розробці)
технічне завдання, опис сучасних пристроїв вимірювання дистанції та
швидкості спортсмена, розробка структурної та принципової схеми,
розробка алгоритму та програми, розробка друкованої плати

5. Перелік графічного матеріалу (з точним визначенням обов'язкових креслень)

Структурна схема, принципова схема, блок-схема алгоритму, друкована
плата

6. Консультанти з кваліфікаційної роботи бакалавра із зазначенням розділів роботи, що їх стосуються

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1-7	Пількевич І.А.		

7. Дата видачі завдання 22 квітня 2026 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Визначення змісту	22.04.2026-23.04.2026	
2	Аналіз аналогічних пристроїв вимірювання дистанції та швидкості	24.04.2026-26.04.2026	
3	Опис технічного завдання	27.04.2026-29.04.2026	
4	Обґрунтування складових компонентів системи	1.05.2026-4.05.2025	
5	Розробка структурної та принципової схем системи	5.05.2026-10.05.2026	
6	Розрахунок надійності та точності системи	12.05.2026-13.05.2026	
7	Розробка алгоритму та відповідної програми	15.05.2026-17.05.2026	
8	Оформлення кваліфікаційної роботи та презентації	18.05.2026-10.06.2026	

Студент _____ Лісовик Є.А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Пількевич І.А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота бакалавра на тему «Комп'ютеризована система вимірювання та контролю дистанції та швидкості руху спортсмена» містить 76 сторінок, 19 рисунків, 5 таблиць, 18 формул, 23 джерела.

У роботі обґрунтовано актуальність розробки комп'ютеризованої системи для моніторингу параметрів руху спортсмена під час тренування. Проведено аналіз сучасних аналогів та існуючих технічних рішень для вимірювання динамічних показників у спорті. Здійснено вибір та обґрунтовано елементну базу системи.

Розроблено структурну та принципову електричну схеми системи, а також сформовано алгоритм функціонування і програмне забезпечення для вимірювальної системи. Проектування апаратної частини включає конструювання друкованої плати. Виконано розрахунок показників надійності та точності створеної системи. Описані вимоги щодо охорони праці та техніки безпеки.

Ключові слова: відстань, швидкість, акселерометр, attiny2313.

ANNOTATION

The bachelor's thesis on "Computerized System for Measuring and Monitoring the Distance and Speed of an Athlete's Movement" contains 76 pages, 19 figures, 5 tables, 18 formulas, and 23 references.

The paper substantiates the relevance of developing a computerized system for monitoring the movement parameters of an athlete during training. An analysis of modern analogues and existing technical solutions for measuring dynamic performance indicators in sport has been carried out. The component base of the system has been selected and justified.

The structural and schematic electrical diagrams of the system have been developed, along with a functional algorithm and software for the measurement system. The hardware design includes the development of a printed circuit board. The reliability and accuracy indicators of the created system have been calculated. The occupational health and safety requirements are described.

Keywords: distance, speed, accelerometer, ATtiny2313.

3MICT

ВСТУП.....	6
1. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ.....	8
1.1. Призначення та область застосування.....	8
1.2. Умови експлуатації	8
1.3. Технічні параметри пристрою.....	9
1.4. Вимоги до конструкції та надійності системи.....	11
2. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ.....	13
3. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ.....	21
3.1.Обґрунтування вибраних технічних рішень.....	21
3.2. Обґрунтування типу мікроконтролера.....	22
3.3.Обґрунтування типу датчика руху.....	25
3.4.Обґрунтування дисплея.....	28
3.5. Обґрунтування елементів комутації.....	30
3.6.Обґрунтування світлодіодної сигналізації	32
3.7. Обґрунтування живлення системи.....	33
3.8.Розробка структурної схеми.....	35
4. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ.....	37
4.1. Вибір мікронтролера.....	37
4.2.Вибір датчика руху.....	40
4.3.Вибір дисплея.....	41
4.4. Вибір елементів комутації.....	43
4.5.Вибір елементів світлової сигналізації	45
4.6. Вибір блока живлення.....	46
4.7. Принципова електрична схема.....	48
4.8. Розрахунок похибок вимірювання відстан та швидкості.....	51
5. РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ТА АЛГОРИТМУ.....	55
5.1. Розробка алгоритму	55
5.2. Розробка програми.....	58
6. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА.....	63
6.1.Розробка друкованої плати.....	63
6.2. Розрахунок надійності системи.....	64
7.ОХОРОНА ПРАЦІ.....	68
7.1. Охорона праці.....	68
7.2. Розробка заходів з охорони праці.....	69
7.3. Пожежна безпека приміщення.....	70
7.4. Навчання, інструктаж працівників з питань охорони праці.....	71
ВИСНОВКИ.....	73
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	75
ДОДАТКИ.....	77

					МММТ 480.016.016 – ПЗ					
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Комп'ютеризована система вимірювання та контролю дистанції та швидкості руху спортсмена		Лім.	Арк.	Аркциф	
Розробив		Лисовик Е.А.							5	63
Перевірив		Пількевич І.А.					ДУ «Житомирська політехніка», МТ-5			
Рецензент										
Н. контр.										
Затверд.		Подчашинський Ю.О.			Пояснювальна записка					

ВСТУП

Ефективність тренувального процесу та безпека сучасного спортсмена безпосередньо залежать від використання спеціалізованих засобів вимірювальної техніки. Сьогодні індивідуальні моніторингові пристрої, такі як пульсометри, крокоміри, тонометри, трансформувалися з елементів престижу на обов'язковий інструмент контролю фізичної форми та оптимізації навантажень.

Серед базових засобів індивідуального контролю особливе місце посідають прилади для підрахунку кроків, які в сучасних модифікаціях здатні обчислювати пройдену відстань та швидкість руху. Залежно від ергономічних вимог і специфіки дисципліни, такі пристрої виготовляються у вигляді наручних чи плечових браслетів, поясних кріплень або підвісів. Для інтенсивних тренувань найбільш ергономічним є плечове кріплення, яке мінімізує вплив завад на точність вимірювань і не обмежує рухи спортсмена.

Проте більшість серійних бюджетних приладів відображають лише загальну кількість кроків, чого недостатньо для комплексного аналізу динаміки руху. Зважаючи на це, актуальною є розробка комп'ютеризованої вимірювальної системи, що дозволяє в реальному часі визначати не лише кількість кроків, а й миттєву швидкість та загальну дистанцію, з візуалізацією даних у загальноприйнятих фізичних одиницях (кроках, метрах за секунду та метрах).

Метою дипломної роботи є розробка комп'ютеризованої системи вимірювання та контролю дистанції й швидкості руху спортсмена для підвищення ефективності моніторингу тренувального процесу.

Об'єкт дослідження – процес вимірювання, контролю та реєстрації параметрів руху (швидкості та дистанції) спортсмена.

Предмет дослідження – методи, алгоритми, апаратно-програмні засоби та структура комп'ютеризованої системи вимірювання параметрів руху спортсмена на базі мікроконтролера ATtiny2313.

					МММТ 480.016.016 – ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Завдання даної дипломної роботи – розробка комп’ютеризованої системи вимірювання параметрів для визначення параметрів руху спортсменів на тренуваннях.

Для вирішення завдання пропонується виконати наступні пункти:

1. Проаналізувати існуючі системи вимірювання параметрів руху спортсменів.
2. Розробити структурну схему комп’ютеризованої системи вимірювання відстані та швидкості спортсмена.
3. Обрати складові системи.
4. Розробити принципову електричну схему комп’ютеризованої системи вимірювання відстані та швидкості спортсмена
5. Розробити друковану плату системи.
6. Створити блок-схему алгоритму роботи та написати програму для мікроконтролера.
7. Провести розрахунок точності та надійності розробленої системи

					МММТ 480.016.016 – ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

1. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

1.1. Призначення та область застосування

Комп'ютеризована система вимірювання та контролю дистанції та швидкості руху спортсмена призначена для автоматизованого збору, обробки, оперативного аналізу та візуалізації основних кінематичних параметрів людини під час ходьби або бігу в реальному часі.

Областю застосування системи є:

1. Професійний та аматорський спорт: моніторинг і коригування інтенсивності навантажень атлетів (легка атлетика, спортивна ходьба, марафонський біг) безпосередньо під час тренувань;

2. Фізична реабілітація та ерготерапія: контроль рухової активності пацієнтів у відновлювальний період після травм або захворювань опорно-рухового апарату;

3. Спортивна медицина: індивідуальне тестування фізичної витривалості та експрес-оцінка динаміки локомоторних функцій організму;

4. Фітнес та самоконтроль: використання як автономного портативного трекера для оптимізації повсякденної фізичної активності.

1.2. Умови експлуатації та параметри навколишнього середовища

– Температура навколишнього повітря: від -20°C до +50°C (забезпечує працездатність системи як у зимовий період, так і під час літньої спеки);

– Відносна вологість повітря: до 80% при температурі +25°C (без конденсації вологи);

– Атмосферний тиск: від 630 до 800 мм рт. ст. (84,0 – 106,7кПа);

– Конструкція корпусу повинна забезпечувати захист електронних компонентів від дії хімічно активних біородин (людського поту) та пилу (рекомендований клас захисту не нижче IP54).

					МММТ 480.016.016 – ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

- Пристрій є стійким до постійних динамічних навантажень, які виникають під час бігу та ходьби (вібрація, тряска, циклічні удари та прискорення);
- Надійне фіксування на плечі спортсмена за допомогою еластичного ремня для мінімізації паразитних коливань.
- Джерело живлення: автономне, від акумуляторної батареї з номінальною напругою 3,7 В $\pm 5\%$ (постійний струм);
- Характер роботи: повторно-короткочасний або переривчастий (активується безпосередньо на час проведення тренувальної сесії).

1.3. Технічні параметри системи

Комп'ютеризована система вимірювання та контролю дистанції та швидкості руху спортсмена має чітко визначену структуру вхідних та вихідних інформаційних і живильних потоків.

Вхідна інформація та сигнали системи:

- Керуючий вхід: Використовується для прийому дискретного сигналу від кнопки тактового типу, призначеної для увімкнення/вимкнення пристрою, ініціалізації початку тренування або скидання поточних метрологічних показників.
- Основне джерело вхідної інформації: Цифровий триосьовий акселерометр ADXL345. Первинна інформація про динамічні прискорення тіла спортсмена вздовж осей X, Y, Z надходить до мікроконтролера у вигляді цифрового коду через послідовний синхронний інтерфейс (I2C/TWI). Інтенсивність надходження даних визначається частотою опитування датчика (стандартно від 100Гц до 400Гц, що забезпечує високу точність фіксації кожного кроку та виключає пропуск високочастотних коливань під час бігу.
- Вхід електроживлення: Постійна напруга 3.7В від інтегрованого літій-полімерного (Li-Po) акумулятора, яка через систему фільтрації

					МММТ 480.016.016 – ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

подається на МК та периферійні модулі. Для заряджання акумулятора передбачено вхідний інтерфейс USB Type-C (напруга 5В від зовнішнього адаптера або ПК), підключений до контролера заряду TP4056.

Вихідна інформація та сигнали системи:

- Основний вихід даних: Цифрові значення обчислених параметрів (кількість кроків, поточна лінійна швидкість руху, сумарна подолана дистанція), які виводяться в системі СІ на малогабаритний графічний OLED-дисплей в режимі реального часу.
- Світлодіодна індикація: Надвисокояскраві SMD-світлодіоди, які сигналізують про поточний стан пристрою (процес заряджання акумулятора, увімкнення режиму вимірювання або критичний рівень розряду батареї).
- Комунікаційний вихід: За необхідності, накопичені статистичні дані тренування можуть передаватися на зовнішні EOM або мобільні платформи через апаратний інтерфейс UART (або через USB-UART міст) для подальшої математичної обробки чи побудови графіків інтенсивності бігу.

Центральною керуючою ланкою системи є мікроконтролер ATtiny2313 (у мініатюрному корпусі SOIC-20). Він функціонує за чітким алгоритмом: здійснює конфігурування акселерометра, зчитує цифрові значення прискорень, реалізує алгоритм цифрової фільтрації (для відсікання випадкових шумів та рухів рук, що не є кроками), обчислює динамічну швидкість за часовими інтервалами між кроками, формує пакети вихідних даних та керує OLED-індикатором.

Режим роботи системи: автоматичний. Після ввімкнення живлення, самодіагностики та калібрування акселерометра система безперервно виконує вимірювання кінематичних параметрів руху без необхідності додаткового ручного втручання користувача під час бігу чи ходьби.

Технічні характеристики системи та її складових частин:

- Точність вимірювання: відносна похибка швидкості не перевищує $\pm 4.0\%$, абсолютне не перевищує 0,2 м/с; абсолютна похибка визначення дистанції становить не більше $\pm 0,4$ м на кожні 2000м шляху, відносна не перевищує 1%.

					МММТ 480.016.016 – ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

- Діапазон вимірювання швидкості: від 0.1 м/с до 15.7 м/с.
- Максимальне граничне значення кроку (налаштовуване): до 2 м.
- Вимірювальний елемент: цифровий MEMS-акселерометр ADXL345 із вбудованим 13-бітним аналого-цифровим перетворювачем (АЦП) та низьким рівнем енергоспоживання.

Інтерфейс та додаткові функції:

- вбудований графічний OLED-дисплей (0.96", роздільна здатність 128x64 точок) з інтерфейсом I2C для енергоефективного виведення результатів у режимі реального часу;
- інтегрований контролер заряду на базі мікросхеми TP4056 із захистом акумулятора від перезаряду та глибокого розряду;
- інтерфейс USB Type-C для заряджання пристрою;
- мініатюрна тактова кнопка керування (Power/Reset);
- автоматичне програмне калібрування «нуля» датчика прискорень перед початком руху.

Система спроектована на основі сучасних стандартизованих та уніфікованих модулів і SMD-компонентів. До її складу входять мікроконтролер ATtiny2313, акселерометр ADXL345, літій-полімерний акумулятор, плата заряду та OLED-дисплей. Усі компоненти є комерційно доступними та широко використовуваними в інженерній практиці мікроелектроніки. Такий підхід забезпечує високу ремонтпридатність пристрою та можливість швидкої заміни окремих елементів на сумісні аналоги без необхідності кардинальних змін у принциповій електричній схемі чи топології друкованої плати.

1.4. Вимоги до конструкції та надійності системи

Пристрій має бути виконаний у компактному, ергономічному та ударостійкому пластиковому корпусі, що забезпечує зручне кріплення на плечі спортсмена та не створює дискомфорту під час рухової активності.

					МММТ 480.016.016 – ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Максимальні габарити електронного блока вимірювальної системи не повинні перевищувати 54х84х20мм (без урахування елементів кріплення).

Конструкція системи повинна мати мінімально можливу вагу (рекомендовано до 150–200г разом із джерелом живлення) для запобігання виникненню додаткових інерційних навантажень на тіло атлета.

На корпусі мають бути передбачені органи керування (кнопки увімкнення/скидання) та вікна для інтегрованого дисплея.

За надійністю апаратної частини система належить до класу виробів тривалого багаторазового застосування. Середнє напрацювання пристрою до відмови становить не менше 13 000 годин.

Система є нерезервованою, але відновлюваною та ремонтпридатною.

Конструкція корпусу та друкованої плати має забезпечувати вільний доступ до основних елементів (модуля живлення, мікроконтролера ATtiny2313, акселерометра) для проведення діагностики, технічного обслуговування, заміни джерела живлення або компонентного ремонту в умовах сервісної майстерні.

					МММТ 480.016.016 – ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ

Електронний крокомір Omron Walking Style IV, модель HJ-325-EB рис.2.1, синій призначений для контролю фізичної активності протягом дня. Прилад оснащений високоточним 3D-сенсором, який надійно та з високою точністю підраховує загальну кількість пройдених за день метрів та скоєних кроків.



Рис.2.1. Електронний крокомір Omron Walking Style IV

Портативний крокомір Omron HJ-325-EB забезпечує оцінку енергетичних витрат користувача шляхом розрахунку кількості спалених калорій за добу. Особливістю приладу є наявність інтегрованого режиму «Активність», що дозволяє здійснювати локальний моніторинг параметрів руху протягом конкретного тренувального сеансу чи фіксованого проміжку часу, спрощуючи процес оперативного коригування навантажень.

У пристрої реалізовано алгоритм диференційованого обліку так званих «аеробних кроків». Їх реєстрація активується автоматично за умови безперервної ходьби або бігу з темпом понад 60 кроків/хв протягом інтервалу часу, що перевищує 10 хвилин}. Фіксація цього показника в окремому режимі дозволяє оцінювати інтенсивність локомоцій та контролювати дотримання рекомендованої норми помірної фізичної активності (яка становить 150 хвилин на тиждень).

					МММТ 480.016.016 – ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		13

Технічні характеристики:

- Найменування: Крокомір;
- Модель: Omron Walking Style IV (HJ-325-EB);
- Технологія підрахунку кроків: тривимірний датчик (3D-сенсор)

оновленого покоління;

- Діапазон вимірювань: до 99 999 кроків / до 5 999,9 км;
- Похибка підрахунку кроків: $\pm 5\%$;
- Підрахунок загальної кількості кроків;
- Вимірювання пройденої відстані (км): передбачено;
- Підрахунок витрачених калорій;
- Розрахунок спаленого жиру: не передбачено;
- Спеціальні режими роботи: наявні – «Активність» та «Аеробні

кроки»;

- Визначення середньої швидкості бігу: не передбачено;
- Вбудований годинник: наявний;
- Пам'ять приладу: зберігання результатів вимірювань за останні 1–7

днів;

- Джерело живлення: літієва батарейка типу CR2032 напругою 3 В;
- Ресурс батареї: близько 6 місяців за умови щоденного використання

протягом 12 годин.

- Габарити приладу: 42 x 57 x 13 мм;
- Вага приладу: 23 г. (разом із батареєю).[1]

Портативний електронний крокомір KONUS Zipru-9 є малогабаритним індивідуальним вимірювальним приладом, призначеним для автоматизації контролю фізичної активності користувача. Функціональні можливості пристрою забезпечують фіксацію кількості виконаних локомоцій, розрахунок подоланої дистанції та непряме визначення витрат метаболічної енергії (калорій).

Крокомір Zipru-9 KONUS представлений на рис.2.2.

					МММТ 480.016.016 – ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		



Рис.2.2. Крокомір Zipru-9 KONUS

Метрологічний алгоритм підрахунку кроків базується на реєстрації динамічних прискорень тіла. Механічний рух користувача фіксується первинним перетворювачем, який трансформує кінематичну енергію в електричний імпульс. Отриманий сигнал піддається програмній обробці та візуалізується на цифровому індикаторі. Апаратною основою пристрою є 2D-сенсорна технологія, що реєструє координати руху у двовимірному просторі (по вертикальній та горизонтальній осях). З огляду на специфіку двовісного датчика, оптимальним способом експлуатації є наручне кріплення приладу, оскільки розміщення його в кишенях чи сумках призводить до появи значних інструментальних похибок через зміну просторової орієнтації сенсора.

Функції:

- відстеження кроків під час фізичних тренувань та повсякденного пересування;
- вимірювання пройденої відстані в кілометрах і милях;
- розрахунок витрат калорій;
- відображення поточного часу.

Технічні характеристики:

- тип датчика: двовимірний сенсор (2D);
- джерело живлення: батарейка типу AG13;
- компактний корпус; розміри пристрою — 50×60 мм;
- виробник: Konus, Італія. [2]

					МММТ 480.016.016 – ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		15

Крокомір OMRON Walking style One зображено на рис.2.3.

Модифікація вимірювального пристрою від компанії Omron (серія Walking style Pro) оснащена апаратним інтерфейсом USB для сполучення з персональним комп'ютером. Дане конструктивне рішення забезпечує можливість синхронізації приладу з ЕОМ для подальшої консолідації та обробки накопичених даних у спеціалізованому програмному забезпеченні «Управління самопочуттям».

Метрологічний тракт визначення кінематичних параметрів руху базується на технології комплексування даних, що надходять одночасно з двох первинних перетворювачів (датчиків). Завдяки використанню багатосенсорної схеми та програмної компенсації кутів нахилу корпусу, пристрій зберігає високу точність вимірювань незалежно від просторової орієнтації, що дозволяє спортсмену варіювати способи фіксації приладу (на шийному підвісі, у нагрудній кишені або на поясі).



Рис.2.3. Крокомір OMRON Walking style One

Технічні характеристики:

— розміри: $53 \times 53 \times 25,8$ мм;

— вага: ~33 г (з батарейкою);

— джерело живлення: літієва батарейка типу CR2032, напруга 3 В;

— термін служби батареї: близько 1 року при щоденній ходьбі по 10 000 кроків;

					МММТ 480.016.016 – ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		16

- похибка вимірювань: $\pm 5\%$;
- пам'ять: дані за останні 7 днів;
- гарантія: 2 роки.

Діапазони вимірювань:

- кількість кроків: 0–99 999;
- аеробні кроки: 0–99 999;
- тривалість аеробної ходьби: 0–1 440 хвилин
- витрачені калорії: 0–99 999 ккал;
- спалений жир: 0–199,9 г;
- пройдена відстань: 0,00–999,99 км.

Функції:

- підрахунок загальної кількості кроків;
- підрахунок аеробних кроків;
- вимірювання пройденої відстані;
- розрахунок витрачених калорій;
- розрахунок спаленого жиру;
- відстеження тривалості аеробної ходьби;
- зберігання результатів за 7 днів.[3]

Крокомір Tunturi Deluxe представлений на рис.2.4.



Рис.2.4. Крокомір Tunturi Deluxe

Крокомір Tunturi Deluxe це компактний і зручний пристрій для відстеження щоденної фізичної активності. Він відстежує кількість пройдених кроків, витрачений час, пройдену відстань та спалені калорії.

					МММТ 480.016.016 – ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Завдяки зручному затиску на зворотному боці крокомір легко кріпиться до одягу, що робить його практичним супутником як під час тренувань, так і у повсякденному житті. Великий екран із підсвіткою легко читається і захищений кришкою. Простота керування та компактні розміри роблять цей пристрій ідеальним вибором для тих, хто прагне вести активний спосіб життя та контролювати свої результати.

Технічні характеристики:

- Габарити (ДхШхВ): 7 x 3 x 5 см;
- Чутливість налаштовується;
- Довжина кроку налаштовується;
- Відображення: час, відстань, кількість кроків та калорій;
- Колір: жовтий, чорний, хром;
- Матеріал: синтетичний. [4]

На основі проведеного аналізу існуючих засобів індивідуального моніторингу рухової активності (рис. 2.1 – рис. 2.4) було виконано узагальнення їхніх тактико-технічних переваг та недоліків. Це дозволило сформулювати чіткі вимоги до проектованої комп'ютеризованої системи.

Переваги розглянутих аналогів:

– Висока автономність: Використання літієвих елементів живлення таблеточного типу (CR2032, AG13) забезпечує тривалий термін експлуатації (від 6 місяців до 1 року) завдяки застосуванню специфічних монохромних LCD-індикаторів без постійного підсвічування.

– Ергономіка та масогабаритні показники: Усі серійні пристрої мають масу в межах 23–35 г та компактні розміри, що є критично важливим для моніторингу параметрів руху безпосередньо під час бігу.

– Функціональне комплексування (моделі Omron): Реалізація алгоритмів розділення кроків на загальні та аеробні, а також інтеграція з ПК через USB для накопичення статистичних даних.

Загальні недоліки існуючих систем:

					МММТ 480.016.016 – ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

1. Відсутність прямого контролю швидкості руху: Жоден із розглянутих серійних приладів не здатний вимірювати та виводити на дисплей поточну (миттєву) швидкість спортсмена в реальному часі у загальноприйнятих одиницях системи СІ (м/с). Швидкість оцінюється лише опосередковано через темп або витрату калорій зафіксованої сесії.

2. Обмеженість архітектури та алгоритмів фільтрації: Бюджетні моделі (наприклад, KONUS Zipru-9) використовують застарілі 2D-сенсори. Вони мають високу інструментальну похибку, оскільки не здатні компенсувати нахили та обертання корпусу приладу в третьому вимірі, що обмежує варіанти їхнього кріплення.

3. Економічна недоступність та закритість систем: Професійні моделі з 3D-матрицями та USB-інтерфейсами (серія Omron Pro) мають високу комерційну вартість. При цьому їхня архітектура є закритою (проприетарною), що унеможлиблює модифікацію алгоритмів під конкретні специфічні завдання тренувального процесу вітчизняних спортсменів.

4. Незручність кріплення для інтенсивного бігу: Більшість аналогів орієнтовані на фіксацію на поясі, у кишені або на зап'ясті. Під час активного бігу або ходьби з палицями (скандинавська ходьба) це призводить до фіксації «паразитних» коливань кінцівок або одягу, що спотворює кінцеві результати метрологічного контролю.

Аналіз ринку та технічних характеристик існуючих приладів підтверджує, що на сьогодні існує технологічний розрив між простими побутовими крокомірами та дорогими спортивними смарт-системами. Саме це зумовлює актуальність розробки відкритої, доступної та точної комп'ютеризованої системи вимірювання та контролю дистанції й швидкості руху спортсмена.

Інженерні рішення для усунення недоліків аналогів:

– Пряме вимірювання швидкості (м/с): математичний алгоритм обробки інтервалів між піками прискорень у реальному часі (вперше для приладів такого класу).

					МММТ 480.016.016 – ПЗ	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

– Цифрова 3D-фільтрація: триосьовий MEMS-акселерометр ADXL345 (13-бітний АЦП) програмно відсікає шуми та забезпечує точність незалежно від нахилу пристрою.

– Плечове кріплення: стабільна фіксація на плечі мінімізує похибки від випадкових рухів кінцівок під час бігу.

– SMD-мініатюризація: використання мікроконтролеру ATtiny2313 (SOIC-20), ультратонкого OLED-дисплея та заміни батареї «Крона» на Li-Po акумулятор з Type-C дозволили зменшити габарити та вагу.

Таким чином, розробка комп'ютеризованої системи є технічно обґрунтовано, має високий потенціал для імпортозаміщення, забезпечує розширений метрологічний функціонал порівняно з існуючими аналогами та є економічно доцільною для впровадження у вітчизняну спортивну практику і реабілітаційну медицину.

					МММТ 480.016.016 – ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ

3.1. Обґрунтування вибраних технічних рішень

Запропонована комп'ютеризована вимірювальна система виконує вимірювання подоланої відстані та поточної швидкості руху спортсмена на ділянках тренування, які обирає користувач. Вимірювальна система надійно закріплюється на плечі спортсмена за допомогою еластичного ремня. Коли спортсмен починає рух, система в автоматичному режимі розпочинає відлік кроків та обрахунок кінематичних параметрів.

Також передбачено можливість попереднього налаштування константи довжини кроку користувача із її збереженням в енергонезалежній пам'яті мікроконтролера. Інформація про пройдений шлях, швидкість руху та час тренування записується в пам'ять і відображається на графічному індикаторі у разі відповідного запиту користувача.

Для функціонування комп'ютеризованої системи необхідні наступні складові частини:

1. Мікроконтролер – виступає центральним органом керування вимірювальною системою в цілому. Він забезпечує циклічне зчитування цифрових показників з датчика руху, програмну фільтрацію завад, обчислення миттєвої швидкості й відстані, обробку вхідних команд від кнопок керування та формування сигналів для виведення інформації на дисплей.

2. Цифровий 3-осьовий MEMS-акселерометр –використовується як інтелектуальний датчик руху для точного визначення кількості пройдених кроків та фіксації динамічних прискорень тіла спортсмена у тривимірному просторі.

3. Графічний дисплей – призначений для виведення виміряних, обчислених та статистичних значень (кроки, метри, швидкість, рівень заряду) у зручному для користувача текстово-графічному форматі.

					МММТ 480.016.016 – ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

4. Світлодіодна індикація стану заряду – складається з двох надяскравіших SMD-світлодіодів (червоного та зеленого кольору), які підключені до контролера живлення і слугують для оперативної візуалізації стану акумулятора (червоний сигналізує про процес заряджання або критичний розряд, зелений про повне завершення циклу зарядки).

5. Кнопка живлення – призначена для увімкнення/вимкнення вимірювальної системи, ініціалізації початку нової тренувальної сесії та скидання поточних результатів. Кнопка керування – забезпечує циклічне перемикання виведених на дисплей параметрів (кроки, швидкість, дистанція, час) за допомогою коротких натискань, а також ініціалізацію початку нової тренувальної сесії та повне програмне скидання (Reset) поточних результатів при тривалому утриманні.

6. Акумулятор – виступає автономним джерелом живлення системи, що забезпечує тривалу роботу пристрою при мінімальній вазі та габаритах.

7. Інтегральний контролер заряду – використовується для безпечного заряджання Li-Po акумулятора від зовнішніх джерел через інтерфейс USB та захисту елемента живлення від глибокого розряду чи перезаряду.

8. Роз'єм USB Type-C – інтегрований у корпус пристрою для підключення зарядного кабелю та забезпечення комунікації вимірювальної системи із зовнішніми EOM.

3.2. Обґрунтування типу мікроконтролера

На сучасному ринку напівпровідникових компонентів представлено широкий спектр мікроконтролерів (МК) різних архітектур, серед яких найбільш поширеними є сімейства PIC, AVR, ARM та ESP. Для обґрунтування оптимального керуючого елемента комп'ютеризованої системи вимірювання параметрів руху спортсмена виконано порівняльний аналіз цих архітектур за критеріями енергоспоживання, масогабаритних показників, обчислювальної потужності та економічної доцільності.

					МММТ 480.016.016 – ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Мікроконтролери архітектури PIC виробництва компанії Microchip Technology випускаються у 8-, 16- та 32-бітних модифікаціях і поділяються на кілька структурних сімейств (baseline, mid-range, enhanced mid-range та PIC18).

До переваг PIC-контролерів належать помірна вартість базових моделей та наявність вбудованих апаратних лінійно-незалежних лічильників. Проте суттєвим недоліком для етапу розробки та прототипування є висока вартість оригінальних апаратних програматорів (серії PICkit), а також специфічна архітектура пам'яті, що ускладнює оптимізацію коду на мові високого рівня C/C++.

Мікроконтролери архітектури ARM (зокрема сімейство STM32 від STMicroelectronics) є потужними 32-розрядними обчислювальними системами. Вони мають розвинену периферію, апаратну підтримку USB, високі тактові частоти та значний обсяг пам'яті. Незважаючи на високу функціональність, використання 32-бітних ARM-архітектур для даного проєкту є надлишковим (технологічно необґрунтованим). Вони потребують складніших схем розведення багатошарових друкованих плат, мають вищий рівень енергоспоживання та більші габаритні розміри чіпів, що критично для наплічного пристрою.

Системи на кристалі серії ESP (виробництва Espressif Systems) оснащені інтегрованими високочастотними модулями бездротового зв'язку Wi-Fi та Bluetooth. Вони орієнтовані на застосування в концепціях «Інтернету речей» (IoT) та системах «розумного будинку». Основним недоліком використання ESP у портативних автономних пристроях є надзвичайно високе струмоспоживання під час роботи радіотракту, що призвело б до швидкого розряду компактного літій-полімерного акумулятора та збільшення габаритів системи [5].

Мікроконтролери архітектури AVR (історично розроблені компанією Atmel, нині у складі Microchip) побудовані за прогресивною RISC-архітектурою. Вони поділяються на три основні групи:

					МММТ 480.016.016 – ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

– tinyAVR (ATtiny) – оптимізовані за габаритами та енергоспоживанням низькопотужні МК;

– megaAVR (ATmega) – середні та високопродуктивні МК із розширеною периферією;

– XMEGA AVR – високотехнологічні МК із контролерами прямого доступу до пам'яті (DMA).

До загальних переваг AVR належать висока швидкість виконання команд (більшість інструкцій виконуються за один тактовий цикл), наявність широкого спектра безкоштовного програмного забезпечення (Atmel Studio/Microchip Studio, MPLAB, Arduino IDE), доступність недорогих засобів програмування та відладки, а також наявність енергоефективних режимів глибокого сну (Sleep Mode).

Враховуючи специфіку розроблюваного пристрою як портативного, легкого та автономного спортивного трекера, що кріпиться на плече спортсмена, ключовими критеріями вибору стали мінімальні лінійні розміри, низьке енергоспоживання та наявність апаратного інтерфейсу для зв'язку з цифровим датчиком прискорень.

З огляду на це, оптимальним вибором для комп'ютеризованої системи є 8-бітний мікроконтролер ATtiny2313 у SMD-корпусі SOIC-20. Даний вибір обґрунтований такими його технічними перевагами:

1. Габаритні показники: Корпус SOIC-20 для поверхневого монтажу має мінімальну висоту та лінійні розміри (12.8x7.5мм), що дозволяє спроектувати друковану плату мінімальної площі.

2. Апаратні інтерфейси: Наявність вбудованого універсального послідовного інтерфейсу USI (Universal Serial Interface), який програмно конфігурується під протокол I2C (TWI). Це забезпечує пряме високошвидкісне підключення обраного нами цифрового 3-осьового акселерометра ADXL345 та OLED-дисплея по двопровідній лінії.

3. Енергоефективність: МК стабільно функціонує в діапазоні напруг від 2.7В до 5.5В, що дозволяє жити його безпосередньо від обраного далі

					МММТ 480.016.016 – ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

літій-полімерного (Li-Po) акумулятора 3.7В без використання додаткових лінійних стабілізаторів напруги, які розсіюють тепло.

У режимі очікування (Power-down) споживання струму знижується до мікроамперних значень.

Достатній обсяг пам'яті: 2Кбайт Flash-пам'яті програм та 128 байт енергонезалежної пам'яті EEPROM є повністю достатніми для розміщення математичного алгоритму фільтрації сигналів руху, підрахунку кроків, розрахунку швидкості та збереження константи довжини кроку користувача. [6]

Таким чином, мікроконтролер ATtiny2313 забезпечує ідеальний баланс між мініатюрністю, низькою вартістю та апаратними можливостями, необхідними для повної реалізації функціоналу проектованої системи.

Виходячи з вищевикладеного, оберемо за основу розроблюваної системи управління мікроконтролер типу AVR серії Atmega.

3.3.Обґрунтування типу датчика кроку

Первинний перетворювач (датчик) є ключовим елементом вимірювального тракту комп'ютеризованої системи, оскільки від точності та стабільності його вихідного сигналу залежить коректність роботи всього обчислювального алгоритму мікроконтролера. Для фіксації локомоцій (кроків) та визначення кінематичних параметрів бігу спортсмена було розглянуто кілька фізичних принципів побудови сенсорів.

Механічні та електромеханічні датчики маятникового типу. Принцип їхньої дії базується на коливанні підвішеного тягарця, який під дією інерції під час кроку замикає механічні контакти або перериває оптичний промінь. Головними недоліками таких датчиків є висока інструментальна похибка, низька надійність через знос механічних частин («деградація контакти»), чутливість до нахилу корпусу та здатність фіксувати лише грубі поодинокі струси. Вони повністю непридатні для визначення швидкості руху, оскільки не здатні вимірювати амплітуду прискорення.

					МММТ 480.016.016 – ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

П'єзоелектричні датчики прискорення. Вони генерують аналоговий електричний заряд при деформації п'єзоелемента під дією сили інерції. Такі датчики мають високу чутливість, проте потребують складних зовнішніх аналогових підсилювачів, схильні до температурного дрейфу нуля та вимагають постійного використання багатоканального аналого-цифрового перетворювача (АЦП), що збільшує масогабаритні показники плати та завантажує обчислювальні ресурси мікроконтролера.

Двовісні (2D) електронні акселерометри. Вони фіксують прискорення у двох взаємно перпендикулярних площинах (осі X та Y). Як було показано в огляді аналогів (зокрема, приладу KONUS Zipru-9), такі датчики працюють коректно лише за умови суворої просторової орієнтації. Якщо пристрій під час бігу зміщується або нахиляється на плечі спортсмена, вектор прискорення виходить із робочої площини, що призводить до значного пропуску кроків та хибних розрахунків швидкості.

Для досягнення максимальної точності, інваріантності до положення пристрою на тілі атлета та забезпечення мінімальних габаритів системи, як первинний перетворювач було обрано триосьовий цифровий MEMS-акселерометр ADXL345 від компанії Analog Devices.

Даний вибір є найбільш оптимальним з огляду на такі техніко-економічні та метрологічні переваги чіпа:

1. Триосьова технологія вимірювання (3D-сенсор): Датчик одночасно вимірює динамічні прискорення за трьома просторовими осями (X, Y, Z). Це дозволяє реалізувати в коді мікроконтролера ATtiny2313 алгоритм обчислення повного вектора прискорення (модуля результуючого вектора) за формулою:

$$A = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2} \quad (3.1)$$

Завдяки цьому точність підрахунку кроків та визначення швидкості залишається стабільною незалежно від того, під яким кутом пристрій закріплено на плечі спортсмена.

					МММТ 480.016.016 – ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

2. Вбудований 13-бітний АЦП та цифровий вихід: Сенсор самостійно оцифровує виміряні аналогові значення прискорень та видає їх у вигляді готового цифрового коду. Це повністю виключає необхідність проектування складних аналогових фільтрів на друкованій платі та захищає сигнал від електромагнітних завад.

3. Апаратна підтримка інтерфейсу I2C: Датчик підтримує послідовний протокол передачі даних, що дозволяє підключити його до модуля USI мікроконтролера ATtiny2313 всього по двох сигнальних лініях (SDA та SCL). Це суттєво спрощує топологію друкованої плати та мінімізує кількість перехідних отворів.

4. Ультранизьке енергоспоживання: У робочому режимі вимірювання струм споживання датчика становить усього 23–140мкА (залежно від частоти опитування), що ідеально сумісно з живленням від малогабаритного Li-Po акумулятора. Крім того, ADXL345 має вбудовану пам'ять FIFO на 32 кадри, що дозволяє мікроконтролеру рідше звертатися до датчика та довше перебувати в енергозберігаючому режимі «сну».

5. Масогабаритні показники: Датчик випускається в ультрамалому пластиковому корпусі LGA-14 розміром усього 3 x5x1мм, а вага чіпа становить менше 0.1г, що є вирішальним фактором для створення мініатюрного наплічного спортивного трекера.

6. Інтелектуальні функції фіксації подій: Чип має апаратні функції виявлення одиночного/подвійного удару (Tap/Double Tap) та стану активності/бездіяльності (Activity/Inactivity), що спрощує структуру керуючої програми мікроконтролера при розпізнаванні початку руху спортсмена [7].

Таким чином, цифровий MEMS-акселерометр ADXL345 є сучасною високотехнологічною елементною базою, яка дозволяє створити точну, надійну та мініатюрну вимірювальну систему з розширеними функціями контролю швидкості.

3.4. Обґрунтування дисплея

Для візуалізації виміряних та обчислених параметрів руху спортсмена у складі комп'ютеризованої системи необхідно використовувати спеціалізований цифровий пристрій відображення інформації (індикатор). Конструкція та принцип дії засобів індикації визначають обсяг даних, що виводяться, зручність їхнього сприйняття під час тренування, а також загальне енергоспоживання пристрою.

Знакосинтезуючі світлодіодні (семисегментні) індикатори. Принцип їхньої дії базується на увімкненні певної комбінації світлодіодних сегментів (наприклад, у моделях типу BS-C506RD із загальним катодом або BS-A506RD із загальним анодом) для формування цифрових символів. Складніші матричні світлодіодні індикатори (на зразок BM-20288MD роздільною здатністю 8x8 пікселів) дозволяють відображати обмежений набір літер і простих графічних знаків.

Основними недоліками світлодіодних сегментних та матричних індикаторів для проектованої портативної системи є:

- Надлишкове споживання струму: кожен активний сегмент потребує значного струму (до 10–15мА), що призведе до швидкого розряду компактного літій-полімерного акумулятора;
- Складність схеми керування: підключення багаторозрядних світлодіодних індикаторів вимагає введення додаткових мікросхем (транзисторних ключів, дешифраторів, перетворювачів кодів) та використання великої кількості виводів (пінів) мікроконтролера, що суперечить концепції мініатюризації;
- Низька інформативність: неможливо одночасно вивести декілька текстових та графічних параметрів (наприклад, швидкість, кроки та рівень заряду батареї одночасно).

Рідкокристалічні дисплеї (LCD) з підсвіткою. Текст-орієнтовані модулі (наприклад, типу LCD 1602) забезпечують відображення символів, проте мають значну товщину корпусу, велику площу друкованої плати

					МММТ 480.016.016 – ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

підключення та потребують постійного увімкнення лампи підсвічування, що суттєво знижує автономність приладу.

Для забезпечення максимальної інформативності, мінімізації масогабаритних показників наплічного трекера та зниження енергоспоживання, у якості основного модуля індикації було обрано монохромний графічний OLED-дисплей з діагоналлю 0.96 дюйма та роздільною здатністю 128x64 точок.

Даний вибір обґрунтований такими конструктивними та метрологічними перевагами:

1. Технологія органічних світлодіодів (OLED): Екрани даного типу не потребують окремого модуля заднього підсвічування, оскільки кожен піксель (органічний діод) є самостійним джерелом світла. Це забезпечує надвисоку контрастність, широкий кут огляду (до 160°) та чудову зчитуваність параметрів швидкості та дистанції спортсменом навіть в умовах прямого сонячного світла під час тренувань на вулиці.

2. Ультранизьке енергоспоживання: Споживання струму дисплеєм прямо пропорційне кількості увімкнених пікселів. При відображенні стандартних текстових метрик споживання становить усього 10–20мА, що значно менше, ніж у класичних LCD та LED-аналогів, і дозволяє жити модуль прямо від виводів мікроконтролера.

3. Мінімум ліній зв'язку (інтерфейс I2C): Модуль оснащений вбудованим драйвером керування (SSD1306) та підтримує послідовну шину I2C (TWI). Завдяки цьому для підключення дисплея до мікроконтролера ATtiny2313 потрібно всього дві сигнальні лінії (SDA та SCL) та дві лінії живлення. Це повністю виключає необхідність використання зовнішніх дешифраторів, регістрів або перетворювачів кодів, суттєво спрощуючи принципову електричну схему.

4. Масогабаритні показники: Товщина дисплейного модуля разом із платою керування становить менше 3.5мм, а вага не перевищує 4–5 г, що ідеально відповідає вимогам ергономіки та мініатюризації наплічного пристрою.

					МММТ 480.016.016 – ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

5. Висока інформативність: Роздільна здатність 128x64 пікселів дозволяє програмно розділити екран на функціональні зони і одночасно виводити текстові значення (число кроків, поточну швидкість у м/с, дистанцію) та графічні елементи (іконку стану заряду акумулятора, таймер тренування).

Таким чином, використання графічного OLED-дисплея з інтерфейсом I2C дозволяє реалізувати сучасний, інформативний та енергоефективний інтерфейс користувача без ускладнення конструкції та збільшення габаритів вимірювальної системи.[8,9]

3.5.Обґрунтування елементів комутації

Для забезпечення взаємодії користувача з комп'ютеризованою вимірювальною системою, зміни режимів відображення інформації на дисплеї, а також для увімкнення та вимкнення живлення пристрою необхідно застосувати комутаційні елементи (кнопки та вимикачі).

Керуючі комутаційні апарати – це низьковольтні елементи схем автоматики, рухомі контакти яких змінюють свій стан (замикаються або розмикаються) внаслідок механічного впливу на їхній штовхач [10]. У сучасній електронній апаратурі комутаційні елементи поділяються на кілька основних груп залежно від їхнього конструктивного виконання та принципу роботи:

- Клавішні вимикачі: зазвичай застосовуються в побутових електромережах або великогабаритній апаратурі. Вони забезпечують стабільну фіксацію положення («увімкнено/вимкнено»), але мають значні лінійні розміри та масу, що робить їх непридатними для портативної техніки.

- Тумблери (перекидні вимикачі): використовуються для комутації силових ланцюгів або кіл керування у промисловій та спеціальній апаратурі. Мають високу надійність, проте їхній металевий чи пластиковий важіль виступає далеко за межі корпусу, що призведе до випадкових зачіпань під час бігу спортсмена.

					МММТ 480.016.016 – ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

– Сенсорні та акустичні вимикачі: сучасні елементи, що реагують на дотик або звукові сигнали. Потребують постійного електричного живлення допоміжних схем сполучення та мають високу ймовірність хибних спрацьовувань від вологи (поту спортсмена) або вібрацій під час інтенсивних тренувань.

– Мікроперемикачі тактового типу (мікрокнопки): замикають електричний ланцюг лише під час безпосереднього натискання на штовхач (без механічної фіксації у затиснутому стані). Вони відрізняються ультрамалими габаритами, мінімальною вагою та монтуються безпосередньо на друковану плату (SMD-монтаж).

Оскільки розроблюваний пристрій повинен бути максимально компактним, легким і захищеним від випадкових механічних пошкоджень під час руху, використання громіздких кнопкових станцій є неприпустимим. Для повної реалізації функціоналу системи обґрунтовано впровадження двох комутаційних елементів:

Дві багатофункціональні тактові кнопки (Tactile Switch): кожна з яких підключається до одного з портів введення-виведення мікроконтролера ATtiny2313.

Зменшення кількості керуючих кнопок до однієї дозволило суттєво заощадити обмежену кількість виводів мікроконтролера ATtiny2313 (корпус SOIC-20) та спростити топологію плати. При цьому весь необхідний функціонал реалізується програмно в коді МК через обробку тривалості натискання:

– Коротке натискання (до 0.5 с): циклічно перемикає режими відображення інформації на графічному OLED-дисплеї (кількість кроків, поточна швидкість, пройдена відстань, час сесії).

– Тривале утримання (понад 2 с): ініціює програмне скидання (Reset) поточних результатів вимірювань, обнуляє лічильники та готує систему до нового тренувального циклу.

					МММТ 480.016.016 – ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

3.6. Обґрунтування світлодіодної сигналізації

Для забезпечення зручності експлуатації портативного пристрою, окрім основного текстово-графічного OLED-дисплея, виникає необхідність впровадження допоміжної світлової сигналізації. Основна функція цієї підсистеми оперативне та енергоефективне інформування користувача про поточний енергетичний стан пристрою (процес заряджання акумулятора, завершення циклу зарядки або критичний рівень розряду батареї) без необхідності постійної активації основного екрана.

У практиці проєктування мікропроцесорних систем для візуальної сигналізації станів використовуються такі основні типи компонентів:

Рідкокристалічні або OLED-піктограми: дозволяють детально виводити графічну інформацію про рівень заряду. Проте їх постійне використання потребує значних обчислювальних ресурсів мікроконтролера та призводить до додаткових витрат енергії акумулятора, що є критичним під час безпосереднього виконання спортивних вправ.

Лампи розжарювання (мініатюрні): мають низьку надійність, високе струмоспоживання, значні габарити та високе тепловиділення, через що повністю виключені з сучасної схемотехніки портативних приладів.

Напівпровідникові світлодіоди (LED): є найбільш ефективним засобом індикації для мобільних систем. Вони відрізняються ультранизьким споживанням струму (2–15 мА), миттєвим часом відгуку, високою яскравістю, довговічністю (до 100 000 годин безперервної роботи) та стійкістю до механічних вібрацій та ударів, що є вирішальним фактором для спортивного трекера.

З огляду на вимоги мініатюризації (SMD-монтаж) та архітектуру системи живлення, у проєкті обґрунтовано використання двох напівпровідникових SMD-світлодіодів (червоного та зеленого кольору світіння) типорозміру 0805 (2.0x1.25 мм). Такий вибір дозволяє інтегрувати елементи безпосередньо на друковану плату без збільшення товщини корпусу пристрою.

					МММТ 480.016.016 – ПЗ	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Світлодіоди підключаються до відповідних виводів (Status Pins) інтегрального контролера заряду TP4056 та функціонують за такою логікою сигналізації:

1. Червоний світлодіод (функція «Зарядка / Попередження»): * Безперервно світиться, коли пристрій підключено через роз'єм USB Type-C до зовнішнього джерела живлення, сигналізуючи про активний процес відновлення енергії Li-Po акумулятора. При автономній роботі (через порт МК ATtiny2313) короткі імпульси червоного кольору сигналізують про падіння напруги на акумуляторі нижче критичної позначки (3.3В), вказуючи на необхідність підзарядки.

2. Зелений світлодіод (функція «Готовий/Норма»): Вмикається автоматично контролером TP4056 у момент, коли напруга на літій-полімерному акумуляторі досягає номінального максимуму (4.2В), що свідчить про повне завершення циклу заряджання та готовність пристрою до автономної експлуатації.

3. Для обмеження робочого струму світлодіодів на рівні 5–10мА (що забезпечує достатню яскравість у сонячну погоду на стадіоні та мінімізує навантаження на батарею) послідовно з кожним світлодіодом у схему вмикаються струмообмежувальні SMD-резистори номіналом від 330Ом до 1 кОм (залежно від конкретної модифікації напівпровідникових кристалів).

Таким чином, обрана двоколірна світлодіодна сигналізація забезпечує високу інформативність, інтуїтивно зрозумілий інтерфейс користувача, має мінімальну вартість та повністю відповідає критеріям енергоефективності та компактності спортивної вимірювальної системи.

3.7. Обґрунтування живлення системи

Блок живлення – це електричний пристрій, призначений для формування напруги живлення із заданими параметрами. У контексті проектування портативної мікропроцесорної техніки блок живлення розглядається як вторинне джерело електроживлення.

					МММТ 480.016.016 – ПЗ	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Вторинне джерело електроживлення здійснює перетворення, стабілізацію та розподіл параметрів електроенергії первинного джерела (наприклад, промислової мережі змінного струму або хімічного гальванічного елемента) в електроенергію з фіксованими параметрами (напруга, струм), які є необхідними для стабільної та безаварійної роботи всіх допоміжних вузлів та інтегральних мікросхем.

Основне призначення блока живлення у розроблюваному пристрої – це безперервне забезпечення електронних компонентів системи стабілізованою напругою, яка відповідає їхнім паспортним робочим характеристикам, а також підтримання максимальної автономності приладу при мінімальних масогабаритних показниках. [11]

Для розроблюваної комп'ютеризованої вимірювальної системи було проведено аналіз номіналів напруги живлення всіх обраних елементів:

- Мікроконтролер ATtiny2313 (паспортний діапазон живлення: від 2.7В до 5.5В;
- Цифровий MEMS-акселерометр ADXL345 (паспортний діапазон: від 2.0В до 3.6В, з допустимим інтерфейсним максимумом до 3.9В;
- Графічний OLED-дисплей 0.96" (вбудований параметричний стабілізатор модуля підтримує роботу від 3.0В до 5.0В.

Аналіз показує, що всі компоненти мають спільну робочу зону в діапазоні 3.0–3.6В. З огляду на це, використання важких батарей типу «Крона» 9В та лінійних інтегральних стабілізаторів (типу LM7805), які розсіюють понад 60% енергії у вигляді тепла, є технологічно неефективним та неприпустимим для наплічного пристрою.

Для реалізації підсистеми живлення було обрано сучасне інтегроване рішення, що складається з таких компонентів:

1. Автономне джерело (Акумулятор): Літій-полімерний (Li-Po) акумулятор номінальною напругою 3.7В та ємністю 300мАг.

Робочий діапазон напруги акумулятора під час розряду становить від 4.2В (повний заряд) до 3.0В (повний розряд).

					МММТ 480.016.016 – ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оскільки цей діапазон практично повністю збігається з допустимими робочими напругами мікроконтролера та периферії, система не потребує додаткових крокових стабілізаторів напруги. Це дозволяє підключити живлення безпосередньо, мінімізуючи втрати енергії (ККД близький до 100%) та усуваючи теплове виділення всередині корпусу.

2. Вторинний контролер заряду: Інтегральна мікросхема TP4056. Вона є повноцінним лінійним зарядним пристроєм для одноелементних літій-іонних та літій-полімерних батарей із функцією терморегулювання та контролю струму. Контролер автоматично керує двома світлодіодами індикації та захищає акумулятор від аварійних режимів: перезаряду (блокує подачу струму при 4.2 В та глибокого розряду (відключає навантаження при падінні напруги на батареї нижче 2.4В-3.0В, що значно подовжує термін служби акумулятора.

3. Інтерфейс підключення: Сучасний низькопрофільний роз'єм USB Type-C. Він інтегрується в корпус пристрою і слугує для підключення зовнішнього джерела живлення (стандартного адаптера смартфона, PowerBank або USB-порту ПК з напругою 5В, що забезпечує швидке, безпечне та зручне відновлення енергії трекера в будь-яких умовах.

Завдяки впровадженню Li-Po акумулятора та контролера TP4056, підсистема живлення вийшла ультралегкою (вага акумулятора менше 8г), енергоефективною, повністю безпечною та захищеною від коротких замикань і перевантажень.

3.8. Розробка структурної схемт

З вище обґрунтованих елементів побудуємо структурну схему вимірювальної системи, що представлена на рис.3.1.

					МММТ 480.016.016 – ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		



Рис.3.1. Структурна схема вимірювальної системи

Складові вимірювальної системи наступні:

- Мікроконтролер;
- Датчик кроку;
- Кнопка 1 та Кнопка 2;
- Роз'єм USB Type-C;
- Контролер заряду;
- Акумулятор;
- Дисплей;
- Світлодіод червоний;
- Світлодіод зелений.

4. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ

4.1. Вибір мікроконтролера

З обґрунтування мікроконтролера, було обрано мікроконтролер ATtiny2313. На рисунку 4.1 представлений зовнішній вигляд ATtiny2313, на рисунку 4.1 схема призначення виводів та на рис.4.3 представлена блок-схема ATtiny2313.

ATtiny2313 – це малопотужний 8-бітний КМОП (CMOS) мікроконтролер, побудований на базі прогресивної RISC-архітектури AVR. Завдяки тому, що більшість команд виконуються за один тактовий цикл, цей мікроконтролер досягає продуктивності близько 1MIPS на кожен мегагерц тактової частоти 1мільйон інструкцій на секунду. Це дозволяє розробнику оптимізувати рівень енергоспоживання залежно від необхідної швидкості обробки даних у реальному часі.

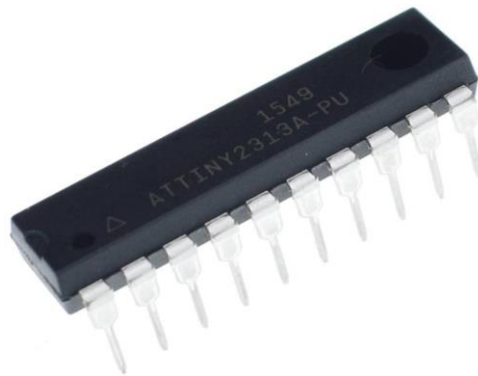


Рис.4.1. Зовнішній вигляд ATtiny2313

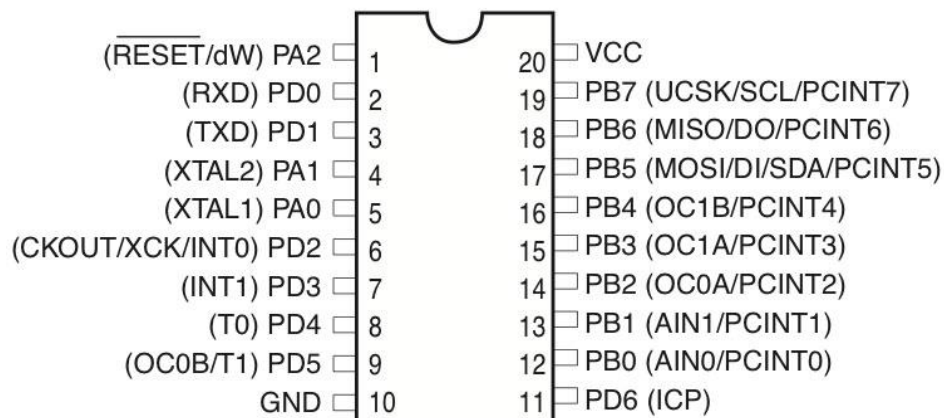


Рис. 4.2. Схема виводів ATtiny2313

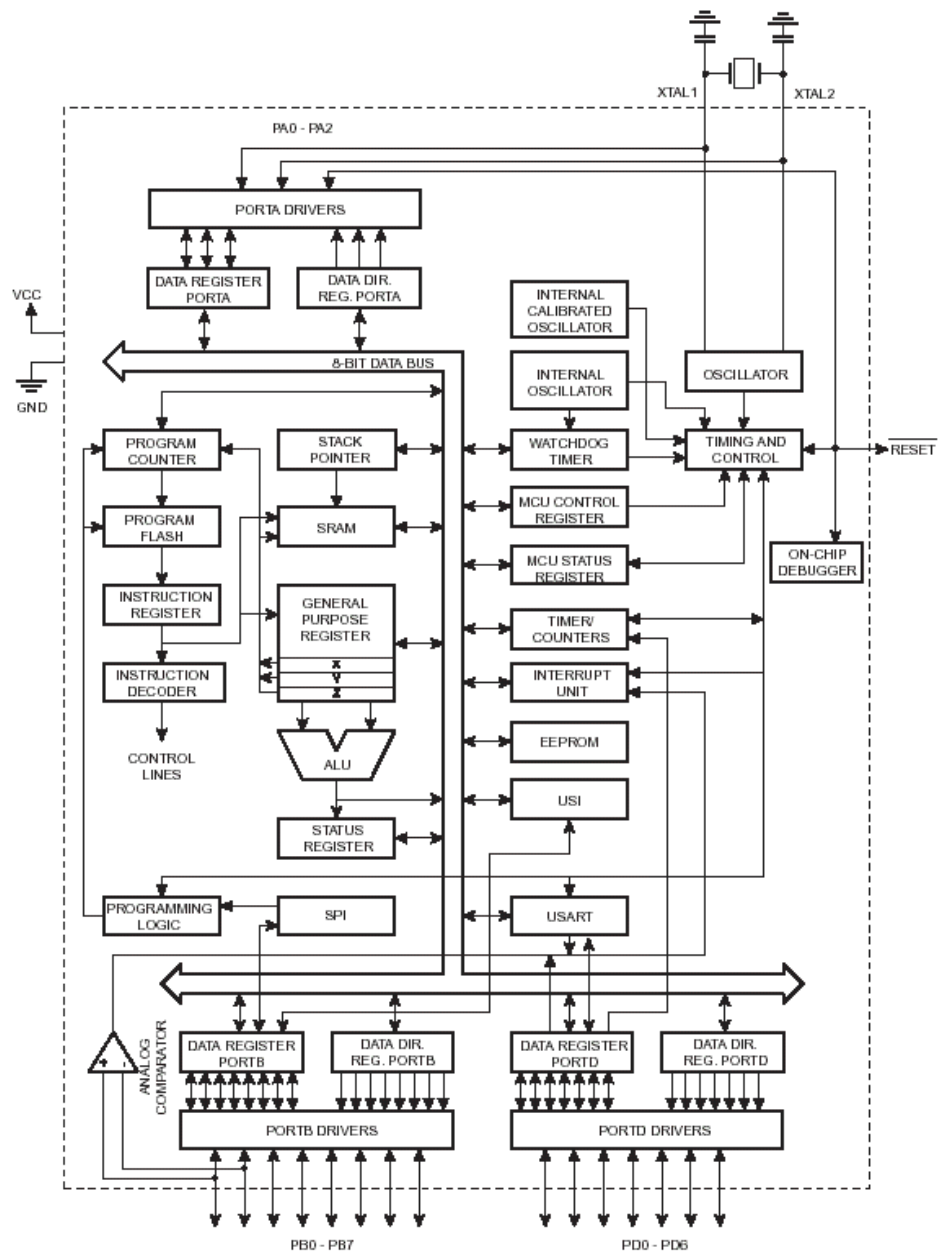


Рис.4.3. Блок-схема ATtiny2313

Основні характеристики ATtiny2313:

- Корпус (розмір): 20-DIP (0.300", 7.62mm);
- Робоча температура; -40°C ~ 85°C;
- Тип осцилятора: Internal;
- Напруга джерела: (Vcc/Vdd) 2.7 В ~ 5.5 В;
- Розмір пам'яті; 128 x 8;
- EEPROM Size; 128 x 8;
- Тип програмованої пам'яті: FLASH;

Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата

- Розмір програмованої пам'яті: 2KB (1K x 16);
- Число вводів/виводів: 18;
- Периферія: Brown-out Detect/Reset, POR, PWM, WDT;
- Підключення: SPI, UART/USART;
- Швидкість: 20MHz;
- Розмір ядра: 8-bit;
- Процесор: AVR;
- Серія: AVR® ATtiny.[12]

AVR ядро об'єднує багату систему команд та 32 робочих регістру загального призначення. Всі 32 регістри безпосередньо пов'язані з арифметико-логічним пристроєм (АЛП), що дозволяє отримати доступ до двох незалежних регістрів при виконанні однієї команди. В результаті ця архітектура дозволяє забезпечити у десятки разів більшу продуктивність, ніж стандартна CISC архітектура.

Мікроконтролер ATtiny2313 має наступні характеристики: 2 Кбайт всередині системно програмованої Flash-пам'яті програм, 128 байт енергонезалежної пам'яті даних EEPROM, 128 байт статичної оперативної пам'яті SRAM, 18 ліній введення-виведення загального призначення та 32 робочих регістри загального призначення. Також кристал містить однопровідний інтерфейс для вбудованого налагодження, таймери/лічильники зі схемами порівняння, внутрішні та зовнішні джерела переривань, послідовний програмований USART, універсальний послідовний інтерфейс (USI) з детектором стартової умови, програмований сторожовий таймер із вбудованим автономним генератором та три програмно ініціалізовані режими зниженого споживання енергії.

У режимі очікування Idle зупиняється лише обчислювальне ядро, тоді як оперативна пам'ять, таймери/лічильники та система переривань продовжують функціонувати. У режимі глибокого сну Power-down усі регістри зберігають свої поточні значення, але головний тактовий генератор зупиняється, блокуючи всі функції пристрою до моменту фіксації наступного

зовнішнього переривання або апаратного скидання системи. У черговому режимі Standby тактовий генератор залишається активним, у той час як решта модулів приладу не діє, що дозволяє забезпечити ультрашвидкий запуск мікропроцесора із збереженням низького середнього споживання енергії в режимі бездіяльності.

Вбудована ISP Flash дозволяє перепрограмувати пам'ять програм безпосередньо в системі через послідовний інтерфейс SPI або за допомогою звичайного програматора енергонезалежної пам'яті. Об'єднавши в одному кристалі високоефективне 8-бітне RISC ядро з пам'яттю, що самопрограмується, мікроконтролер ATtiny2313 став потужною та гнучкою платформою для розробника мікропроцесорних систем. На сьогоднішній день ATtiny2313 повністю підтримується різноманітними програмними засобами та інтегрованими середовищами розробки, включаючи оптимізовані компілятори мови C, макроасемблери, програмні налагоджувачі, симулятори, внутрішньосхемні емулятори та готові ознайомлювальні набори плат.[12]

4.2.Вибір датчика кроку

Для реалізації функції первинного перетворювача кінематичних параметрів руху в комп'ютеризованій системі обрано інтегральний триосьовий цифровий акселерометр ADXL345 (рис.4.4.) виробництва компанії Analog Devices. Даний компонент є надмініатюрним тонким пристроєм із низьким рівнем енергоспоживання, який функціонує на основі мікроелектромеханічної технології (MEMS). Датчик здійснює вимірювання як динамічного прискорення, що виникає внаслідок руху або поштовхів тіла спортсмена, так і статичного прискорення сили тяжіння, що дозволяє використовувати його як датчик нахилу (інклінометр).

					МММТ 480.016.016 – ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

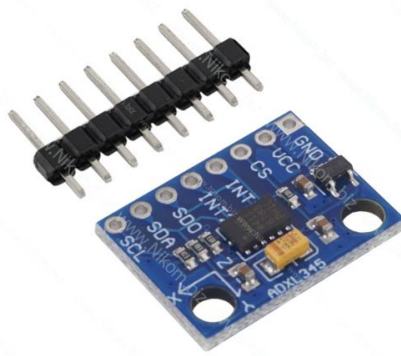


Рис. 4.4. Зовнішній вигляд акселерометру ADXL345

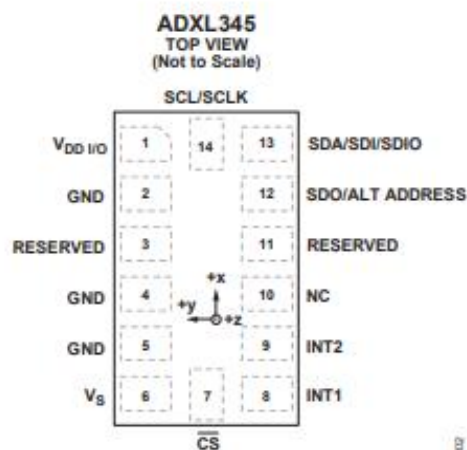


Рис. 4.5. Розташування виводів акселерометру ADXL345

Технічні характеристики:

- Напруга живлення: 3-5 В;
- Споживаний струм 400 мкА;
- Вихід I2C;
- Діапазон вимірів +/- 16g;
- Розміри 20x16 мм.[13]

4.3.Вибір дисплея

Для забезпечення візуалізації вимірюваних та обчислених параметрів руху спортсмена, таких як загальна кількість пройдених кроків, поточна швидкість руху на обраній ділянці, подолана дистанція та тривалість тренувальної сесії,

у комп'ютеризованій системі використано графічний модуль OLED-дисплея з діагоналлю 0.96 дюйма (рис.4.6).



Рис.4.6. OLED-дисплей 096

Технологія OLED (органічні світлодіоди) є найбільш оптимальною для портативних наплічних пристроїв через відсутність окремого модуля заднього підсвічування, оскільки кожен піксель матриці випромінює світло самостійно. Це забезпечує ультранизьке енергоспоживання екрана, яке прямо залежить від кількості увімкнених пікселів, високу контрастність зображення та відмінну читабельність інформації навіть під прямими сонячними променями під час тренувань на відкритому просторі.

Графічна матриця дисплея має роздільну здатність 128x64 точок і керується вбудованим інтегральним драйвером SSD1306. Обмін даними з мікроконтролером ATtiny2313 реалізовано через послідовний інтерфейс I2C (лінії SDA та SCL), що дозволяє підключити індикатор всього по двох провідниках, суттєво заощаджуючи обмежену кількість виводів процесора.

Конструктивно модуль дисплея має мінімальну товщину та масу, стабільно функціонує в діапазоні напруг від 3.0 В до 5.0 В від джерела автономного живлення, а його лінійні розміри повністю задовольняє жорстким вимогам до масогабаритних показників проектного спортивного трекера.

Технічні характеристики:

- Діагональ: 0,96;
- Роздільна здатність дисплея: 128x64;

					МММТ 480.016.016 – ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Кут огляду: 160 °;
- Колір світіння: блакитний/жовтий;
- Ультранизькое споживання: при зображенні на весь екран, приблизно, 0,04 Вт;
- Інтерфейс: I2C;
- Робоча температура: -30...70°C;
- Сумісний із середовищем Arduino, MSP430, STM32;
- Розміри: 27x27x4, 1 мм. [14]

4.4. Вибір елементів комутації

Для увімкнення та вимкнення живлення комп'ютеризованої системи, а також для оперативного керування її робочими режимами та налаштуваннями використовуються малогабаритні комутаційні елементи. Для увімкнення та вимкнення живлення системи потрібна міцніша кнопка, тобто враховуємо силу та кількість натиснень на неї. Тому обрано кнопку TS7701-5.0-250 червоний колір рис.4.7.



Рис.4.7. Тактова кнопка TS7701-5.0-250

Технічні характеристики:

- Номінальна напруга: 12 В;
- Номінальний струм: 50 мА;
- Сила перемикавання: 250 gf (±30);

					МММТ 480.016.016 – ПЗ	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Розміри корпусу: 7,3 x 7,3 мм;
- Висота кнопки: 5 мм;
- Робоча температура: -20...70°C;
- Опір контактів: 50MΩ max;
- Опір ізоляції: 100MΩ min. 250 В;
- Монтаж: DIP;
- Ресурс: 100 000 циклів;
- Ступінь вологозахисту IP67. [15]

Для кнопки керування викростаємо синю кнопку TS7704-5.0-180-B
рис.4.8.



Рис.4.8. Тактова кнопка TS7704-5.0-180-B

Технічні характеристики:

- Номінальна напруга: 12 В;
- Номінальний струм: 50 мА;
- Сила перемикання: 180 gf (±30);
- Розміри корпусу: 7,2 x 7,2 мм;
- Висота кнопки: 5 мм;
- Робоча температура: -20...70°C;
- Опір контактів: 50MΩ max;
- Опір ізоляції: 100MΩ min. 250 В;
- Монтаж: DIP;
- Ресурс: 100 000 циклів;
- Ступінь вологозахисту IP67. [16]

					МММТ 480.016.016 – ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

4.5.Вибір елемента світлової сигналізації

Для реалізації допоміжної світлової сигналізації в комп'ютеризованій системі необхідно обрати надійні, візуально помітні та енергоефективні компоненти. Основним завданням підсистеми сигналізації є оперативне інформування спортсмена про поточний стан автономного джерела живлення, зокрема відображення активного процесу заряджання літій-полімерного акумулятора та сигналізація про повне завершення цього процесу.

Оптимальним інженерним рішенням для проектованого наплічного трекера є вибір напівпровідникових SMD-світлодіодів надяскравісного типу в компактному корпусі типорозміру 0603 (рис.4.9). Для забезпечення чіткого розділення функціональних станів системи обрано два поодинокі світлодіоди з різним спектром випромінювання:

1. Червоний світлодіод (SMD 0603): підключається до відповідного виводу індикації контролера заряду TP4056 і слугує для візуалізації процесу заряджання батареї під час підключення зовнішнього кабелю USB Type-C.

2. Зелений світлодіод (SMD 0603): підключається до другого виводу стану контролера TP4056 і сигналізує користувачеві про досягнення акумулятором максимального рівня напруги та повне закінчення циклу безпечного заряджання.



Рис.4.9. Світлодіоди SMD 0603: а)зелений, б) червоний

Технічні характеристики:

- Виробник VANFUN;
- Корпус 0603;

					МММТ 480.016.016 – ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Схема з'єднання Одиночний;
- Спосіб монтажу Поверхневий (SMD);
- Колір світіння Зелений/ червоний;
- Колір лінзи (Прозорий);
- Довжина хвилі 510-525 nm (зелений чистий, червоний чистий);
- Довжина хвилі_1 530 - 535 nm;
- Кут світіння 120 °;
- Яскравість світіння 200 - 250mCd;
- Типорозмір світлодіода SMD 0603;
- Робоча напруга 2.8 - 2.9В;
- Робочий струм 20мА;
- Потужність 0.06 Вт.[17]

4.6.Вибір блока живлення

Для підсистеми живлення комп'ютеризованої системи обрано сучасне інтегроване енергоефективне рішення, що складається з таких компонентів:

Джерело автономного живлення: Літій-полімерний (Li-Po) акумулятор ємністю 300 мАг із номінальною напругою 3.7 В. Він відрізняється ультрамалою вагою (менше 8 г) та компактними розмірами, що є критично важливим для наплічного пристрою. Робочий діапазон напруги акумулятора (3.0–4.2 В) повністю збігається з допустимими паспортами напругами мікроконтролера ATtiny2313 та периферії, завдяки чому живлення подається напряму без проміжних імпульсних чи лінійних регуляторів.



Рис.4.10. Літій-полімерний (Li-Po) акумулятор 300 мАг 3.7 В

					МММТ 480.016.016 – ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		46

Технічні характеристики:

- Тип: Li-Pol (літій-полімерний);
- Місткість: 300 мАг;
- Номінальна напруга: 3.7 В;
- Напруга заряджання: 4.2 В;
- Місткість: 1.11 Втч;
- Вбудований захист РСМ від перезаряду та пере;
- Розмір: 30 x 20 x 4 мм [18].

Мікросхема TP4056 з роз'ємом USB Type-C (рис.4.11) забезпечує правильний та безпечний цикл заряджання літійового акумулятора за алгоритмом «постійний струм / постійна напруга» (CC/CV), автоматично керує двома світлодіодами індикації станів, а також містить вбудований апаратний захист батареї від перезаряду, глибокого розряду та короткого замикання.

В свою чергу, сучасний низькопрофільний роз'єм USB Type-C. Він інтегрований у корпус пристрою і призначений для зручного підключення трекера до будь-якого стандартного зовнішнього джерела живлення з напругою 5 В (адаптера смартфона, повербанка або USB-порту персонального комп'ютера).

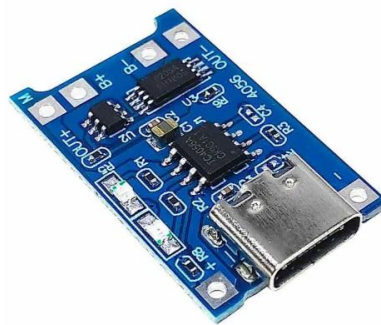


Рис. 4.11. Мікросхема TP4056 з роз'ємом USB Type-C

Модуль заряду TP4056 призначений для заряджання одного літійового акумулятора. Для заряджання акумулятора з напругою 5V і струмом 1A слід використовувати модуль заряду TP4056 з входом Type-C.

					МММТ 480.016.016 – ПЗ	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Приклад такого модуля може бути TP4056 Type-C Charging Board, який підтримує зарядку акумулятора з напругою 3.7В або 4.2В і струмом до 1А. Він має вхідний роз'єм Type-C та надає вихідну напругу 5В, що дозволяє заряджати акумулятор від USB-джерел живлення.

Технічні характеристики наступні:

- Струм зарядки: 1А (з можливістю регулювання заміною резистора);
- Похибка: 1,5%;
- Вхідна напруга: DC 4.5 В- 5.5 В;
- Напруга повного заряду: 4,2 В;
- Індикатор зарядки: Червоний – заряд, Синій – заряджений;
- Вхідний інтерфейс: TYPE-C;
- Робоча температура: -10...85°C;
- Габаритні розміри: 25x18мм.[19]

4.7. Принципова електрична схема

На базі складових, що вище описані та обґрунтовані, побудуємо принципово електричну схему вимірювальної системи рис.4.12.

Для забезпечення стабільної та завадостійкої роботи вимірювальної системи в умовах динамічних навантажень, у принципову електричну схему інтегровано пасивні RC-компоненти. Призначення кожного елемента обумовлено певними чинниками. Обґрунтування призначення резисторів наступне:

– Резистор R1 (10 кОм): виконує роль підтягуючого (Pull-up) резистора для виводу апаратного скидання RST (фіксатор 1) мікроконтролера DD1 до шини живлення +VCC. Це унеможливорює самовільне перезавантаження мікроконтролера від випадкових електромагнітних наведень або статичної електрики під час руху спортсмена.

– Резистори R2 та R3 (470 Ом): є струмообмежувальними елементами у колах живлення світлодіодів VD1 та VD2. Вони запобігають тепловому руйнуванню напівпровідникових кристалів світлодіодів та задають

					МММТ 480.016.016 – ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

оптимальний робочий струм індикації на рівні близько 5–7 мА, що суттєво економить заряд акумулятора.

– Резистори R4 та R5 (4.7 кОм): є обов'язковими підтягуючими резисторами для ліній цифрової послідовної шини I2C (SDA та SCL). Оскільки виводи мікроконтролера та периферії працюють у режимі "відкритий стік", ці резистори забезпечують утримання стабільного високого логічного рівня на лініях зв'язку під час відсутності передачі даних між DD1, DD2 та HG1.

– Резистор R6 (1.2 кОм): увімкнений у вхідне коло живлення від роз'єму X1 до вузла DA1. Він обмежує базовий струм заряду акумулятора та виконує захисну функцію у разі виникнення короткого замикання або стрибків напруги у зовнішній мережі 5 В.

Обґрунтування призначення конденсаторів наступне:

– Конденсатори C1 та C2 (22 пФ): працюють у парі з зовнішнім кварцовим резонатором ZQ1. Вони входять до складу коливального контуру внутрішнього генератора мікроконтролера, забезпечуючи фазовий зсув та стабільну генерацію тактової частоти 8МГц, необхідної для точного підрахунку часу в алгоритмах визначення швидкості.

– Конденсатори C3 та C4 (0.1мкФ): є високочастотними блокувальними керамічними конденсаторами. Вони встановлюються у безпосередній близькості до виводів живлення цифрового датчика DD2 та модуля дисплея HG1. Їхня задача миттєве придушення короткочасних імпульсних завад по колу живлення, що виникають під час комутації внутрішніх логічних елементів мікросхем.

– Конденсатори C5 та C6 (10 мкФ): є низькочастотними згладжувальними фільтрами великої ємності. Конденсатор C5 стабілізує напругу, що надходить безпосередньо з Li-Po акумулятора GB1 під час роботи пристрою. Конденсатор C6 згладжує пульсації вхідної напруги 5 В від роз'єму X1, забезпечуючи рівний та безпечний режим роботи вузла зарядки/стабілізації DA1.

					МММТ 480.016.016 – ПЗ	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

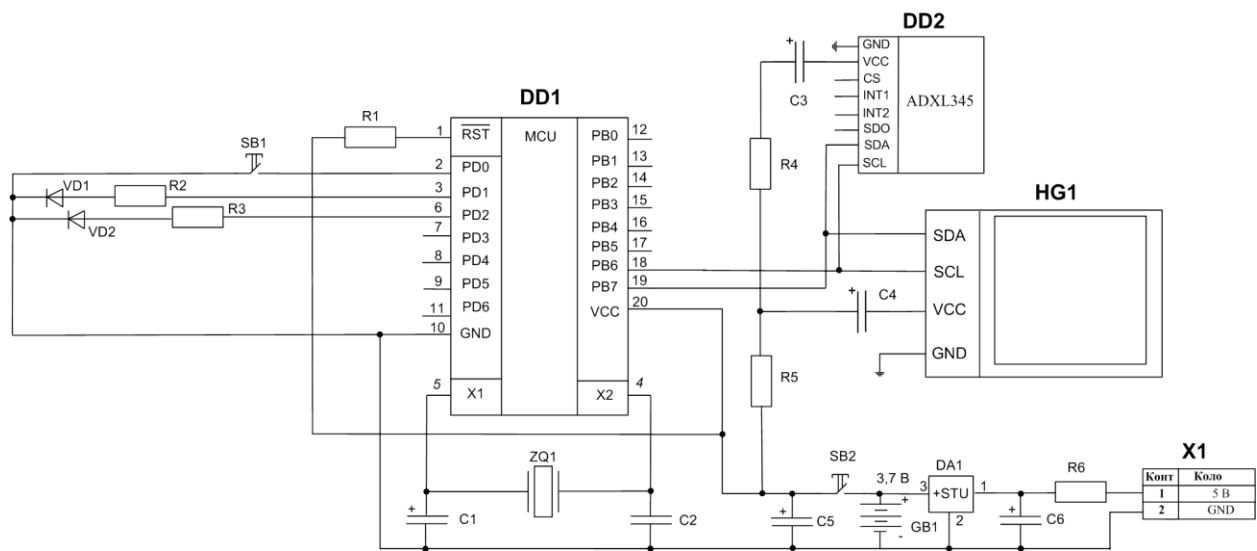


Рис.4.12. Принципова електрична схема

Складові системи наступні:

- DD1 – Мікроконтролер ATtiny2313-20SU;
- DD2 – Цифровий триосьовий акселерометр ADXL345;
- DA1 – Інтегральний контролер заряду TP4056;
- HG1 – Графічний OLED-дисплей 0.96" (SSD1306);
- ZQ1 – Кварцовий резонатор 8.000 МГц;
- GB1 – Літій-полімерний акумулятор 3.7 В, 300 мАг;
- VD1 – Світлодіод індикаторний червоний SMD 0603;
- VD2 – Світлодіод індикаторний зелений SMD 0603;
- SB1 – Тактова кнопка керування режимами TS7704-5.0-180-В;
- SB2 – Тактова кнопка живлення TS7701-5.0-250;
- X1 – Роз'єм живлення – USB Type-C;
- R1 – Резистор підтяжки лінії RST– SMD 10 кОм;
- R2, R3 – Резистори струмообмежувальні SMD 470 Ом;
- R4, R5 – Резистори підтяжки шини I2C SMD 4.7 кОм;
- R6 – Резистор обмеження струму заряду SMD 1.2 кОм;
- C1, C2 – Конденсатори керамічні тактові SMD 22 пФ;
- C3, C4 – Конденсатори керамічні блокувальні SMD 0.1 мкФ;
- C5, C6 – Конденсатори фільтрації живлення SMD 10 мкФ.

4.8. Розрахунок похибок вимірювання відстані та швидкості

Проведемо експеримент забігу спортсмена на дистанцію 2-3 км. Отримано масив із 10 послідовних точок (значень), які фіксує та обчислює крокомір під час забігу спортсмена табл.4.1.

Спортсмен мав середній біг підтюпцем (джогінг) зі швидкістю близько 3м/с (10,8 км/год) та середньою довжиною кроку 1,05м. Значення частоти кроків становлять близько 160-170 кроків, що є класичним показником для аматорського бігу.

Таблиця 4.1. Виміряні дані

№ відліку	Загальний час, t (с)	Кількість кроків, N	Швидкість, v (м/с)	Швидкість, v (км/год)	Дистанція, S (м)
1	660 (11 хв)	1810	2,95	10,62	1900,5
2	680	1865	3,02	10,87	1958,2
3	700	1919	2,98	10,73	2014,9
4	720 (12 хв)	1974	3,10	11,16	2072,7
5	740	2028	3,05	10,98	2129,4
6	760	2083	2,88	10,37	2187,1
7	780 (13 хв)	2138	3,01	10,84	2244,9
8	800	2192	2,97	10,69	2301,6
9	820	2247	3,03	10,91	2359,3
10	840 (14 хв)	2302	3,12	11,23	2417,1

Динаміка швидкості: Швидкість v постійно коливається в межах 2,88–3,12 м/с, оскільки в реальних умовах спортсмен не може бігти з абсолютно ідеальною стабільністю (впливає рельєф, втома, пориви вітру). Мікроконтролер обчислює її на основі інтервалів між піками прискорення від акселерометра ADXL345.

Приріст дистанції: Пройдений шлях (S) на кожному кроці розраховується за формулою $S = N \cdot L_{\text{кроку}}$, де $L_{\text{кроку}}$ – константа довжини кроку, що зберігається в EEPROM (у цьому прикладі 1,05м).

За відомими формулами шукаємо:

1) Середнє арифметичне S за (4.1):

$$S_{\text{сеп}} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} S_i \cong 2001,01 \text{ м} \quad (4.1)$$

2) Похибки повторних вимірювань ΔS_i та ΔS_i^2 .

$$\Delta S = |S_{\text{сер}} - S_i| \quad (4.2)$$

$$\Delta S_i^2 = (S_{\text{сер}} - S_i)^2, \quad (4.3)$$

де $i=1,2, \dots, 10$

Результати 10 послідовних вимірювань дистанції на фіксованій контрольній ділянці бігового треку та проміжні обчислення занесено в табл. 4.2.

Таблиця 4.2. Результати вимірювання та обчислення похибок дистанції

№ з.п.	S, м	ΔS , м	ΔS^2 , м ²
1	2000,5	0,51	0,2601
2	2000,1	0,11	0,0121
3	2001,2	0,19	0,0361
4	2000,8	0,21	0,0441
5	2001,4	0,39	0,1521
6	2000,3	0,71	0,5041
7	2000,9	0,11	0,0121
8	2001,6	0,59	0,3481
9	2001,1	0,09	0,0081
10	2002,2	1,19	1,4161
сер	2001,01	0,41	2,793

3) Випадкову похибку вимірювання. З табл. 4.2 знайдемо коефіцієнт Стюдента для 10 вимірювань і довірчої ймовірності 0,95 $t_{0,95}=2,26$; розрахуємо за (4.4) вибіркове середнє квадратичне відхилення:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\Delta S_i^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{2,793}{9}} = \sqrt{0,3103} \approx 0,557 \text{ м} \quad (4.4)$$

та знайдемо випадкову похибку (4.4):

$$\Delta S_{\text{вип}} = t_{0,95} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 2,26 \cdot \frac{0,557}{\sqrt{10}} = 2,26 \cdot 0,176 \approx 0,40 \text{ м} \quad (4.5)$$

4) Похибку приладу знаходимо за (4.6):

$$\Delta S_{np} = \frac{1}{300} \cdot t_p \cdot k \cdot S_{tp} \quad (4.6)$$

Для надійної ймовірності $P = 0,95$ з табл. 4.2 знайдемо $t_{0,95}=2,0$. Враховуючи, що за умовою максимальний крок $S_{\text{гр}} = 2\text{м}$, а клас точності $k = 1$, отримаємо похибку приладу:

$$\Delta S_{\text{пр}} = \frac{1}{300} \cdot 2 \cdot 1 \cdot 2 \approx 0,013 \text{ м}$$

5) Похибку заокруглення за (4.7) дискретність дисплея $h=0,1$:

$$\Delta S_{\text{заокр}} = \frac{h}{2} = \frac{0,1}{2} \approx 0,05 \quad (4.7)$$

6) Загальна абсолютна похибка дистанції (за правилом «трьох сигм» нехтуємо малими похибками приладу та заокруглення, оскільки домінує випадкова похибка від коливань тіла спортсмена під час бігу):

$$\Delta S_{\Sigma} \approx 0,4 \text{ м.}$$

7) Відносну похибку прорахуємо (4.8):

$$\delta = \frac{\Delta S_{\Sigma}}{\Delta S_{\text{сер}}} \cdot 100\% = \frac{0,4}{2001,1} \cdot 100\% \approx 0,02\% \quad (4.8)$$

Записуємо кінцевий результат:

$$S = (2001,0 \pm 0,4) \text{ м}; P = 0,95; \delta = 0,02\%$$

Аналогічним чином розраховуємо похибки по швидкості.

Таблиця 4.3. Результати вимірювання та обчислення похибок швидкості

№ з. п.	v, м/с	Δv , м/с	Δv^2 , (м/с) ²
1	2,95	0,052	0,002704
2	3,02	0,018	0,000324
3	2,98	0,022	0,000484
4	3,10	0,098	0,009604
5	3,05	0,048	0,002304
6	2,88	0,122	0,014884
7	3,01	0,008	0,000064
8	2,97	0,032	0,001024
9	3,03	0,028	0,000784
10	3,12	0,118	0,013924
сер	3,002	0,055	0,046096

Середнє арифметичне v за (4.9):

$$v_{\text{сер}} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} v_i \cong 3,002 \text{ м/с} \quad (4.9)$$

Випадкову похибку вимірювання швидкості. З табл. 4.2 знайдемо коефіцієнт Стьюдента для 10 вимірювань і довірчої ймовірності 0,95 $t_{0,95}=2,26$; розрахуємо за (4.10) вибіркове середнє квадратичне відхилення:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\Delta v_i^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,0046096}{9}} = \sqrt{0,005122} \approx 0,0716 \text{ м/с} \quad (4.10)$$

та знайдемо випадкову похибку швидкості (4.11):

$$\Delta v_{\text{вин}} = t_{0,95} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 2,26 \cdot \frac{0,0716}{\sqrt{10}} = 2,26 \cdot 0,0226 \approx 0,051 \text{ м/с} \quad (4.11)$$

Для надійної ймовірності $P = 0,95$ з табл. 4.3 знайдемо $t_{0,95}=2,0$. Враховуючи, що за умовою максимальна швидкість вимірювання складає $v_{\text{гр}} = 15,7 \text{ м/с}$ (за умови максимального прискорення $\pm 16g$, $156,96 \text{ м/с}^2$), а клас точності $k = 1$, отримаємо похибку приладу:

$$\Delta v_{\text{пр}} = \frac{1}{300} \cdot 2 \cdot 1 \cdot 15,7 \approx 0,105 \text{ м/с} \quad (4.12)$$

Похибку заокруглення за (4.13) дискретність дисплея $h=0,1$:

$$\Delta v_{\text{заокр}} = \frac{h}{2} = \frac{0,01}{2} \approx 0,005 \quad (4.13)$$

Загальна похибка похибка швидкості (за правилом «трьох сигм»):

$$\Delta v_{\Sigma} = \sqrt{\Delta v_{\text{вин}}^2 + \Delta v_{\text{пр}}^2 + \Delta v_{\text{заокр}}^2} = \sqrt{0,051^2 + 0,105^2 + 0,005^2} = 0,117 \text{ м/с}$$

Відносну похибку прорахуємо (4.14):

$$\delta = \frac{\Delta v_{\Sigma}}{v_{\text{сер}}} \cdot 100\% = \frac{0,117}{3,002} \cdot 100\% \approx 3,9\% \quad (4.14)$$

Записуємо кінцевий результат:

$$S = (3,002 \pm 0,117) \text{ м/с}; P = 0,95; \delta = 3,9\%$$

					МММТ 480.016.016 – ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

5. РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ТА АЛГОРИТМУ

5.1. Розробка алгоритму

Алгоритм роботи розробленої мікропроцесорної системи вимірювання параметрів руху спортсмена представлений у вигляді структурованої блок-схеми на рис.5.1.

Блок «Початок» в алгоритмі означає апаратне увімкнення живлення вимірювальної системи. Безпосередньо після цього виконується блок «Ініціалізація», у якому реалізовано такі кроки:

1. Оголошення глобальних змінних, конфігурація внутрішніх регістрів та опис призначень бітів і портів введення-виведення мікроконтролера.

2. Програмне підключення та активація низькорівневого Bit-Bang драйвера шини I2C.

3. Запис конфігураційних байтів у регістри акселерометра ADXL345 для активації високої роздільної здатності вимірювань (16g) і запуск графічної матриці OLED-дисплея HG1 із повним очищенням відеопам'яті від випадкових даних.

Для забезпечення точності обчислень головний цикл програми синхронізовано часовим інтервалом $t = 10\text{мсек}$ (100Гц). Процес циклічного вимірювання складається з таких блоків:

Зчитування даних датчика ADXL345: Мікроконтролер по шині I2C послідовно зчитує старший та молодший байти прискорення по вертикальній осі Z.

Значення прискорення a в СІ: Отриманий 16-бітний знаковий код перераховується у фізичну величину прискорення м/с^2 шляхом множення на масштабний коефіцієнт 0,03825. На цьому ж етапі віднімається статична гравітаційна складова $9,81\text{м/с}^2$ та відсікаються шуми через зону нечутливості $\pm 0,2\text{м/с}^2$.

Чисельне інтегрування, v , S : На основі виділеного динамічного прискорення виконується подвійне чисельне інтегрування за методом

					МММТ 480.016.016 – ПЗ	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Ейлера. Перший інтеграл розраховує поточну лінійну швидкість руху v , другий безперервно накопичує пройдену дистанцію S в метрах.

З метою оптимізації швидкодії процесора, апаратний моніторинг стану акумулятора винесено в підцикл із кроком $t = 1\text{с}$ (кожні 100 ітерацій головного циклу):

Програма аналізує стан вбудованого аналогового компаратора (регістр ACSR). Логічна умова $VCC = 1$ (перевищення прапорця виходу компаратора АСО) свідчить про критичний розряд акумулятора.

Якщо умови розряду немає («ні»), виконується блок «Ввімк зелений світлодіод» (підтвердження норми живлення на піні PD1).

Якщо зафіксовано розряд батареї («так»), послідовно виконуються блоки «Вимк зелений світлодіод» та «Ввімк червоний світлодіод» (активація аварійної сигналізації на піні PD2).

Умова «Пін кнопки $PD = 0$ »: Програма перевіряє стан цифрового входу кнопки PD0. Якщо кнопку натиснуто («так»), викликається підпрограма «Налаштування режимів», яка змінює прапорець відображення (display_mode).

Блоки Відображення на дисплеї знаків / Вивід вимірюваних даних v , S : Обчислені значення швидкості або відстані проходять блок двійково-десятькового розбиття на окремі розряди. Відповідно до поточної сторінки та адреси стовпчиків, інформація про метри чи швидкість передається на OLED-дисплей. Завдяки програмно закладеній таблиці символів шрифту, контролер чітко визначає, в який графічний розряд екрана виводиться кожна цифра.

Умова критичного вимкнення $U \leq 3,7\text{В}$: Наприкінці циклу перевіряється загальний рівень напруги. Якщо напруга вища за критичну межу літєвого акумулятора («ні»), система повертається на початок циклу вимірювань $t = 10\text{мсек}$. Якщо рівень впав нижче ніж 3,7 В («так»), робота алгоритму припиняється, фіксуючи фінальний блок «Кінець» для запобігання пошкодженню батареї.

					МММТ 480.016.016 – ПЗ	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

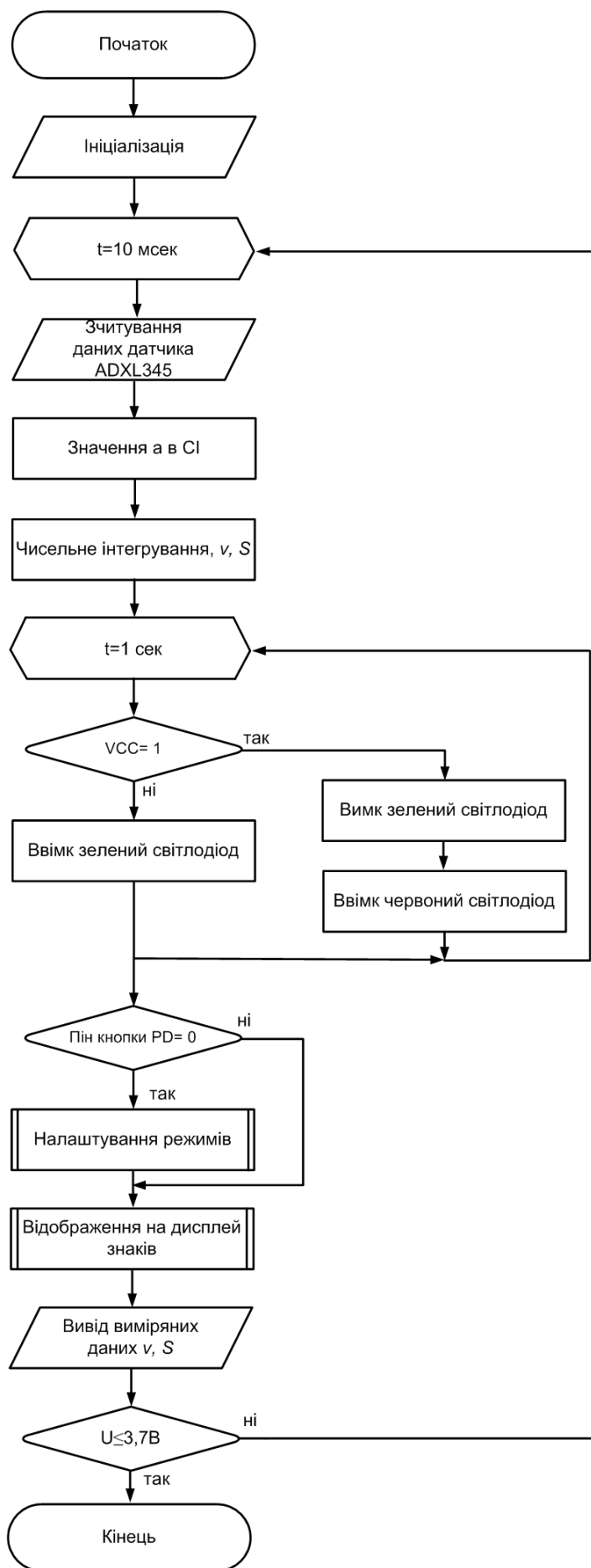


Рисунок 5.1. Блок-схема алгоритму системи

5.2. Розробка програми

Особливість написання і налагодження програмного забезпечення для розробленого вимірювального пристрою на базі мікроконтролера ATtiny2313 полягає в тому, що для цього зовсім недостатньо мати систему, яка складається тільки з самого програмованого чипа.

Це пов'язано з кількома критичними факторами:

1. Обмеженість апаратних ресурсів: Обсяг пам'яті (всього 2 КБ Flash-пам'яті програм та 128 байт оперативної пам'яті RAM) і швидкодія кристала (8 МГц) роблять неможливим розміщення всередині мікроконтролера навіть найпростіших сервісних програм (редакторів, трансляторів чи відлагоджувальних моніторів).

2. Архітектурні особливості: Гарвардська архітектура обчислювального ядра AVR із роздільними областями пам'яті для команд та даних, а також вбудовані механізми захисту Flash-пам'яті унеможливають безпосереднє редагування коду «на борту» самого пристрою під час його функціонування.

Все це змушує при розробці програмного забезпечення використовувати спеціальні інструментальні засоби розробки, компіляції та налагодження на базі універсального персонального комп'ютера. У нашому випадку розробка велася в професійному інтегрованому середовищі Microchip Studio (раніше AVR Studio) під керуванням ОС Windows. Це дозволило побудувати дружній інтерфейс, виконати покрокову симуляцію коду та провести апаратне програмування чіпа в такій послідовності:

1. Створення та конфігурація проєкту під мікроконтролер ATtiny2313.
2. Написання вихідного програмного коду.
3. Компіляція та генерація виконуваного файлу прошивки (.hex).
4. Симуляція і програмне відлагодження алгоритмів інтерфейсу I2C.

Найкращими варіантами для написання програмного забезпечення мікроконтролерів є мови Асемблер та Сі, оскільки вони забезпечують пряме і максимально ефективне керування апаратними регістрами периферії.

					МММТ 480.016.016 – ПЗ	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

Асемблер – це низькорівнева мова, яка оперує безпосередньо машинними інструкціями процесора. Створення програм на Асемблері є надзвичайно трудомістким процесом, що вимагає глибокого знання архітектури чіпа та значних часових витрат.

Враховуючи, що алгоритм роботи нашого пристрою передбачає складну математичну обробку – чисельне інтегрування даних за методом Ейлера, обчислення модуля чисел (fabs), операції ділення для розбиття чисел на десяткові розряди, а також покрокову програмну реалізацію складного часозалежного протоколу I2C (Bit-Bang) для одночасної роботи з акселерометром ADXL345 та OLED-дисплеєм HG1 (SSD1306), використання мови Асемблер є недоцільним. Написання математичних бібліотек плаваючої коми та драйверів дисплея на Асемблері призвело б до критичного ускладнення структури програми та збільшення ймовірності алгоритмічних помилок.

Тому для розробки було обрано мову високого рівня Сі. Вона забезпечує високу швидкість написання коду, прозорість математичних обчислень та легкість модифікації алгоритму фільтрації шумів акселерометра. При цьому, завдяки глибокій оптимізації компілятора Microchip Studio та відмові від «важких» стандартних бібліотек (шрифтовий масив примусово винесено у Flash за допомогою макросу PROGMEM), обсяг скомпільованого коду вдалося втримати в межах 1,3 КБ, що повністю задовольняє жорстке обмеження у 2 КБ для вибраного мікроконтролера.[19]

Опис структури та фрагментів коду представлена нижче.

1. Блок ініціалізації системи та конфігурації периферії

Цей блок виконується один раз при подачі живлення на пристрій. Він здійснює початкове налаштування регістрів введення-виведення мікроконтролера ATtiny2313, активує програмну шину I2C, а також передає послідовність службових команд для переведення акселерометра ADXL345 та дисплея HG1 в активний робочий стан. Додатково тут задається стартовий стан світлодіодів індикації акумулятора.

					МММТ 480.016.016 – ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		59

```

int main(void) {
    // Налаштування ліній порту D: PD1 (Green) та PD2 (Red) на ВИХІД під
    світлодіоди
    DDRD |= (1 << GREEN_LED) | (1 << RED_LED);

    // Налаштування лінії PD0 на ВХІД під кнопку перемикання режимів екрана
    DDRD &= ~(1 << BUTTON_PIN);

    // Активація внутрішнього підтягуючого резистора (Pull-up) для
    стабілізації логічного рівня кнопки
    PORTD |= (1 << BUTTON_PIN);

    I2C_init();           // Запуск програмного драйвера шини I2C
    _delay_ms(100);       // Пауза для стабілізації перехідних процесів у
    схемах живлення датчиків

    // Конфігурація акселерометра ADXL345 через його внутрішні регістри
    ADXL345_writeReg(REG_DATA_FORMAT, 0x03); // Активація режиму Full
    Resolution, робочий діапазон вимірювань +/-16g
    ADXL345_writeReg(REG_BW_RATE, 0x0F);      // Встановлення максимальної
    частоти оновлення внутрішнього АЦП (3200 Гц)
    ADXL345_writeReg(REG_POWER_CTL, 0x08);    // Переведення датчика в режим
    безперервного вимірювання (старт зчитування)

    OLED_init();          // Фізичний запуск та повне очищення графічної
    матриці дисплея HGL

    // Стартовий стан індикації: акумулятор заряджений, система готова до
    роботи
    PORTD |= (1 << GREEN_LED);                 // Увімкнути зелений світлодіод
    (норма)
    PORTD &= ~(1 << RED_LED);                 // Вимкнути червоний світлодіод
    (розряд)

```

2. Блок зчитування та обробки даних

Блок відповідає за отримання первинної вимірювальної інформації від акселерометра по цифровому протоколу та її математичну обробку. Функція здійснює масштабування сирих даних АЦП у фізичні величини (м/с), компенсує вплив постійної сили земного тяжіння ($9,81\text{м/с}^2$) і виконує цифрову фільтрацію високочастотних коливань та апаратних шумів за допомогою вікна нечутливості.

```

while (1) {
    // Зчитування 16-бітного знакового значення прискорення по вертикальній осі Z
    int16_t raw_z = ADXL345_readZ();
    // Масштабний перерахунок: переведення сирих одиниць датчика у фізичне
    прискорення (м/с^2)
    // Коефіцієнт враховує ціну розряду 3.9 мг та константу прискорення вільного
    падіння 9.81
    acc_z_mps2 = (float)raw_z * 0.03825;

    // Виділення динамічної складової: віднімаємо статичну гравітацію 9.81 м/с^2
    float dynamic_acc = acc_z_mps2 - 9.81;

    // Програмний лінійний фільтр "мертвої зони" для відсікання мікро-
    вібрацій корпусу приладу
    if (fabs(dynamic_acc) < 0.2) dynamic_acc = 0.0;

```

					МММТ 480.016.016 – ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Блок чисельного інтегрування (алгоритм обчислення руху)

Цей блок реалізує математичний апарат пристрою. Оскільки пряме вимірювання швидкості та відстані за допомогою акселерометра неможливе, у програмі застосовано метод подвійного послідовного чисельного інтегрування Ейлера. Перший інтеграл вираховує поточну швидкість бігуна на основі амплітуди поштовхів ногою, а другий інтеграл безперервно накопичує пройдену дистанцію в метрах.

```
// ПЕРШЕ ІНТЕГРУВАННЯ: Розрахунок лінійної швидкості користувача
if (dynamic_acc > 0.5) {
// Якщо зафіксовано активний поштовх кроку, збільшуємо швидкість (динамічне
прискорення * крок часу dt)
    current_velocity += dynamic_acc * dt;
} else {
// Якщо крок завершено і активного прискорення немає, швидкість плавно
знижується (імітація затухання)
    current_velocity -= 0.1 * dt;
    if (current_velocity < 0) current_velocity = 0; // Захист від
від'ємних значень швидкості при зупинці
}

// ДРУГЕ ІНТЕГРУВАННЯ: Розрахунок та безперервне накопичення пройденого
шляху (дистанції)
// Множимо поточну обчислену швидкість на квант часу dt (0.01 c)
total_distance += current_velocity * dt;
```

4. Блок апаратного моніторингу акумулятора

Блок реалізує функцію захисту та контролю системи живлення пристрою. Оскільки мікроконтролер ATtiny2313 позбавлений вбудованого АЦП, для моніторингу напруги літієвого акумулятора задіяно вбудований аналоговий компаратор. З метою максимального зниження енергоспоживання, опитування компаратора виконується дискретно один раз на 100 робочих циклів програми (рівно один раз на секунду).

```
// Дискретне опитування стану акумулятора (раз на 100 циклів = 1 секунда)
battery_check_counter++;
if (battery_check_counter >= 100) {
// Перевірка прапорця ACO (Analog Comparator Output) в системному регістрі
ACSR.
// Логічна "1" свідчить, що напруга батареї стала нижчою за встановлений
поріг розряду.
    if (ACSR & (1 << ACO)) {
        PORTD &= ~(1 << GREEN_LED); // Вимкнути зелений світлодіод ("Норма")
        PORTD |= (1 << RED_LED);    // Увімкнути червоний світлодіод ("Критичний
розряд, потрібна зарядка")
    } else {
        PORTD |= (1 << GREEN_LED); // Напруга в нормі, підтримуємо зелену індикацію
        PORTD &= ~(1 << RED_LED);
    }
    battery_check_counter = 0; // Скидання лічильника секундного інтервалу
}
```

					МММТ 480.016.016 – ПЗ	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

5. Блок кнопкового інтерфейсу та динамічного виведення на OLED

Цей блок відповідає за взаємодію з користувачем. Він відстежує натискання кнопки, здійснює програмний захист від брязкання контактів (*debounce*) та змінює прапорець режиму відображення. Залежно від обраного режиму, числові змінні швидкості (типу `float`) або дистанції (типу `uint16_t`) математично розбиваються на окремі десяткові розряди без використання ресурсомістких бібліотек, після чого побайтово відправляються в буфер пам'яті дисплея HG1.

```
// ОБРОБКА КНОПКИ (Перемикання режимів екрана: Швидкість / Дистанція)
if (!(PIND & (1 << BUTTON_PIN))) { // Якщо на піні логічний 0 (кнопка
натиснута і замкнута на землю)
if (button_state == 0) { // Перевірка стану для захисту від повторних
помилкових спрацьовувань
display_mode ^= 1; // Інвертуємо режим відображення (0 - швидкість, 1 -
дистанція)
OLED_clear_page(3); // Швидке очищення робочої сторінки екрана під нові дані
button_state = 1; // Блокуємо цикл доти, доки користувач не відпустить
кнопку
}
} else {
button_state = 0; // Скидання блокування при відпусканні кнопки
}
// ВИЗУАЛІЗАЦІЯ ДАНИХ НА ДИСПЛЕЇ HG1
if (display_mode == 0) {
// Режим 0: Виведення поточної швидкості бігу
uint8_t v_int = (uint8_t)current_velocity; // Ціла частина числа
uint8_t v_frac = (uint8_t)((current_velocity - v_int) * 10); // Перший знак
після коми

OLED_print_char(v_int, 3, 40); // Друк цілої частини в 3-й рядок екрана
OLED_print_char(10, 3, 46); // Друк розділової крапки (індекс 10 в масиві
шрифту)
OLED_print_char(v_frac, 3, 52); // Друк дробової частини
} else {
// Режим 1: Виведення пройденого шляху в метрах
uint16_t dist_int = (uint16_t)total_distance; // Приведення до цілого числа
метрів

// Побітове виділення десяткових розрядів (Тисячі, Сотні, Десятки, Одиниці)
uint8_t d1 = (dist_int / 1000) % 10;
uint8_t d2 = (dist_int / 100) % 10;
uint8_t d3 = (dist_int / 10) % 10;
uint8_t d4 = dist_int % 10;
// Послідовний посимвольний друк чотиризначного числа дистанції
OLED_print_char(d1, 3, 40);
OLED_print_char(d2, 3, 46);
OLED_print_char(d3, 3, 52);
OLED_print_char(d4, 3, 58);
}
// Стабілізація часового кроку головного циклу програми
_delay_ms(10); // Пауза в 10 мс жорстко закладає частоту
дискретизації системи на рівні 100 Гц
}
```

Текст розробленої програми представлений в Додатку А.

					МММТ 480.016.016 – ПЗ	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

6.1. Розробка друкованої плати

Для розробки топології друкованої плати вимірjuвальної системи було обрано сучасне хмарне середовище автоматизованого проектування EasyEDA. EasyEDA містить інтегровану та постійно оновлювану базу даних компонентів LCSC, що дозволяє миттєво знаходити як посадочні місця для мікроконтролера ATtiny2313 та акселерометра ADXL345, так і їхні точні 3D-моделі. Пошук всіх необхідних радіoeлектронних компонентів виконується за допомогою інтерактивного поля «Компоненти» (або вкладки *Library*). Вбудована система перевірки проектних правил (*DRC – Design Rule Check*) автоматично контролює допустимі зазори між доріжками та контактними майданчиками.

Завдяки двосторонньому текстоліту FR-4 та оптимізованому розміщенню елементів, вдалося досягти високої компактності, що критично важливо для спортивного трекера. Графічне представлення розведеної друкованої плати системи приведено на рисунку 6.1 (а — вигляд зі сторони встановлення SMD-компонентів, б — вигляд зі сторони доріжок та полігону заземлення).

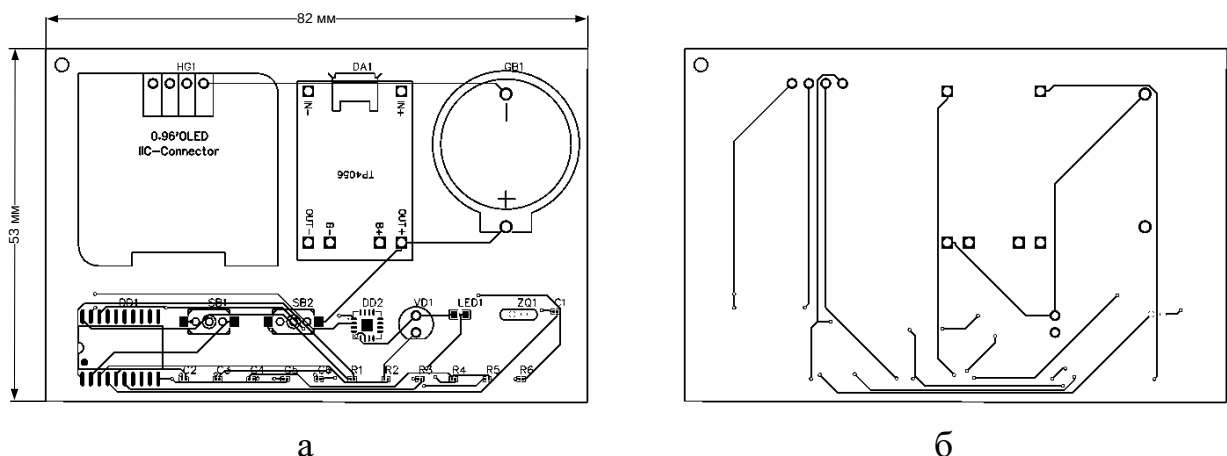


Рис. 6.1. Друкована плата: а – зовнішня сторона плати; б – дзеркальне відображення

Розмір плати складає 53х82 мм. Пропонується розмістити в корпусі 54х84х20 мм з певними доробками під дисплей та кнопки.

					МММТ 480.016.016 – ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		63

6.2. Розрахунок надійності системи

При розрахунку надійності розробленого спортивного трекера визначалися наступні кількісні показники:

1. Імовірність безвідмовної роботи за заданий час $P(t)$;
2. Параметр потоку відмовлень $\lambda(t)$;
3. Середній наробіток до відмовлення T_e .

Безвідмовність – це властивість вимірювальної системи неперервно зберігати працездатність та задані метрологічні характеристики впродовж заданого інтервалу часу. Для портативних пристроїв індивідуального використання імовірність безвідмовної роботи зазвичай визначається за інтервал часу, що вибирається рівним 500, 1000 чи 2000 годин активної експлуатації.

Основним показником, що враховується при розрахунках надійності, є інтенсивність відмовлень $\lambda(t)$ – число відмовлень в одиницю часу, віднесене до числа елементів системи (мікроконтролер, датчик, дисплей, пасивні компоненти), що залишилися справними до початку даного інтервалу часу.

Розрахунок показників надійності вимірювальної системи проводився методом λ -характеристик. Цей метод заснований на базових інтенсивностях відмовлень комплектуючих виробів (КВ), які взяті з довідникових даних, та поправочних коефіцієнтах, що враховують реальні електричні режими роботи компонентів і специфічні умови експлуатації виробу спортсменом.

Виріб конструктивно розроблений як мобільний пристрій і призначений для роботи в умовах помірного клімату під час проведення тренувань:

- Робочий діапазон температур системи становить від -25°C до $+55^{\circ}\text{C}$ (що повністю покриває зимові та літні умови забігів), а відносна вологість повітря – до 80% при 20°C .

- Конструктивно виріб виконано у компактному герметизованому корпусі для захисту від попадання поту та вологи, з можливістю фіксації на тілі або взутті користувача.

					МММТ 480.016.016 – ПЗ	Арк.
						64
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

Апаратна частина (елементи на друкованій платі EasyEDA) розрахована на постійний вплив динамічних знакозмінних навантажень, є ударостійкою та вібростійкою, що зумовлено специфікою вимірювання ударних поштовхів під час бігу.

Склад виробу – комп’ютеризована система вимірювання та контролю дистанції та швидкості руху спортсмена.

Критерієм відмовлення виробу вважається відмовлення будь-якої його складової частини (вузла), що приводить до порушення працездатності виробу і неможливості використання його по призначенню.

Відновлення виробу проводиться шляхом заміни КВ, що відмовили справними з ЗОПа.

При розрахунку надійності виробу використовувалися характеристики, дані в [20], при цьому були прийняті наступні допущення:

1. відмовлення КВ і ІС є подіями випадковими і незалежними;
2. відмовлення будь-якого КВ приводить до відмовлення виробу в цілому;
3. інтенсивність відмовлень КВ протягом терміну їхньої служби в тих самих робочих режимах і умовах є постійною;
4. закон розподілу в розрахунках безвідмовної роботи передбачається експоненціальним.

Розрахунок надійності спроектованого виробу проводиться в відповідності з електричною принциповою схемою виробу і з обліком заданих кліматичний категорії і виконання виробу.

Розрахунок параметра потоку відмовлень виробу проводиться по формулі:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n N_i \lambda_i, \quad (6.1)$$

де n – загальне число групи КВ, що входять до складу спроектованого виробу;
 $N_i \lambda_i$ – кількість і інтенсивність відмовлень КВ i -ої групи відповідно.

					МММТ 480.016.016 – ПЗ	Арк.
						65
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Інтенсивність відмовлень КВ i -ої групи в робочому режимі визначалася по формулі

$$\lambda_i = \lambda_{oi} a_i \dots a_n. \quad (6.2)$$

де λ_{oi} – інтенсивність відмовлень КВ в номінальному режимі і нормальних умовах; $a_i \dots a_n$ – поправочні коефіцієнти, що враховують умови роботи (кліматичні і механічні впливи в залежності від призначення й умов майбутньої роботи), електричне навантаження КВ і температуру навколишнього середовища, ступінь інтеграції інтегральних мікросхем, а також співвідношення видів відмовлень.

Конкретні формули, по яких визначалися інтенсивність відмовлень кожної групи комплектуючих виробів, приведені в таблиці 6.2.

Величини значень визначилися по довідковим даним, приведеним у [20] з врахуванням вихідних даних для проєктованого виробу.

По формулі (6.1) визначаємо потік відмовлень виробу (сума величин в графі 11 таблиці 6.2):

$$\lambda = 71,51 \cdot 10^{-6} \text{ 1/год.}$$

Ймовірність безвідмовної роботи виробу протягом часу t визначалася по формулі

$$P(t) = e^{-\lambda t} \approx 1 - \lambda t \quad (6.3)$$

де λ – параметр потоку відмовлень; t – час роботи виробу (год)

Дані розрахунку $P(t)$ приведені в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Ймовірність безвідмовної роботи виробу протягом часу t

250	500	750	1000	2000	5000	8000	10000
0,981095	0,96219	0,943285	0,92438	0,85433	0,67462	0,5352	0,46143

Середній наробіток до відмовлення виробу визначався по формулі:

$$T_0 = \lambda^{-1} \quad (6.4)$$

Підставляючи дані в формулу (6.4) одержимо

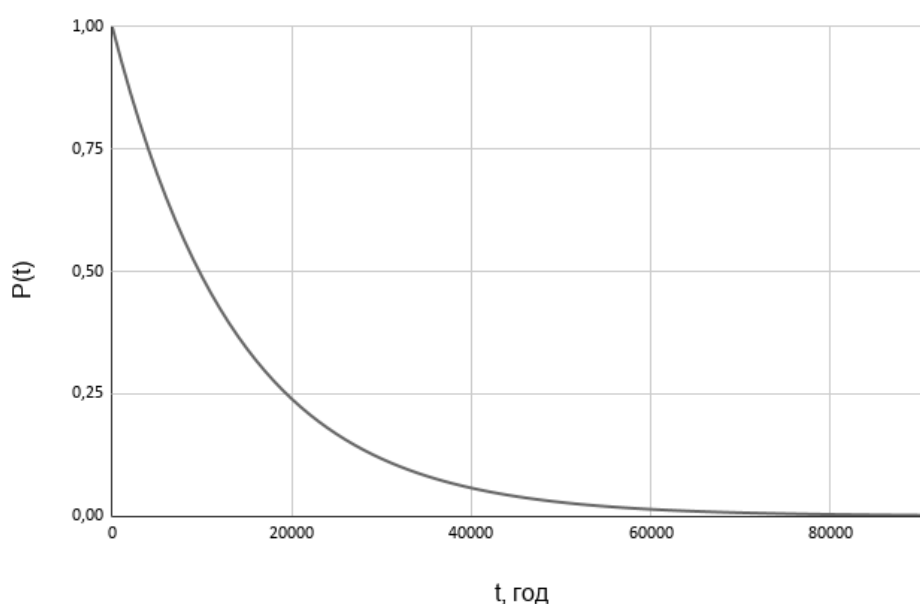
$$T = (71,51 \cdot 10^{-6})^{-1} = 13983 \text{ год.}$$

					МММТ 480.016.016 – ПЗ			Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				66

Таблиця 6.2 – Перелік комплектуючих виробів

Поз.	Найменування	Кіл.	$\lambda_{i0} \cdot 10^6$ год ⁻¹	Формула розрахунку λ_i	Коефіцієнти				$\Sigma \lambda_i \cdot 10^6$ год ⁻¹
1	Конденсатори				a_1	a_2		a_4	
		6	0,02	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,8		1	0,2016
2	Резистори				a_1	a_2		a_4	
	R0603	6	0,008	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,8		1	0,08064
3	Мікросхеми				a_1	a_2	a_4	a_6	
	ATtiny2313	1	0,3	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	2,1	1	1,3	1	0,819
	ADXL345	1	0,3	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	2,1	1	1,3	1	0,819
	TP4056	1	0,3	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	2,1	1	1,3	1	0,819
4	Діоди	2	0,3	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_5$	2,1	1	1,3	1	1,638
5	Комутаційні вироби				a_1	a_2	a_4	a_6	
	Тактова кнопка	2	0,6	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,7		1	1,764
6	Дисплей				a_1	a_2	a_4	a_6	
	SSD1306	1	0,7	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_5$	2,1	1	1,3	1	1,911
7	Кварцовий резонатор				a_1	a_2	a_4	a_6	
	HC-49 SMD	1	0,2	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_4$	2,1			1	0,42
8	Пайки	65	0,0001	$\lambda_0 \cdot a_1$	2,1				0,01365
9	Акумуляторна батарея 3,7В	1	30	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_4$	2,1			1	63
10	Роз'єм USB Type C	1	0,01	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	1	1,3	1	0,0273
11	Разом								71,51

На графіку, приведеному на рисунку 6.2 приведена залежність надійності $P(t)$.

Рис. 6.2. Ймовірність безвідмовної роботи виробу протягом часу t

7.ОХОРОНА ПРАЦІ

7.1. Охорона праці

Охорона праці під час проектування, налагодження та подальшого використання мобільного спортивного трекера водночас вирішує два основних завдання.

Перше з них – інженерно-технічне передбачає запобігання небезпечним і шкідливим чинникам як на етапі лабораторної розробки пристрою, так і під час його експлуатації спортсменом шляхом:

- Заміни небезпечних матеріалів та елементів живлення менш небезпечними: використання стабілізованого літій-полімерного акумулятора з інтегрованою апаратною платою захисту від перезаряду та короткого замикання;

- Переходу на нові безпечні технології: використання енергоефективного низьковольтного елементної бази (робоча напруга мікроконтролера ATtiny2313 та акселерометра ADXL345 становить +3,3В, що повністю виключає ризик ураження електричним струмом);

- Проектування і конструювання устаткування з урахуванням вимог безпеки: розробка ергономічного, легкого та герметичного корпусу пристрою, що унеможливило травмування спортсмена під час бігу та захищає плату EasyEDA від потрапляння вологи і поту;

- Розробки засобів індивідуального захисту: застосування надійних еластичних ременів або фіксаторів для безпечного та стабільного кріплення трекера на тілі чи взутті користувача, що запобігає його відриву на високій швидкості.

Друге завдання – соціально-правове пов'язане із забезпеченням безпечних умов праці розробника (інженера-дослідника) на робочому місці біля ПК при написанні коду в середовищі Microchip Studio та паянні макету, а також із захистом прав користувача щодо екологічності та експлуатаційної безпеки готового виробу.

					МММТ 480.016.016 – ПЗ	Арк.
						68
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Виходячи з поставлених завдань, охорона праці при роботі над вимірювальною системою, ґрунтуючись на правових та організаційних основах, вирішує питання виробничої санітарії (при розробці) та експлуатаційної і пожежної безпеки (при використанні).

Структурно охорона праці в межах даного дипломного проєкту включає у себе:

1. Правові та організаційні основи: дотримання правил безпечної роботи з вимірювальними приладами, паяльним обладнанням та комп'ютерною технікою;

2. Гігієну праці та виробничу санітарію: забезпечення належної вентиляції (витяжки) на робочому місці під час монтажу компонентів на друковану плату, дотримання норм освітленості та режиму роботи за монітором ПК;

3. Виробничу та експлуатаційну безпеку: надійне ізолювання струмопровідних частин трекера, унеможливлення механічного руйнування корпусу при вібраціях та динамічних поштовхах під час бігу;

4. Пожежну безпеку та профілактику: контроль терморежиму літєвого акумулятора при заряджанні, захист від перегріву елементів та недопущення аварійних режимів роботи мікропроцесорної системи [21].

7.2. Розробка заходів з охорони праці

Охорона праці при створенні та використанні мобільного спортивного трекера водночас вирішує два основних завдання:

1. Інженерно-технічне передбачає захист розробника і спортсмена від небезпечних чинників шляхом застосування безпечної низьковольтної елементної бази (напруга живлення ATtiny2313 та ADXL345 становить всього +3,3В, проектування легкого, міцного корпусу та використання акумуляторів із вбудованими платами захисту.

					МММТ 480.016.016 – ПЗ	Арк.
						69
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

2. Соціально-правове пов'язане із забезпеченням безпечних умов праці інженера на робочому місці біля комп'ютера та під час монтажу плати, а також із захистом прав користувача на безпечну експлуатацію виробу.

Структурно охорона праці в межах проєкту включає у себе:

- Правові та організаційні основи: дотримання інструкцій з безпечної роботи з електрообладнанням та ПК;
- Гігієну праці та виробничу санітарію: організацію належної вентиляції під час паяння компонентів на плату EasyEDA та дотримання норм освітленості робочого місця;
- Виробничу та експлуатаційну безпеку: надійну фіксацію трекера на тілі користувача та його стійкість до вібрацій і динамічних поштовхів під час бігу;
- Пожежну безпеку: контроль температурного режиму елементів живлення та недопущення аварійних режимів роботи (коротких замикань) мікропроцесорної системи. [22]

7.3. Пожежна безпека приміщення

У межах проєкту проведено аналіз можливих причин виникнення пожежі та речовин, що можуть підтримувати горіння на етапах лабораторної розробки виробу (робоче місце інженера) та його безпосереднього використання.

Можливими причинами виникнення пожежі можуть бути:

- Аварійні режими в електроустаткуванні: пробій ізоляції сполучних дротів, перевантаження паяльного обладнання чи вимірювальних приладів, коротке замикання на макетній платі або перегрів літій-полімерного акумулятора під час неправильного режиму заряджання;
- Порушення протипожежного режиму: паління у недозволених місцях лабораторії, використання несправних побутових електронагрівальних приладів на робочому місці.

					МММТ 480.016.016 – ПЗ	Арк.
						70
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

Речовини, що можуть горіти в приміщенні розробника:

- Матеріали робочого місця: дерев'яні столи, стільці, тумби;
- Паперові вироби: технічна документація, креслення, папір для принтера;
- Елементи інтер'єру: покриття підлоги (лінолеум, паркет), дерев'яні двері та віконні рами;
- Конструктивні елементи обладнання та трекера: пластикові корпуси ПК і моніторів, ізоляція кабельних ліній, текстоліт друкованих плат EasyEDA, пластиковий корпус самого трекера та оплетення з'єднувальних шлейфів.

Дії у разі виникнення пожежі: Якщо загоряння чи аварійної ситуації не вдалося уникнути, необхідно діяти за наступним алгоритмом:

1. Терміново повідомити пожежну охорону за телефоном 101, чітко вказавши адресу, поверх, місце виникнення пожежі, наявність людей та своє прізвище;
2. Організувати негайну евакуацію людей з приміщення та рятування матеріальних цінностей;
3. Повідомити про виникнення надзвичайної ситуації керівництво або чергового;
4. Знеструмити електромережу, вимкнути вентиляцію та вимірювальні прилади;
5. Розпочати гасіння осередку пожежі наявними первинними засобами (для гасіння електропроводки та мікропроцесорної техніки під напругою використовувати виключно вуглекислотні або порошкові вогнегасники);
6. Організувати зустріч підрозділів ДСНС та надати їм необхідну інформацію для швидкої ліквідації загоряння.

7.4. Навчання, інструктаж працівників з питань охорони праці

Навчання та перевірка знань з охорони праці в межах виконання та впровадження проєкту здійснюються відповідно до Типового положення,

					МММТ 480.016.016 – ПЗ	Арк.
						71
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

затвердженого наказом Держнаглядохоронпраці від 26.01.2005 № 15. Проведення інструктажів є обов'язковою умовою для допуску розробників та технічного персоналу до роботи з обчислювальною технікою, паяльним обладнанням та лабораторними стендами.

За характером і часом проведення розрізняють такі види інструктажів:

– Вступний інструктаж: проводиться з усіма учасниками проєкту, студентами-дипломниками та співробітниками лабораторії під час зарахування на роботу або початку виконання науково-дослідних робіт, незалежно від їхнього стажу та освіти.

– Первинний інструктаж: здійснюється безпосередньо на робочому місці перед початком практичних робіт (розробка плати в EasyEDA, монтаж компонентів, тестування макету трекера). Обов'язковий для новоприйнятих працівників, студентів на практиці та при переході на нове вимірювальне обладнання.

– Повторний інструктаж: проводиться з метою оновлення знань правил безпеки в процесі поточної трудової діяльності не рідше одного разу на 6 місяців (для робіт на ЕОМ та з низьковольтною апаратурою).

– Позаплановий інструктаж: організовується у разі модернізації лабораторного устаткування, приладів або оновлення нормативних актів з охорони праці, при тривалих перервах у роботі (понад 60 днів), а також у разі виявлення порушень, що призвели до аварійних ситуацій.

– Цільовий інструктаж: виконується у разі проведення разових робіт, які не пов'язані з безпосередніми обов'язками (ліквідація наслідків аварій, стихійного лиха або виконання робіт за окремим розпорядженням та нарядом-допуском).

Законодавством суворо забороняється допуск до розробки, налагодження та експлуатації вимірювальної системи осіб, які не пройшли відповідне навчання, інструктаж та перевірку знань з безпеки праці. [22,23]

					МММТ 480.016.016 – ПЗ	Арк.
						72
Зм.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У даній дипломній кваліфікаційній роботі було успішно вирішено актуальну науково-технічну задачу та розроблено систему вимірювання та контролю дистанції та швидкості руху спортсмена.

За результатами виконання етапів проєктування та досліджень отримано такі основні результати:

1. У першому розділі сформовано та обґрунтовано технічні вимоги до системи вимірювання та контролю дистанції та швидкості руху спортсмена, сформульовано технічне завдання на проєктування системи.

2. У другому розділі проведено глибокий аналітичний огляд сучасних існуючих засобів вимірювання параметрів руху та крокомірів. Встановлено, що новітні комерційні моделі перенасичені надлишковим функціоналом, що суттєво підвищує їхню вартість. Доведено високу актуальність розробки спеціалізованої, економічно доступної вимірювальної системи вузького призначення з оптимізованою структурою.

3. У третьому розділі обґрунтовано вибір та проведено синтез елементів структурної схеми пристрою. Як центральний обчислювальний орган обрано малогабаритний мікроконтролер архітектури AVR; як первинний перетворювач цифровий тривісний акселерометр; для візуалізації результатів енергоефективний графічний OLED-дисплей; а також контролер напруги, кнопку перемикання режимів та кнопку живлення, і світлодіодні індикатори стану акумулятора.

4. У четвертому розділі здійснено перехід до схемотехнічної реалізації та обрано конкретну елементну базу для принципової схеми: мікроконтролер ATtiny2313, датчик ADXL345 та дисплей HG1 із керуванням по програмній шині I2C (Bit-Bang). У сучасному середовищі хмарного проєктування EasyEDA розроблено компактку топологію двосторонньої друкованої плати. Проведено аналіз точності вимірювальної системи: абсолютна похибка вимірювання швидкості 0,117 м/с, абсолютна похибка по відстані склала 0,4 м що повністю задовольняє вимогам технічного завдання.

					МММТ 480.016.016 – ПЗ	Арк.
						73
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

5. У п'ятому розділі розроблено деталізовану блок-схему алгоритму роботи вимірювальної системи, побудовану на квантуванні часу з кроком 10мсек та подвійному чисельному інтегруванні Ейлера. Написано та відлагоджено ефективне програмне забезпечення на мові С (в середовищі Microchip Studio), яке виконує фільтрацію шумів «мертвої зони», математичний розрахунок швидкості й відстані та моніторинг розряду батареї за допомогою аналогового компаратора.

6. У шостому розділі виконано інженерний розрахунок надійності виробу з урахуванням реальних кліматичних та вібраційних умов експлуатації спортсменом. Визначено, що середній наробіток системи до відмовлення становить 13983 год, що підтверджує високу експлуатаційну надійність пристрою.

7. У сьомому розділі детально розглянуто питання охорони праці, виробничої санітарії під час лабораторного монтажу плати, а також вимоги пожежної безпеки, правила безпечної експлуатації низьковольтного електрообладнання та літій-полімерних акумуляторів.

Розроблена інформаційно-вимірювальна система є повністю працездатною, компактною, має високий метрологічний запас по динамічному діапазону (до 16g) і може бути рекомендована для використання в індивідуальному та професійному спортивному моніторингу.

					МММТ 480.016.016 – ПЗ	Арк.
						74
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Omron HJ-325-EB Walking style IV [Електронний ресурс] – URL: <https://omron.medtechpro.ru/shagomer-omron-hj-325-eb-walking-style-iv.html>.
2. Крокомір Zippy-9 KONUS [Електронний ресурс] – URL: https://med-magazin.ua/item_n13080.htm.
3. Крокомір OMRON Walking style One [Електронний ресурс] – <https://mcgrp.ru/manual/omron/walking-style-one-hj-152>.
4. Tunturi Deluxe [Електронний ресурс] – URL: <https://www.tradeinn.com/bikeinn/ru/tunturi-deluxe>.
5. Сучасні мікроконтролери [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://tech-geek.ru/choosing-microcontroller>.
6. Attiny2312 [Електронний ресурс]. – URL: <https://electronica.in.ua/ua/p1530390922-mikroshema-attiny2313a-dip20.html>.
7. MEMS-акселерометр[Електронний ресурс]. – URL: <https://arduino.ua/ru/cat37-kselerometrigiroskopi>.
8. Світлодіодні індикатори. Види та застосування [Електронний ресурс]. – URL: <http://electricalschool.info/electronica/2150-svetodiodnye-indikatory-vidy-i-primenenie.html>.
9. Дисплей [Електронний ресурс]. – URL: <https://foton.ua/faq/chto-takoe-svetodiodnyj-indikator.html>.
10. Кнопки управління та тумблери [Електронний ресурс]. – URL: <https://electrotorg.ua/knopki-upravleniya-i-tumblery>.
11. Блок живлення визначення [Електронний ресурс]. – URL: acums.ua/bespereboyniki-i-bloki-pitaniya/chto-eto-takoe-i-kakimi-oni-byvayut.
12. ATtiny2313 datasheet [Електронний ресурс]. – URL: <https://www.ebay.com/itm/334254433664>.
13. Datasheet ADXL345 [Електронний ресурс]. – URL: <https://www.mini-tech.com.ua/download/datasheet/sensors/ADXL345.pdf>.

					МММТ 480.016.016 – ПЗ	Арк.
						75
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

14. OLED-дисплей 096' [Електроний ресурс]. – URL: <https://kosmodrom.ua/ru/zhidko-kristallicheskaya-matrica-oled/oled-0-96-128x64-yellow-blue-gvss.html>.
15. Тактова кнопка TS7701-5.0-250 [Електроний ресурс]. – URL: <http://www.kosmodrom.com.ua/el.php?name=TS7701-5.0-250>.
16. Тактова кнопка TS7704-5.0-180-B [Електроний ресурс]. – URL: <http://www.kosmodrom.com.ua/el.php?name=TS7704-5.0-180-B>.
17. Світлодіод 0603 [Електроний ресурс]. – URL: <https://electronica.in.ua/g103542590-svetodiody-smd>.
18. Літій-полімерний (Li-Po) акумулятор 300 мАг 3.7 В [Електроний ресурс]. – URL: <https://evse.com.ua/ru/akkumulyator-402030-li-pol-37v-300mach-dlya-rc-modelej-gps-mp3-mp4>.
19. Мікросхема TP4056 [Електроний ресурс]. – URL: <https://electronica.in.ua/ua/p1530391879-modul-zaryada-tp4056.html>.
20. Основи надійності складних систем та систем автоматизації. Комп'ютерний практикум. Навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: А. О. Абрамова. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 61 с.
21. Охорона праці в галузі / П. С. Атаманчук, В. В. Мендерецький, О. П. Панчук, Р. М. Билык., 2019. – 322 с.
22. Основи охорони праці: підручник / В.І. Голінько; М-во освіти і науки України; Нац. гірн. ун-т. – 2-ге вид. – Д.: НГУ, 2014. – 271 с.
23. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи освітнього ступеня «бакалавр» для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «бакалавр» спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» Укладачі: Ю.О. Подчашинський, Л. О. Чепюк, Р.В. Петросян. – Житомир: ДУ «Житомирська політехніка», 2022. – 60 с.

					МММТ 480.016.016 – ПЗ	Арк.
						76
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		