

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр

Освітній рівень

Програмно-апаратна система асистенції утримання кута нахилу зброї відносно горизонту, для здійснення високоточної стрільби (електронний рівень)

Назва теми

КвРКІ.2001130.20.01.14 ПЗ

Шифр

Галузь знань 12 «Інформаційні технології»

Шифр, назва

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

Шифр, назва

Освітня програма « Комп'ютерна інженерія та програмування »

Назва

Виконав: студент III курсу, група K12c-20-1

В.С. Геріш  
Підпис

В.С. Геріш  
Ініціали, прізвище

Керівник

В.М. Стецюк  
Підпис, дата

В.М. Стецюк  
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер

С.М. Лисенко  
Підпис, дата

С.М. Лисенко  
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:  
Зав. кафедри комп'ютерної  
інженерії та інформаційних  
систем

Т.О. Говорущенко  
Підпис

Т.О. Говорущенко  
Ініціали, прізвище

« 5 » червня 2023 р.

# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Освітній рівень БАКАЛАВР

Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітня програма «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Т.О.Говорущенко

“ 11 ” 01 2023 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Геришу Володимир Сергійовичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Програмно-апаратна система асистенції утримання кута нахилу зброї відносно горизонту, для здійснення високоточної стрільби (електронний рівень)

Керівник проекту (роботи) Василь Миколайович Стецюк, старший викладач

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

Затверджена наказом ректора університету від 01.03.2023 р. № 5

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 01.06.2023 р.

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

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

Дослідження засобів горизонтальної стабілізації стрілецької зброї та постановка задачі розробки електронного рівня

Проектування електронного рівня

Програмно-апаратна реалізація електронного рівня

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



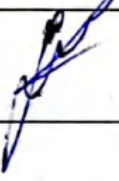
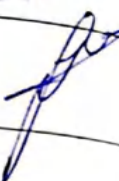
Алгоритм роботи

Схема електрична принципова

Схема електрична структурна

Схема електрична функціональна

6. Консультанти розділів дипломного проекту (роботи)

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

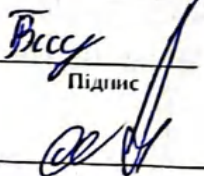
7. Дата видачі завдання « 01 » 03 2023 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітки
1	Вибір напряму дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи з керівником	20.02.2023	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.03.2023	виконано
3	Робота над розділом 1 – дослідження засобів горизонтальної стабілізації стрілецької зброї та постановка задачі розробки електронного рівня	10.03.2023	виконано
4	Робота над розділом 2 – проєктування електронного рівня	20.04.2023	виконано
5	Робота над розділом 3 – програмно-апаратна реалізація електронного рівня	30.04.2023	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	11.05.2023	виконано
7	Попередній захист ВКР	26.05.2023	виконано
8	Захист ВКР на засіданні ЕК	Червень 2023 року	

Студент

Керівник проекту (роботи)

  
Підпис

В. С. Геріш  
Ініціали, прізвище  
В.М. Стецюк

№ р я д к а	ф о р м а т	Позначення	Найменування	К і л · л и с т і в	№ ек з	П р и м і т к а
			Текстові документи			
1		КВРКІ.2001130.20.01.14 ПЗ	Пояснювальна записка	60		
			Графічні матеріали			
2		КВРКІ.2001130.20.01.14 Е8	Алгоритм роботи	1		
3		КВРКІ.2001130.20.01.14 Е1	Схема електрична структурна	1		
4		КВРКІ.2001130.20.01.14 Е2	Схема електрична функціональна	1		
		КВРКІ.2001130.20.01.14 Е3	Схема електрична принципова	1		

КВРКІ.2001130.20.01.14 ВП				
З м	Ар к	№ докум	Підпис	Дата
Розробив	Гериш			30.05
Перевір.	Стецюк			2.06
Н. контр.	Лисенко			
Затв.	Говорущенко			05.06
Відомість проекту				
		Літера	Аркуш	Аркушів
		У	1	1
ХНУ, КІ2с-20-1				

## АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Програмно-апаратна система асистенції утримання кута нахилу зброї відносно горизонту, для здійснення високоточної стрільби (електронний рівень)».

Автор роботи: Гериш Володимир Сергійович.

Керівник роботи: Стецюк Василь Миколайович.

Пояснювальна записка: 60 с., 27 рис., 2 табл., 5 дод., 42 джерел.

Графічна частина: 4 креслення.

ЕЛЕКТРОННИЙ РІВЕНЬ, МІКРОКОНТРОЛЕР STM32, СИСТЕМА АСИСТЕНЦІЇ, СНАЙПЕРСЬКА СТРІЛЬБА.

Метою роботи є розробка системи асистенції утримання кута нахилу зброї, відносно горизонту.

Об'єктом дослідження є програмно-технічний (апаратний) засіб на основі мікроконтролера STM32L051 та давача MPU-6050.

Предметом дослідження є формалізований опис та схеми системи асистенції утримання кута нахилу зброї, відносно горизонту.

Практичне значення має змодельована, спроектована та реалізована мікроконтролерна система асистенції утримання кута нахилу зброї, відносно горизонту.

Вас

Підпис студента

30.05

Дата

# ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСОБІВ ГОРИЗОНТАЛЬНОЇ СТАБІЛІЗАЦІЇ СТРІЛЕЦЬКОЇ ЗБРОЇ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ РОЗРОБКИ ЕЛЕКТРОННОГО РІВНЯ.....	6
1.1 Аналіз потреби застосування засобів горизонтальної стабілізації стрілецької зброї.....	6
1.2 Аналіз наявних рішень горизонтальної стабілізації стрілецької зброї.....	13
1.3 Постановка задачі розробки системи асистенції утримання кута нахилу зброї відносно горизонту.....	21
1.4 Висновки.....	22
2 ПРОЄКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОННОГО РІВНЯ.....	24
2.1 Обґрунтування вибору способу апаратної реалізації блоків пристрою.....	24
2.2 Обґрунтування вибору засобів програмної реалізації.....	32
2.3 Опис основних структурних блоків.....	34
2.4 Висновки.....	36
3 ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОННОГО РІВНЯ.....	38
3.1 Опис підбору електронних компонентів.....	38
3.2 Опис проектування схеми електричної функціональної.....	44
3.3 Аналіз схеми електричної принципової.....	45
3.4 Електричний розрахунок вузла принципової схеми.....	49
3.5 Розробка друкованої плати.....	53
3.6 Опис алгоритму роботи програмного забезпечення.....	56
3.7 Опис проектування 3D моделі корпусу електронного рівня.....	58
3.8 Інструкція для користувачів.....	60
3.9 Висновки.....	62
ВИСНОВКИ.....	63

КвРКІ. 2001130.20.01.14 ПЗ								
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	Програмно-апаратна система асистенції утримання кута нахилу зброї відносно горизонту, для здійснення високоточної стрільби (електронний рівень) Пояснювальна записка	Літера	Аркуш	Аркушів
Виконав		Герши В.С.	<i>В.С. Герши</i>	30.05				
Перевір.		Стецюк В.М.	<i>В.М. Стецюк</i>	2.06				60
І.контр.		Лисенко С.М.	<i>С.М. Лисенко</i>					
Затвер.		Говорущенко Т.О.	<i>Т.О. Говорущенко</i>	05.06			ХНУ, КІ2с-20-1	

Додаток А. Копія креслення «Алгоритм роботи».....	69
Додаток Б. Копія креслення «Схема електрична принципова».....	70
Додаток В. Копія креслення «Схема електрична функціональна».....	71
Додаток Г. Копія креслення «Схема електрична структурна».....	72
Додаток Д. Лістинг програмного забезпечення.....	73

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

## ВСТУП

В сучасному світі стрільба має ключове значення для виживання українців. Забезпечення високої точності в стрільбі є надважливою задачею. Зараз над нею працює маса спеціалістів різних профілів.

Зазвичай, коли мова заходить про стрільбу зі стрілецької зброї, великою кількістю балістичних принципів можна знехтувати, через невелику відстань до мішені. Проте у випадку зі снайперською стрільбою, кількість факторів, для успішного ураження цілі значно зростає.

У стрільбі на великі відстані з нарізної зброї існує необхідність позиціонування засобу стрільби в усіх трьох осях повороту. Крен засобу стрільби є неочевидною проблемою, з якою стикаються стрільці на великі відстані.

Вирішення цієї проблеми часто покладається на навички стрільця користування зброєю, що є дуже змінним та не надійним параметром, адже включає значний людський фактор.

Система асистенції утримання кута нахилу зброї відносно горизонту є важливим засобом підтримки високої точності стрільби на великі відстані.

Метою цієї дипломної роботи є розробка програмно-технічного засобу вимірювання кута відхилення від горизонту з миттєвим оповіщенням, яка забезпечуватиме горизонтальне положення засобу стрільби та сприятиме зменшенню похибки стрільби.

Для досягнення цієї мети необхідно визначити вимоги до системи та розробити відповідні програмні та апаратні рішення. Дипломна робота містить детальний аналіз існуючих рішень, опис проектування та розробки програмної та апаратної частини системи, проведення експериментів та аналіз отриманих результатів.

Результати дослідження будуть корисними для розробки високоточної програмно-апаратної системи асистенції утримання кута нахилу зброї відносно горизонту в майбутньому.

Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата

Задача дослідження полягає у розробці системи, яка буде визначати кут нахилу зброї відносно горизонту та автоматично коригувати його під час стрільби. Для цього необхідно використовувати сучасні технології, такі як електронні сенсори, мікроконтролери, програмне забезпечення для аналізу даних та коригування кута нахилу.

Ця тема є актуальною та важливою для багатьох сфер, включаючи військову та поліцейську діяльність, спорт та мисливство. У військовій сфері високоточна стрільба може мати вирішальне значення в бойових умовах, а у спорті та мисливстві це є ключовим фактором для досягнення успіху.

Дипломна робота міститиме опис теоретичної бази, на якій буде заснована система, розгляд принципів дії та архітектури системи, її програмного та апаратного забезпечення, методів тестування та експериментальних досліджень.

Для досягнення поставленої мети необхідно провести наступні завдання:

- 1) провести аналіз існуючих систем асистенції утримання кута нахилу зброї відносно горизонту та їхніх характеристик;
- 2) розробити математичну модель, яка буде визначати залежність кута нахилу від даних, отриманих від електронних сенсорів;
- 3) розробити апаратну частину системи, вибрати сенсори та мікроконтролери, забезпечити їхній зв'язок та інтеграцію з програмним забезпеченням;
- 4) розробити програмне забезпечення для обробки та аналізу даних з сенсорів, а також сповіщати користувача, для коригування кута нахилу;
- 5) провести експериментальні дослідження та тестування розробленої системи на зразках зброї та провести порівняльний аналіз з існуючими системами асистенції утримання кута нахилу зброї відносно горизонту.

Результати роботи можуть мати практичне значення для різних сфер застосування, насамперед — військової, а також: поліцейська сфери, мисливство, спортивна стрільба та інші. Окрім того, так як розробка такої системи може сприяти покращенню точності стрільби, це може певним чином покращити ефективність процесу зниження популяції деяких видів шкідників.

Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата

КВРКІ.2001130.20.01.14 ПЗ

Арк.

5

# 1 ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСОБІВ ГОРИЗОНТАЛЬНОЇ СТАБІЛІЗАЦІЇ СТРІЛЕЦЬКОЇ ЗБРОЇ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ РОЗРОБКИ ЕЛЕКТРОННОГО РІВНЯ

## 1.1 Аналіз потреби застосування засобів горизонтальної стабілізації стрілецької зброї

Воєнно-технічна наука про рух артилерійських і реактивних снарядів, куль, мін, авіабомб, ракет, гарпунів під час стрільби чи пуску це — балістика.

Вилетівши з каналу ствола під дією порохових газів, куля рухається за балістичною траєкторією. Отже: за інерцією і під час польоту в повітрі піддається дії двох сил: тяжіння і опору повітря. В результаті дії цих сил швидкість польоту кулі постійно зменшується, а її траєкторія нагадує за формою нерівномірно зігнуту криву лінію[6], що схематично зображено на рисунку 1.1.

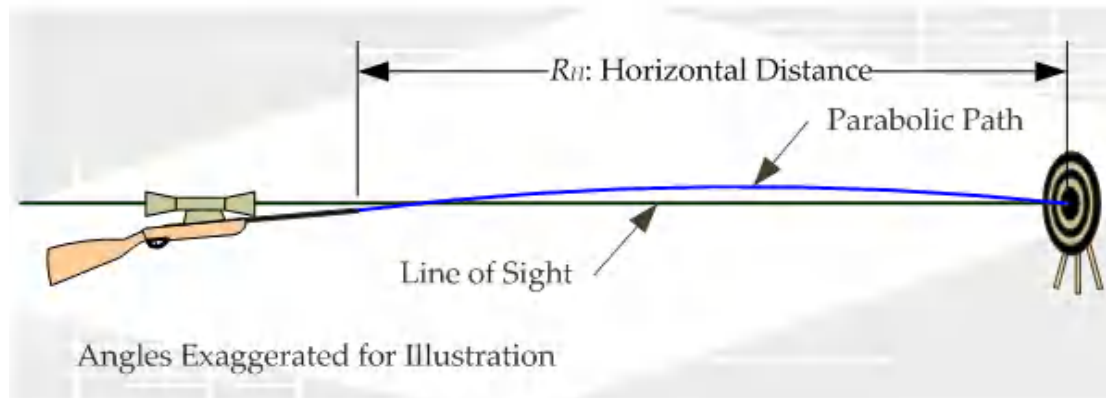


Рисунок 1.1 — Схематичне зображення траєкторії кулі

При веденні високоточної стрільби, необхідно враховувати немало зовнішніх чинників[27].

Найважливішими зовнішніми чинниками, що впливають на рух кулі, є:

- відстань до цілі;

- початкова швидкість;
- температура;
- атмосферний тиск;
- сила вітру та напрям;
- швидкість та напрям руху цілі;
- швидкість обертання Землі.

Щоб здійснити точний постріл, стрілку необхідно застосувати розрахунки, стосовно якомога більшої кількості вищезгаданих параметрів. Результатом цих розрахунків стануть вертикальні та горизонтальні поправки.

Поправки перераховуються у потрібну кутову величину та вводяться у налаштування прицілу. Різні приціли мають різні методи введення поправок. Найчастіше поправки розраховуються у одиницях вимірювання — тисячних.[27]

Кутові тисячні або міли використовуються як у військовій так і у спортивній стрільбі як одиниця вимірювання для одного кроку ручки налаштування області видимості, а також у прицільних сітках оптичних приладів, щоб дати можливість наближеного визначення дальності і точну корекцію пострілу.[25]

Для розуміння цієї одиниці ось кілька співвідношень з іншими величинами:

- 1 тисячна  $\approx 0,00016(6)$  кола;
- 1 тисячна  $\approx 0,001047$  радіана;
- 1 тисячна = 0,06 градуса = 3,6 кутової міноти;
- 1 коло = 6000 тисячних;
- 1 радіан  $\approx 954,92$  тисячних;
- 1 градус = 16,66(6) тисячних;
- 1 кутова секунда = 0,004629(629) тисячної;
- 1 кутова мінута = 0,277(7) тисячної.

Причиною вибору такої нестандартної одиниці вимірювання кутів була хороша адаптація її для розрахунку лінійних і кутових розмірів об'єкта на місцевості без необхідності виконувати складні розрахунки.

Формула для розрахунку дальності, з якої виводяться формули для розрахунку інших її елементів виглядає так:

$$D = \frac{S}{M}, \quad (1.1)$$

де,  $D$  – відстань до цілі;

$S$  – розмір цілі;

$M$  – вимірювання в тисячних.

Із цієї формули виводиться правило як пам'ятка: «об'єкт, з лінійним розміром в 1 метр, віддалений від спостерігача на 1 кілометр, буде видно під кутовою величиною в 1 тисячну».

Наприклад, прицільна сітка прицілу ПСО-1, розробленого для гвинтівки СВД містить шкалу бокових поправок з розширенням в одну тисячну та діапазоном  $\pm 10$  тисячних, що зображено на рисунку 1.2.

Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата



Рисунок 1.2 — Прицільна сітка ПСО-1

У цьому прицілі - вертикальна поправка вводиться за допомогою бокового маховичка, що зображений на рисунку 1.3. Його значення також пронумеровані у тисячних.

Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата



Рисунок 1.3 — Маховички на прицілі ПСО-1

З описаного способу введення поправок у напрям стрільби впливає перше джерело похибки, при не горизонтальному положенні зброї, відносно її повздовжньої осі(крені), під час ведення стрільби.

При заданні поправок, точка прицілювання зсувається від центру прицілу. Це означає, що з повертанням стрілецької зброї (разом з прицілом) відбувається повертання системи координат для усіх розрахунків. Це утворює різницю між бажаною точкою прицілювання та реальною.[24]

Нижче приведений розрахунок цієї різниці, для повернень на 15 градусів зброї, вертикальні поправці — 5 та горизонтальні поправці — 0. Демонстрація такого повороту зображена на рисунку 1.4.

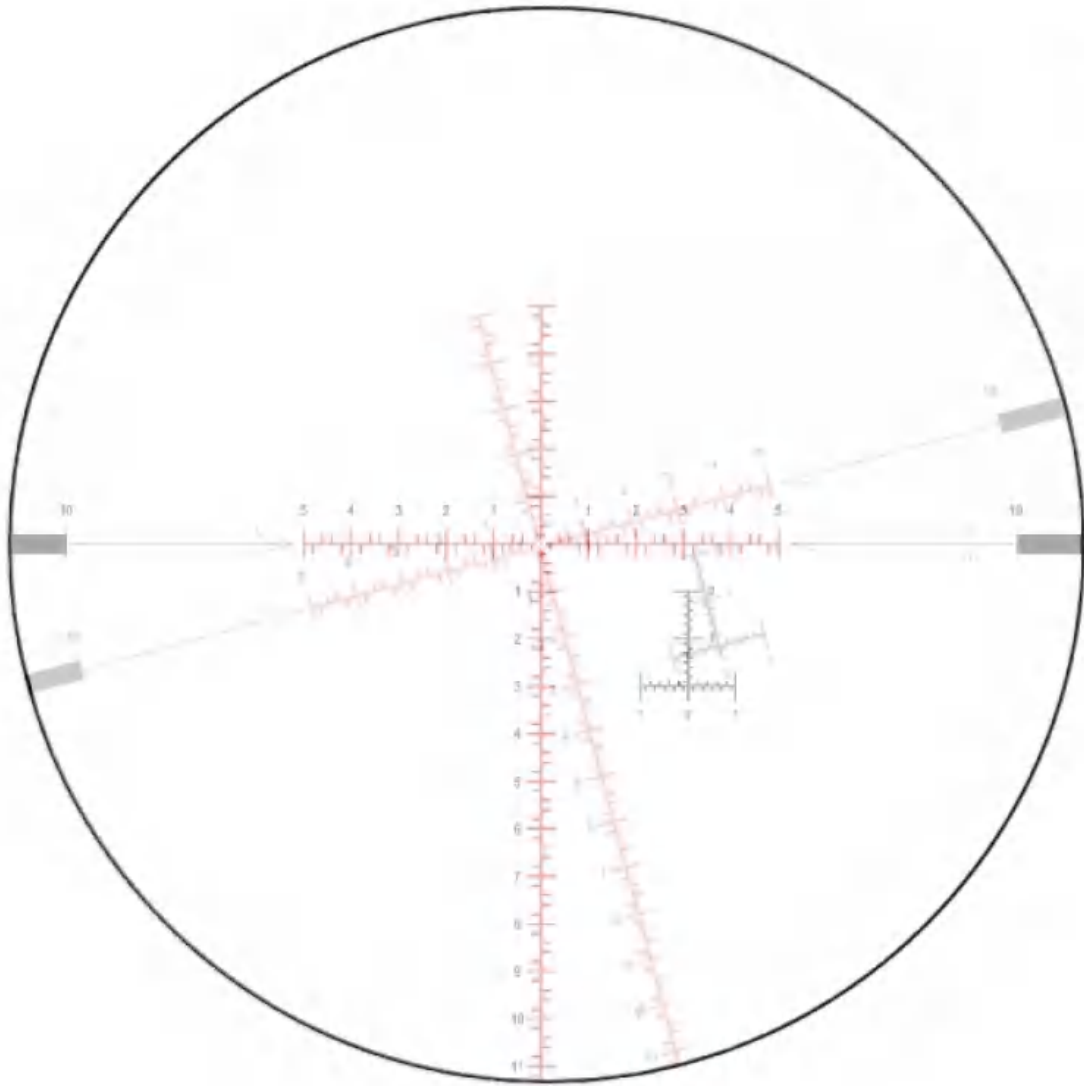


Рисунок 1.4 — Демонстрація повороту прицілу на 15 градусів вправо

Формули для розрахунку координат точки  $[x, y]$ , при повороті системи координат на кут  $\alpha$  мають вигляд:

$$\begin{aligned} x' &= x \cdot \cos(\alpha) - y \cdot \sin(\alpha) \\ y' &= x \cdot \sin(\alpha) + y \cdot \cos(\alpha) \end{aligned} \quad (1.2),$$

Отримана точка прицілювання —  $[0, 5]$ .

Горизонтальна похибка ( $\delta x$ ) буде рахуватися як  $|x - x'|$ .

$$\delta x = |x - (x \cdot \cos(\alpha) + y \cdot \sin(\alpha))| = |0 - (0 \cdot 0,9659 + 5 \cdot 0,2588)| = 1,294$$

Вертикальна похибка ( $\delta y$ ) буде рахуватися як  $|y - y'|$

$$\delta y = |y - (y \cdot \sin(\alpha) - x \cdot \cos(\alpha))| = |5 - (5 \cdot 0,2588 - 0 \cdot 0,9659)| = 0,1705$$

Користуючись формулою 1.1, отримаємо вертикальну та горизонтальну похибки при стрільбі на відстані 1000м та поворотом зброї на кут 15 градусів, горизонтальною поправкою — 0 та вертикальною поправкою — 5:

1,294м — вправо.

0,1705м- вниз

Це значна похибка, адже за силует людини прийнято вважати прямокутник зі сторонами 1.70м та 0.45м.

За тим ж принципом можна було б розрахувати і наступне джерело похибки, при крені зброї. Проблема в тому, що через неідеальність кожної окремо взятої одиниці зброї, виникає початкове кутове відхилення напрямку вісі ствола і напрямом польоту кулі. Параметрів, що впливають на це відхилення багато. З них варто зазначити[5]:

- неточності у виготовленні ствола;
- вплив глушника чи дульного гальма на розподіл тиску порохових газів, після виходу кулі зі ствола;
- вібрація ствола, при проведенні пострілу;
- підсакування зброї, під час проведення пострілу.

Результатом цих чинників стає абсолютно індивідуальне відхилення кожного зразка зброї. Існують способи боротьби з цими відхиленнями, як от гармонізація коливань ствола, коректування роботи компенсаторів, але завжди залишиться якась величина, що буде внесена в налаштування прицілу, як початкове відхилення. Цей процес називається пристрілка.[26]

Після вдалої пристрілки, статична похибка зброї перестає впливати на точність стрільби до того моменту, поки крен — дорівнює нулю. В протилежному випадку, відхилення зброї сумують з поправками, щодо зовнішніх умов. Тому впливають на похибку за тим ж принципом, що і розраховані вище.

Визначивши наявність серйозного впливу крену стрілецької зброї на точність ведення стрільби, ми однозначно вирішуємо, що для ведення стрільби на

великі відстані, стрільцю необхідно забезпечити стабільне значення крену зброї.

Причому, дві умови мають бути виконані:

- 1) цей рівень крену має чітко збігатись з горизонтальною віссю прицільної сітки на прицілі;
- 2) процес пристрелки, має проводитись саме на цьому рівні.

Чисельне значення можливої похибки утримання кута крену залежить від потрібної точності стрільби і швидко зменшується, при збільшенні дистанції проведення пострілу.

При веденні високоточної стрільби, значення допустимої похибки значно перевищує можливості середньостатистичного стрільця. Саме тому у таких випадках необхідно застосовувати засіб, для стабілізації нахилу зброї в повздовжній площині. Саме так і чинять, професійні стрільці. Тому на ринку існує деяка кількість засобів для вирішення цієї задачі.

## 1.2 Аналіз наявних рішень горизонтальної стабілізації стрілецької зброї

В сучасній снайперській стрільбі масово використовуються бульбашкові рівні, для стабілізації крену. Приклад представлено на рисунку 1.5.

Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата



Рисунок 1.5 - Приклад бульбашкового рівня

Під час використання бульбашкового рівня, він розміщується на поверхні, нахил якої необхідно виміряти. За допомогою водяної бульбашки, що рухається вздовж шкали, можна приблизно визначити нахил поверхні.

Такий прилад працює на основі принципу гравітаційного вирівнювання. Основні компоненти цього приладу включають корпус з рівнем рідини, зазвичай спирту або води, та шкалу.

Основний принцип роботи полягає в тому, що рівень рідини у пазури старається зайняти найнижче можливе положення через дію сили тяжіння. Коли рівень рідини досягає точного рівня, це означає, що прилад знаходиться в горизонтальному положенні.

Бульбашка починає рухатися вздовж корпусу, поки не досягне рівноваги, тобто коли буде знаходитися в центральному положенні шкали. На шкалі, розташованій на корпусі бульбашкового рівня, можна прочитати величину нахилу або кут нахилу поверхні. Зазвичай шкала має поділки, що відображають кути нахилу в градусах або відсотках.

Для досягнення більшої точності, бульбашкові рівні можуть мати додаткові підвищені точкові контакти або опори, які забезпечують стабільніше розміщення на поверхні та уникнення непотрібних коливань бульбашки. Таким чином, бульбашковий рівень дозволяє швидко та легко визначити нахил зброї та вирівняти її відносно горизонту[25].

Подібні пристрої набули високої популярності, через:

- низьку вартість;
- простоту використання;
- надійність;
- відсутність необхідності обслуговування.

Але, як і будь-яка технологія, розроблена довгий час назад, бульбашкові рівні можуть бути замінені сучаснішими аналогами. Сучасна електронна база дозволяє розробити пристрій, що покриває усі недоліки механічного бульбашкового рівня.

Найочевидніші недоліки бульбашкового рівня, що використовується як стабілізатор крену стрілецької зброї:

- необхідність постійного зорового контролю за бульбашкою;
- неможливість роботи у темну пору доби;
- погана можливість адаптації, для роботи в темний час доби;
- неможливість швидкого налаштування точності;
- обмежена максимальна точність, для надточних застосувань.

Враховуючи недоліки, та тенденцію модернізації, що свідчить про те, що будь-що, можна покращити за допомогою сучасних технологій, на просторах інтернету почали з'являтися пристрої електронних рівнів, для асистенції утримання крену стрілецької зброї[25].

Зовнішній вигляд одного з небагатьох знайдених пристроїв представлено на рисунку 1.6.



Рисунок 1.6 — Приклад реалізації електронного рівня

Вдалось знайти магазин, що торгує саме цими зразками приладів. Їх ціна там складає \$230. Переклад опису цього товару в магазині приведено нижче.

Long Range Arms змінили гру, коли розмова заходить про рівність при точній стрільбі. Якщо ви хочете підняти рівень своєї стрільби на великі відстані, електронний рівень "Send iT" - це ваш вибір, і ось кілька причин, чому:

- вам ніколи не потрібно відводити очі від прицілу. Зелений світлодіодний індикатор "Green" легко помітний в периферійному зоровому полі та набагато точніший, ніж механічні рівні;
- при монтажі на кріплення Picatinny, кожен рівень LRA Send iT калібрується на заводі по кількох осях за допомогою 12 точок. Ця калібрування проводиться для різних положень кріплення, з якими може стикатися стрілець. Заводське калібрування використовує 12 точок посилення в алгоритмі, щоб забезпечити точність, яку звичайний рівень просто не здатний забезпечити. Ми додали режим самокалібрування, який дозволяє вам встановити рівень відповідно до перехрестя. Цей режим може бути налаштований при перекиданні приладу між різними гвинтівками та установці у різні позиції монтажу. Рівень Send iT автоматично визначає

своє положення, подібно до того, як ваш смартфон визначає положення екрану під час обертання телефону;

- зелений світлодіодний індикатор рівня вказує, коли гвинтівка знаходиться в горизонтальному положенні і це відбувається у 3-5 разів швидше, ніж у механічних рівнів. Є 5 різних налаштувань чутливості, що дозволяє користувачу налаштувати його точність відповідно до завдання, яке виконується. Світлодіоди Send iT працюють краще за низьких освітлених умов і працюють зі пристроями нічного бачення та тепловізорами без втрати тактичних можливостей;
- перевірка рівня заряду батареї, режим сну та можливість відкриття відсіку батареї без використання інструментів гарантують, що ви ніколи не залишитеся без живлення. Рівень "Send iT" постачається з гвинтом з низьким профілем і шестигранним ключем 3/32", а також з прапорцевим гвинтом для без-інструментального встановлення та зняття. Сумісний з кріпленнями Picatinny та Weaver;
- для монтажу потрібний мінімальний простір висотою 0,3 дюйма між рейкою Picatinny та прицілом, та шириною - 0,83 дюйма;
- модульний дизайн сумісний з лівою або правою рукою;
- висока точність;
- швидше виявлення, ніж за допомогою бульбашкового рівня;
- легко бачити показник, знаходячись за прицілом;
- водонепроникний;
- виготовлено в США.

Судячи з опису, цей пристрій є гарним прикладом реалізації електронного рівня, який є темою цієї роботи. Його корпус виглядає надійно, спосіб індикації мімікрує під бульбашковий рівень та заявлена його висока адаптивність.

Також, було знайдено варіант реалізації електронного рівня, гібридного типу, від цього ж виробника (рисунок 1.7). Судячи з опису, така реалізація

Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата

дозволяє продовжити роботу, навіть у випадку несподіваної відмови електронної складової рівня.

Варто відзначити добротність виготовлення корпусу даного екземпляру. З його вигляду можна судити, що виробники серйозно підходили до захищеності виробу. Це зовсім не дивно, враховуючи умови його використання та форму саме цього екземпляру.

Горизонтальна установка світлодіодів індикації, робить їх індикацію інтуїтивно зрозумілою, для користувача, але має і негативний ефект на ергономічність приладу.

Через немалу ширину, у будь-якому місці установки, краї приладу завжди будуть виходити за обриси зброї. Ця особливість зробить невідворотним зачіплення та притискання електронного рівня, в процесі експлуатації. Саме це і є другою причиною такого добротного підходу до проектування корпусу. Він має витримувати немалі навантаження та удари, під час експлуатації саме цього приладу.

Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата



Рисунок 1.7 — Гібридний прилад стабілізації

Підсумовуючи, стосовно цього приладу, можна сказати, що це гарна реалізація, ідеї електричного рівня, проте її висока ціна та наявність гібридного варіанта, скоріше за все, говорить про малий попит. Звідси можна зробити висновок, що модель не зовсім вдала, та висловити гіпотезу - така реалізація має замало відмінностей від класичного бульбашкового рівня, щоб бути його гарним заміником.

В інтернеті є згадки і про інші реалізації електронних рівнів, як от представлений на рисунку 1.8. Хоча наявно кілька подібних фотографій, схоже, що цей прототип не дійшов до стадії товару. Тому інформації про нього мінімально. Відмітимо, що цей концепт використовує інший принцип, на відміну від попереднього.

Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата



Рисунок 1.8 — Концепт іншого стабілізатора

Замість мімікрування та повторювання функціоналу бульбашкового рівня, тут використовується одне з найважливіших переваг сучасної електроніки — мініатюрність.

З ракурсу погляду стрільця, при стрільбі, бачимо відсутність жодних виступаючих деталей. Цей підхід пропонує новий погляд на засоби стабілізації крену, тому шкода, що розробка, певно, не була доведена до кінця. Принаймні не було знайдено доказів протилежного.

Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата

### 1.3 Постановка задачі розробки системи асистенції утримання кута нахилу зброї відносно горизонту

Розглянувши причини необхідності систем асистенції утримання кута крену, при веденні стрільби високої точності та наявні рішення визначені вимоги до такого пристрою.

Спершу, аби виконувати поставлену задачу з пошуку кута нахилу, відносно горизонту, необхідно знайти електронний сенсор, з швидкістю оновлення даних не менше кількох герц. Менша частота зробить усі переваги над бульбашковим рівнем не важливими, адже ефективно користуватись таким приладом буде не можливо.

Роздільна здатність сенсору має бути достатньо високою, для забезпечення будь-якої необхідної точності.

Експериментально було визначено, що утримувати кут крену, розміром в 1 градус — важка задача, навіть для професійного стрільця. З цього робимо висновок, що точність сенсора має бути не менше 1 градусу.

Загальне споживання такого приладу, на сучасній елементній базі, буде справді низьке. Можна з впевненістю припустити, що споживання усієї схеми не буде перевищувати кількох міліампер. Це припущення допоможе вибрати елемент живлення та його тип.

Також необхідно враховувати, що особливості потенційного застосування приладу потребують максимальної передбачуваності елементу живлення, для виключення можливості розрядження у критично важливий момент.

З наявних підходів живлення, найпередбачуванішим можна вважати батарейне живлення.

Розробка алгоритму для аналізу та обробки даних, отриманих від сенсору нахилу буде враховувати необхідності у низькому енергоспоживанні. Простий алгоритм буде потребувати менше потужностей від процесору, що забезпечить низькі енерговитрати.

Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата

Інтерфейс користувача електронного рівня зобов'язаний бути інтуїтивно зрозумілий та простий. Адже застосовувати прилад необхідно буде в найрізноманітніших умовах.

В інтерфейс має бути закладена можливість працювати в умовах маскування. Інколи, пристрій може бути використаний в умовах, коли випромінювати будь-які демаскуючі сигнали — заборонено.

Сучасні системи нічного бачення можуть розрізнити навіть найслабкіше світло, на дуже великих відстанях. В перспективі. Щоб у жодному разі не наражати користувача на небезпеку, має бути розроблена можливість працювати

Необхідно буде розробити інтерфейс, який дозволить візуалізувати інформацію про кут нахилу зброї. Інтерфейс має однозначно і явно показувати відхилення від кута нахилу та загальний стан електронного рівня.

Для уникнення проблем, які спіткали аналоги приладу, що розробляється, є доцільним розробити механізм дублювання сповіщення про дані теперішнього крену стрілецької зброї.

Було обрано дублювати ці дані акустичним способом. Це дозволить розширити функціонал та методи застосування приладу.

Також необхідно розробити механізми або систему, яка допоможе стрільцеві коригувати заданий кут стабілізації, залежно від кріплення приладу до зброї, чи інших зовнішніх факторів.

Стосовно розробки корпусу, необхідно передбачити метод надійного кріплення приладу до зброї. Через різноманітні умови потенційного застосування приладу, корпус має надавати необхідний рівень протиударного захисту та захисту від вологи.

#### 1.4 Висновки

Було досліджено галузь стрільби на великі відстані, на тему причин і наслідків похибок стрільби. Особливу увагу було приділено похибкам, що виникають, внаслідок крену.

Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата

В результаті досліджень були знайдені причини та методи розрахунку числових значень кутових величин похибок, які виникають, при відхиленні від нульового кута повздожної вісі.

Причини похибок звучать так:

- відхилення реального крену від горизонтальної вісі прицільної сітки у прицілі;
- відхилення від кута , при якому проводився процес пристрілки конкретної зброї.

Проведено аналіз існуючи програмно-технічних засобів предметної області, в результаті якого визначено потребу у розробці сучасного засобу стабілізації крену стрілецької зброї.

Після аналізу уже розроблених аналогів, були визначені вимоги до приладу, що розробляється у цій роботі.

Вимоги звучать так:

- чутливість та швидкість спрацювання приладу має бути не менше 1 градусу та 5Гц, відповідно;
- батарейне живлення з максимально високою тривалістю роботи, на одному батарейному елементі живлення;
- компактний надійний зручний корпус, з волого- або водо- стійкістю;
- захищеність від помилок;
- можливість модифікувати пристрій, після аналізу зворотнього зв'язку від користувачів
- візуальна та звукова сигналізація відхилення від заданого кута.

## 2 ПРОЄКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОННОГО РІВНЯ

### 2.1 Обґрунтування вибору способу апаратної реалізації блоків пристрою

Для забезпечення виконання поставлених задач необхідно підібрати апаратні складові майбутньої системи. Основою пристрою для утримання заданого кута, відносно горизонту буде являтися давач, що дає змогу визначати кут нахилу у просторі, хоча б у однієї вісі. Такий вид давачів називається акселерометрами.

Акселерометр - це електронний пристрій, який використовується для вимірювання прискорення об'єкта. Він детектує зміни прискорення в трьох взаємно перпендикулярних осях і генерує відповідні електричні сигнали.

Акселерометри широко використовуються в різних пристроях і системах, включаючи мобільні телефони, планшети, навігаційні системи, рухові контролери для відеоігор, медичні пристрої та багато інших.

Акселерометри можуть бути реалізовані за допомогою різних технологій, таких як п'єзоелектричні, мікроелектромеханічні (MEMS) та інші.

Найпоширеніші акселерометри на сьогоднішній день - це MEMS-акселерометри, оскільки вони мають малу розмірність, низьку вартість виробництва і споживання енергії, а також хорошу чутливість і точність вимірювання[35].

Акселерометри дозволяють визначати орієнтацію об'єкта у просторі, визначати його переміщення, вимірювати сили, що діють на об'єкт, а також використовуються для виявлення вібрацій, відтворення кроків у фітнес-трекерах та багатьох інших застосуваннях.

Наглядна симуляції виду однієї вісі такого акселерометра зображена на рисунку 2.1.

Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата

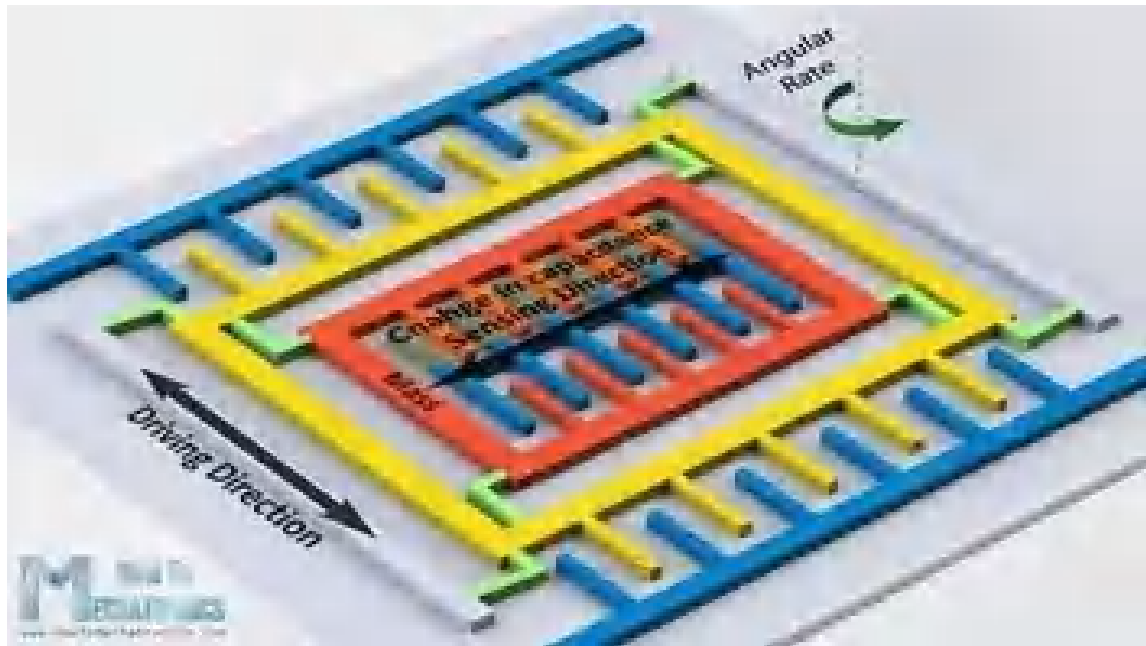


Рисунок 2.1 — Симуляція вигляду MEMS акселерометра

Проте використання самих лише акселерометрів призводить до значних неточностей, у випадку впливу будь-яких прискорень на давач. Таке відбувається при вібрації, зміні положення, чи кута нахилу. Подібний вплив гарантований, в умовах, в яких планується використання приладу, що розробляється.

Для компенсації чутливості акселерометрів до бічних пришвидшень у засобах визначення кута нахилу в просторі використовують інший тип давачів — гіроскопи.

MEMS гіроскоп (Microelectromechanical Systems гіроскоп) є електронним пристроєм, який вимірює кутову швидкість обертання об'єкта. Він базується на MEMS-технології, яка поєднує мікроелектроніку та мікроелектромеханіку. Головною частиною MEMS гіроскопа є мікроелектромеханічна структура (MEMS-сенсор), яка здатна виявляти кутові рухи[31].

MEMS гіроскопи використовують принцип інерції для вимірювання зміни кутової швидкості. Коли об'єкт з гіроскопом обертається, маса в MEMS-сенсорі схильна зміщуватися відносно своєї початкової позиції. Цей зсув вимірюється електронними сенсорами, що розташовані всередині гіроскопа. За допомогою таких даних, гіроскоп може визначити швидкість та напрямок обертання об'єкта.

MEMS гіроскопи мають ряд переваг, таких як малі розміри, низька вартість виробництва, низька споживання енергії та висока стабільність. Вони широко використовуються в різних пристроях і системах, включаючи мобільні пристрої, навігаційні системи, автомобільні стабілізаційні системи, віртуальну реальність, робототехніку та багато інших. Наглядна симуляції виду однієї вісі такого гіроскопу зображена на рисунку 2.2.

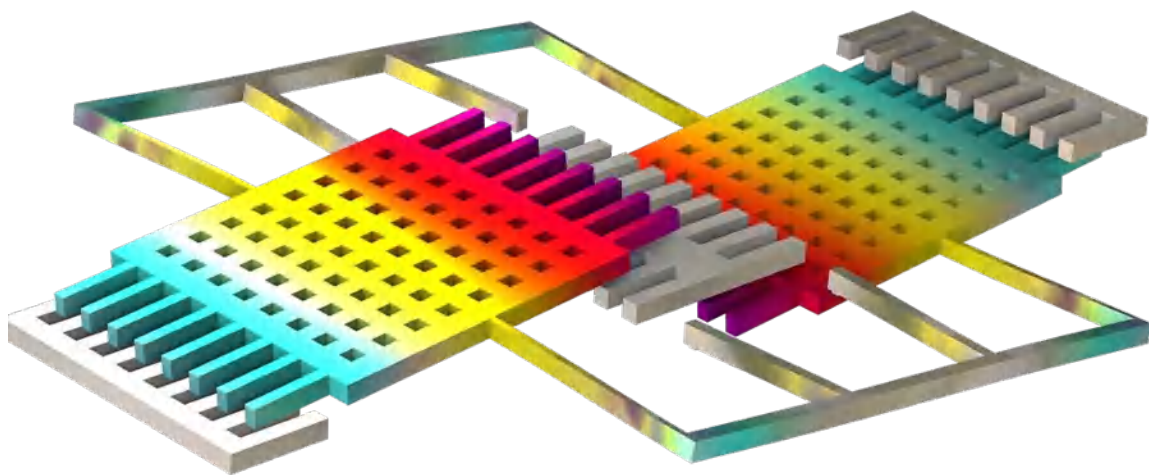


Рисунок 2.2 — Симуляція вигляду MEMS гіроскопу

Математично з'єднавши покази обох датчиків в сумі можна отримати достатньо точні значення нахилів приладу, відносно гравітаційного прискорення.

Підсумовуючи вищесказане, робимо висновок, що необхідно використати сучасні MEMS датчі акселерометр та гіроскоп, для отримання даних про нахил приладу[32].

Для обробки вхідних даних та реалізації інтерфейсу користувача приладу, що розробляється, необхідно підібрати процесор. Сучасні лінійки мікроконтролерів пропонують доволі широкий вибір цих компонентів. Щоб

звужити поле пошуку, визначимо основні вимоги до мікроконтролера у приладі, що розробляється. Ними є:

- низьке енергоспоживання;
- невелика ціна;
- підтримка інтерфейсу I2C;
- компактний корпус;
- кількість пам'яті та розрахункова потужність, для розрахунку неважких операцій, з дробовими числами.

Найяскравішими виробниками мікроконтролерів загального призначення, на сучасному ринку є два сімейства: AVR та STM. Сімейство STM має підсімейства STM32 та STM8. З AVR варто виділити мікроконтролери ATiny і ATmega. Коли мова йде про математичні розрахунки, найпростіші сімейства (STM8 та Atiny) не зовсім підходять, через простоту їх процесора. Тому основні кандидати підсімейств мікроконтролерів, для вибору є: STM32 та ATmega.

STM32 та ATmega є двома різними сімействами мікроконтролерів, виробленими різними компаніями (STM32 від STMicroelectronics, а ATmega від Microchip). Кожен з них має свої переваги і особливості, і вибір між ними залежить від конкретних потреб проекту.

Ось деякі аспекти, в яких STM32 може мати переваги над ATmega:

- 1) архітектура та продуктивність: STM32 використовує 32-бітну архітектуру ARM Cortex-M, що забезпечує вищу продуктивність порівняно з 8-бітними мікроконтролерами ATmega. STM32 може мати більш високу тактову частоту, більше пам'яті та більш широкий набір функціональності;
- 2) функціональні можливості: STM32 пропонує багато різноманітних моделей з різними периферійними пристроями, такими як USB, Ethernet, CAN, DMA, та інші. Він також підтримує різні інтерфейси, такі як I2C, SPI, UART, та може мати вбудовані пристрої, які полегшують роботу зі звуком, зображенням, сенсорами тощо;

- 3) розширені можливості розробки: STM32 надає широкий набір інструментів для розробки, включаючи безкоштовну інтегровану середу розробки (IDE) - STM32CubeIDE, а також підтримку відкритих платформ, таких як Arduino та mbed. Це полегшує процес програмування та розробки для мікроконтролерів STM32;
- 4) широкий вибір моделей: STM32 пропонує широкий вибір моделей з різними характеристиками та ціновими категоріями, що дозволяє знайти оптимальний варіант для конкретного застосування.

Враховуючи ці аргументи, вибір пав на сімейство STM32. Його виробники якраз пропонують цілу лінійку 32-бітних мікроконтролерів з наднизьким споживанням, якраз для застосування у приладах, з батарейним живленням. [14]

Для реалізації електронного рівня необхідно обрати ще тип інтерфейсу введення. Було вирішено, що органи керування приладом будуть складатись всього лише з однієї кнопки. Найпростішим методом реалізації кнопки буде звичайна механічна тактильна кнопка.

Проте сучасна елементна база дозволяє переосмислити звичні методи реалізації апаратних вузлів. Було прийняте рішення встановлення модуля сенсорної кнопки.

Ось деякі переваги сенсорних кнопок порівняно з механічними:

- 1) безшумність: сенсорні кнопки не мають фізичного контакту, тому немає шуму, пов'язаного з натисканням кнопки. Це особливо корисно в різних ситуаціях, де потрібно підтримувати тишу, наприклад, під час використання пристроїв у громадських місцях або пізно ввечері вдома;
- 2) більша надійність: механічні кнопки можуть зноситись з часом через фізичний знос контактів або відсутність повного контакту. Сенсорні кнопки, які використовують технологію, таку як ємнісний сенсор або оптичне визначення дотику, можуть мати довший термін служби, оскільки вони не мають рухомих частин;
- 3) легке очищення: механічні кнопки можуть стати заплямованими або забрудненими, що може впливати на їхню роботу. Сенсорні кнопки

зазвичай складаються з гладкої поверхні, яку легко очистити від слідів пальців або інших забруднень;

- 4) більше можливостей дизайну: сенсорні кнопки дозволяють більше гнучкості в дизайні, оскільки вони можуть бути вбудовані без фізичних прорізів або виступів. Це дозволяє виробникам створювати більш стильні та компактні пристрої;
- 5) більші можливості функціональності: сенсорні кнопки можуть мати різноманітні функції залежно від контексту та використовуваного пристрою. Наприклад, одна кнопка може виконувати різні дії в залежності від тривалості натискання або шаблону дотику, що дозволяє реалізувати більше можливостей управління.

Варто зазначити ще одну важливу перевагу використання сенсорної кнопки, перед механічної, саме у пристрої, що розробляється. Мініатюрні механічні кнопки ніколи не мають захисту від вологи, та води. Сенсорні ж кнопки здатні працювати через тонкі поверхні, товщиною 2-3 міліметрів. Це дозволить розробити корпус, повністю непроникний для води. Кнопка ж буде знаходитись всередині оболонки, що ніяк не буде перешкоджати простоті форми майбутньої розробки.

Раніше уже було визначено тип живлення для електронного рівня, а саме — батарейне. З розрахунку на бажання мініатюризації усього приладу, вимоги до елемента живлення будуть:

- 1) низькі габаритні розміри;
- 2) популярність, для спрощення покупки запасних елементів;
- 3) вихідна напруга, що вміщається у діапазон роботи інших компонентів.

Зважаючи на це, необхідно вибрати тип та типорозмір хімічного елемента живлення, що буде використаний. Існує кілька типів хімічних батарейок, кожен з яких має свої особливості і характеристики. Ось порівняльна характеристика деяких типів батарейок:

- 1) сухі елементи (цинково-вугільні) батарейки:
  - найпоширеніший тип батарейок;

Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата

- доступні та недорогі;
- низька енергетична ємність;
- не рекомендується використовувати в електроніці з високим струмом споживання, оскільки вони можуть швидко розрядитися;

## 2) алкалінові (лужні) батарейки:

- мають більшу енергетичну ємність, ніж сухі елементи;
- довше зберігають енергію, навіть при невикористанні;
- підходять для використання в електроніці з помірним струмом споживання, таких як пульт дистанційного керування, годинники тощо;
- мають високий струм виходу;
- видають стабільний струм, що робить їх популярними для використання в багатьох електронних пристроях;

## 3) літієві батареї:

- мають найвищу енергетичну ємність серед усіх типів батарейок;
- зберігають енергію навіть після тривалого невикористання;
- застосовуються в сучасних мобільних телефонах, ноутбуках, автомобілях тощо.

Отже, найцікавішим варіантом для вирішення цієї задачі здається літієві батарейки. Літієві батареї мають високі енергетичні характеристики із розширеним діапазоном експлуатаційних можливостей.

Існує цілий ряд літієвих батарей великої місткості (десятки і сотні ампер-годин) спеціального призначення. До сімейства «літієвих батарей» відносяться багато батарей з різними типами катодів і електролітів. Постійний пошук матеріалів електродів і складу електроліту для літієвих батарей призводить до створення батарей з різною хімічною структурою: літій-тіонілхлоридних ( $\text{LiSOCl}_2$ ), літій-п'ятиокис ванадію ( $\text{LiV}_2\text{O}_5$ ), літій-двоокис сірки ( $\text{LiSO}_2$ ), літій-трьохокис молібдену ( $\text{LiMoO}_3$ ), літій-фторид міді ( $\text{LiCuF}_2$ ), літій-хромат срібла ( $\text{LiAg}_2\text{CrO}_4$ ), літій-сульфід міді ( $\text{LiCuS}$ ).

Найбільш поширеним типом літієвої батареї, яка широко використовуються в побутових приладах є батарея, в якій як анод використано металевий літій, а

Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата

діоксид марганцю — як катод, з розчиною в органічному розчиннику сіллю літію, що зображено на рисунку 2.3. Тип літєвих батарей на основі літїй/оксидів марганцю ( $\text{Li/MnO}_2$  і  $\text{Li/Mn}_2\text{O}_4$ ) найбільше вивчений і технологічно відпрацьований. Їх місткість нижча, ніж у матеріалів на основі кобальту, але вони дешевші й не вимагають такого складного контролера для керування процесами заряд-розряд.

Висока реактивність літію, вплив вологості повітря на стан електродів і електроліту визначають підвищену складність при виготовленні батарей, необхідність проведення технологічних операцій у герметичних блоках в атмосфері аргону і сухих приміщеннях. Підвищені вимоги висуваються до герметизації літєвих батарей, — оскільки повинна бути виключена можливість витікання електроліту чи потрапляння всередину повітря і парів води, з метою запобігання виникнення небезпеки пожежі або вибуху батареї. Герметизація літєвих батарей, можлива внаслідок використання хімічних систем, що не виділяють гази в процесі розряду. Дуже суттєвою перевагою літєвих батарей є їх здатність до тривалого зберігання в стані готовності до роботи. А у поєднанні з дуже малими швидкостями реакцій саморозряду існує можливість зберігати літєві батареї в стані готовності до роботи протягом 5-10 років без необхідності створення спеціальних умов зберігання.

Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата

КВРКІ.2001130.20.01.14 ПЗ

Арк.  
31

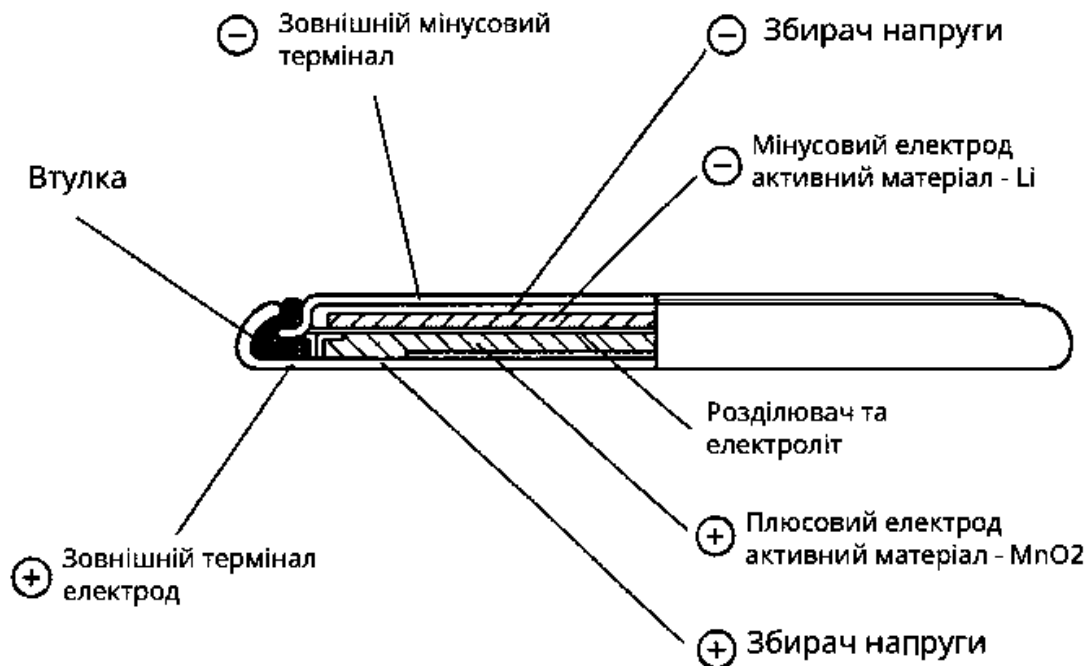


Рисунок 2.3 - Будова літєвої батарейки

## 2.2 Обґрунтування вибору засобів програмної реалізації

Для програмування сімейства мікроконтролерів STM32, що були обрані для реалізації електронного рівня, існує кілька популярних середовищ розробки, які надають зручний інтерфейс та набір інструментів для роботи з цими пристроями. Ось кілька з них:

- 1) STM32CubeIDE є офіційним інтегрованим середовищем розробки від STMicroelectronics. Воно базується на Eclipse і надає зручну робочу область для програмування, налагодження та управління проектами STM32. Воно має інтуїтивний інтерфейс, підтримує автоматичне завантаження програмного коду на мікроконтролер і надає доступ до різноманітних бібліотек та прикладів;
- 2) Keil MDK (Microcontroller Development Kit) є популярним комерційним середовищем розробки, яке підтримує STM32. Воно надає повний спектр інструментів для програмування, налагодження та тестування мікроконтролерів STM32. MDK має дружній інтерфейс, підтримує різні

мови програмування (C, C++, Assembly) і має потужні засоби для оптимізації коду та відладки;

3) PlatformIO є відкритим середовищем розробки, яке підтримує STM32, також інші мікроконтролери. Воно пропонує зручний інтерфейс, має широкий набір бібліотек та вбудованих інструментів для розробки, збирання та налагодження програм для STM32. PlatformIO також інтегрується з популярними IDE, такими як Visual Studio Code і Atom;

4) TrueSTUDIO від STMicroelectronics є безкоштовним середовищем розробки, яке базується на Eclipse і спеціально розроблене для STM32. Воно надає інтуїтивний інтерфейс, широкий набір функцій.

На початку розробки, під мікроконтролери STM32 у мене, як розробника виникло запитання, яке середовище розробки обрати. Після огляду зазначених варіантів, було обране середовище PlatformIO.

PlatformIO має інноваційний підхід до розробки програмного забезпечення. Використовуючи, пакунки інструментів(platgorms), в єдиному середовищі можна писати під кардинально різні процесори, та набори базових бібліотек. І, що не менш важливо, PlatformIO є українським проектом, що однозначно зазначається на їхніх ресурсах. На їх офіційному сайті, розміщений банер, з інформацією, як допомогти Україні у цей час, що зображено на рисунку 2.4. [2]

Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата

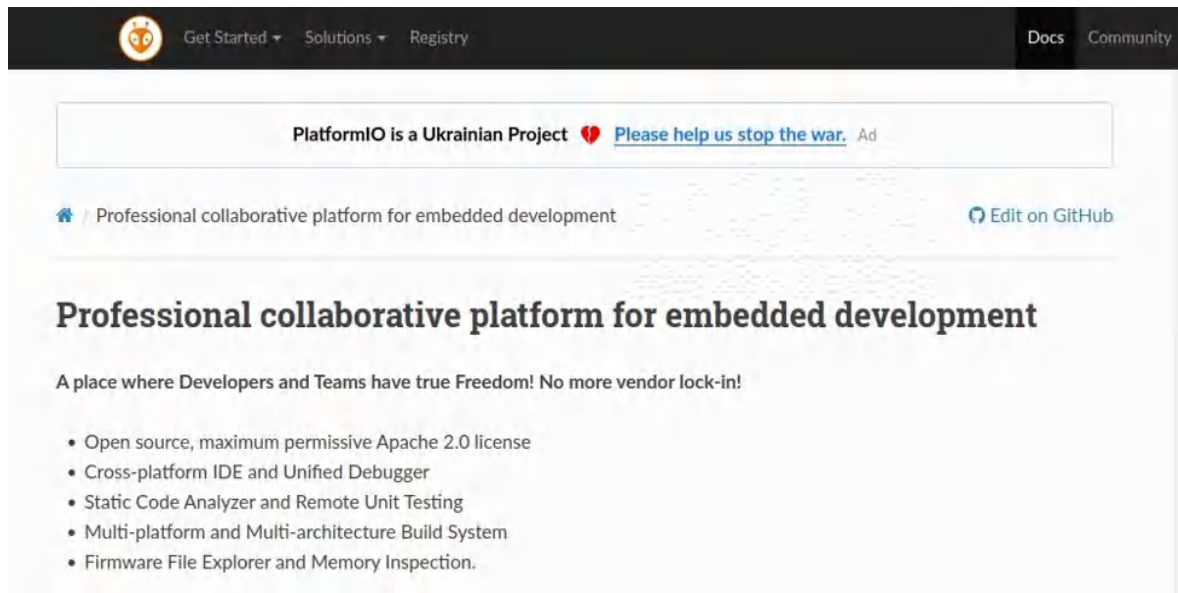


Рисунок 2.4 — Скріншот офіційного сайту проекту PlatformIO

На цій ж сторінці зазначені переваги проекту PlatformIO, перед конкурентами.

Переваги PlatformIO:

- відкритий вихідний код, максимально дозволена ліцензія Apache 2.0;
- інтегроване середовище розробки та єдина система відлагодження для кросплатформених застосунків;
- статичний аналізатор коду та віддалене модульне тестування;
- багатоплатформна та багатоархітектурна система збірки;
- провідник файлів прошивки та інспекція пам'яті;

### 2.3 Опис основних структурних блоків

Це схема, яка визначає основні структурні частини виробу, їх взаємозв'язки та призначення. Під структурною частиною розуміють складову частину будь-якої схеми: елемент, пристрій, функціональну ланку, функціональну групу. Структурна схема служить для відображення загальної будови пристрою, та його основних блоків, вузлів, деталей і основних зв'язків між ними.

Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата

Структурна схема наведена в додатку Г та на рисунку 2.5.



Рисунок 2.5 — Електрична структурна схема

Вибір вузлів, що входять до складу блок-схеми, здійснено на основі сучасних, ефективних та сучасних мікроелектронних компонентів з урахуванням завдань, які були поставлені перед системою, розробленою в технічному завданні.

Розглянемо основні складові схеми електричної структурної:

- елемент живлення: батарейка, що забезпечує достатню напругу для функціонування усіх блоків, що потребують живлення;
- блок захисту від неправильної полярності: пристрій, що забезпечує штатне функціонування схеми, при неправильній установці елемента живлення. Так як користувач має можливість самостійно замінювати елемент живлення, це створює вірогідність неправильної установки. Це призведе до подачі напруги зі зворотною полярністю, що зможе нашкодити усім високочутливим компонентам схеми. При подачі живлення зі зворотною полярністю цей блок має або заблокувати подальше проходження струму, або провести зміну полярності, перед пропусканням струму далі;

- мікроконтролер: блок, що займається перерахунком даних вхідних датчиків у кут крену. Також він займається індикацією похибки від заданого значення крену та обробкою вхідних сигналів користувача;
- акселерометри: датчики лінійного прискорення у трьох перпендикулярних площинах;
- гіроскопи: датчики кутового прискорення у трьох перпендикулярних площинах;
- пристрій керування: інструмент, що дозволяє користувачу керувати повним набором функцій електронного рівня;
- блок світлової індикації: червоний та зелений світлодіоди, що сигналізує відхилення від заданого нульового крену. Також індикатори слугують для виведення користувацького інтерфейсу;
- динамік: слугує для дублювання світлової індикації.

## 2.4 Висновки

Відповідно до завдання на кваліфікаційну роботу необхідно розробити пристрій електронного рівня.

Для цього потрібно розробити систему, яка буде зчитувати інформацію з датчиків нахилу. Система управління буде базуватися на мікроконтролері STM32. В якості датчиків було вирішено використовувати зв'язку акселерометр та гіроскоп. Працюючи разом, ці датчики можуть забезпечити надійний та захищений від вібраційних шумів кут нахилу приладу, відносно центра мас Землі.

Щоб електронний рівень працював коректно, необхідно розробити алгоритм фільтрування значень з датчиків. Було вирішено використовувати середовище розробки PlatformIO. Це середовище розробки містить усі необхідні інструменти для розробки, відлагодження і тестування під сімейство мікроконтролерів STM32.

Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата

В якості джерела живлення були вибрані батарейки. Поведінку пристрою з батарейним живленням можна вважати стабільнішою і передбачуванішою, ніж пристрою на акумуляторному живленні та з системою зарядки.

Проаналізувавши необхідну напругу живлення, серед різних конфігурацій батарейного живлення, був вибрана конфігурація з лише одним елементом живлення батарейного типу. Хімія елемента живлення — літієва.

Проаналізувавши основні вузли блок-схеми, можна зробити висновок, що всі вузли схеми необхідні для цього пристрою для коректного виконання запланованих завдань.

Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата

## 3 ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОННОГО РІВНЯ

### 3.1 Опис підбору електронних компонентів

Аналізуючи ринок доступних компонентів, легко натрапити на високо-інтегровний MEMS давач MPU6050, що містить:

- 3 MEMS акселерометра зі змінною чутливістю та 16-бітним АЦП;
- 3 MEMS гіроскопа зі змінною чутливістю та 16-бітним АЦП;
- вбудований DMP процесор, для можливості обробки даних з датчиків у самому чипі;
- FIFO буфер, для буферизації отриманих даних;
- цифрові шини SPI та I2C.

Значної популярності набули модулі, з цими давачами та необхідною периферією на борту. Вигляд такого модуля наведений на рисунку 3.1.

Враховуючи необхідність швидкої збірки майбутніх приладів, є сенс розглянути варіант використовувати готові модулі прямо на платі. Модулі, такі як показані на рисунку 3.1, мають стандартну схемотехніку та, що найважливіше, однакове розташування вихідних контактів. Це дозволить бути впевненим, що навіть модулі від різних виробників, підійдуть для використання.

Схемотехніка таких модулів завжди включає лінійний регулятор. Цей елемент дозволяє живити модуль напругою куди вище за максимальну допустиму напругу живлення MPU-6050. Вибрана хімія елемента живлення має діапазон робочих напруг, який уміщається у діапазоні напруг живлення MPU-6050. З цього можна зробити висновок, що для використання у приладі, цей модуль необхідно буде трохи модифікувати. Живлення на MPU-6050 повинне бути подане в обхід лінійного стабілізатора, аби забезпечити надійну роботу усієї системи. Також було прийняте рішення демонтовувати світлодіодні індикатори, що часто паяються на модулі. Це необхідно робити, для значного зниження витрат енергії

Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата

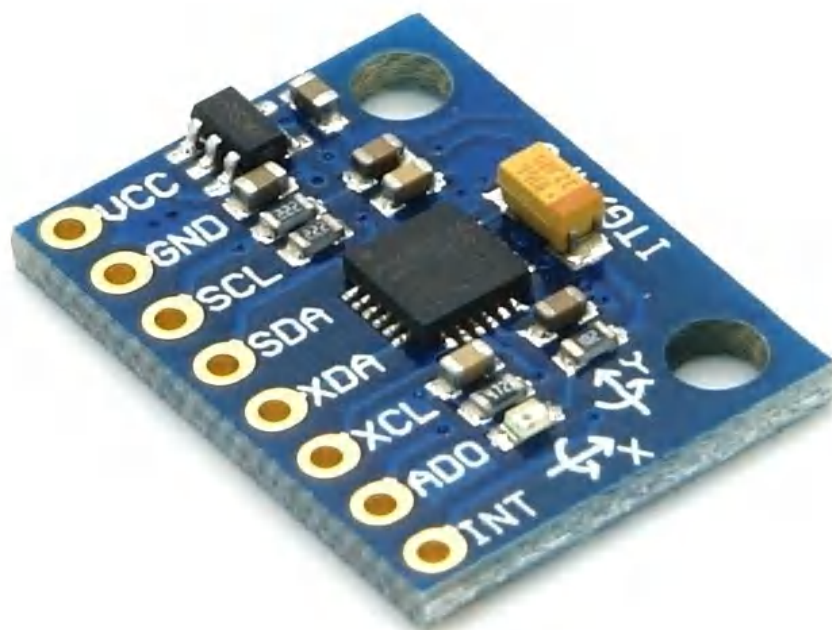


Рисунок 3.1 — Модуль GY-521

ння з

давачем. Саме цей модуль було вибрано використовувати, для розробки електронного рівня.

Серія L мікроконтролерів STM32 - це сімейство високоефективних 32-бітних мікроконтролерів, розроблених компанією STMicroelectronics. Вона включає в себе різні підсімейства, такі як STM32L0, STM32L1, STM32L4 і STM32L5, кожне з яких має свої особливості і характеристики.

Основна особливість серії L полягає в низькому споживанні енергії, що дозволяє їм працювати у пристроях з батарейним живленням. Вони спеціально розроблені для застосувань, де довгий термін роботи від батарей або джерел енергії з обмеженими ресурсами є критичним.

Одне з підсімейств - STM32L0 є найбільш енергоефективним серед усіх серій L. Він використовує низьковольтний 32-бітний ядро ARM Cortex-M0+ і має велику кількість периферійних пристроїв, таких як таймери, аналого-цифрові перетворювачі, компаратори та інтерфейси зв'язку.

Серія STM32L1 використовує 32-бітне ядро ARM Cortex-M3 і надає більшу продуктивність та можливості, включаючи підтримку високошвидкісних USB-пристроїв і бездротових комунікаційних протоколів, таких як Bluetooth і Zigbee.

STM32L4 використовує 32-бітне ядро ARM Cortex-M4F і має ще більше функціональних можливостей, таких як плаваючий розряд, криптографічні обчислення, швидкісний Ethernet і кольорові TFT-дисплеї. Цей мікроконтролер також підтримує розширені можливості з енергозбереження, які дозволяють пристроям використовувати енергію ефективно.

Найновіша серія STM32L5 використовує 32-бітне ядро ARM Cortex-M33F з вбудованим обробником безпеки ARM TrustZone. Вона надає надійність і безпеку для додатків, які обробляють конфіденційну інформацію. STM32L5 також підтримує бездротові комунікаційні протоколи, такі як LoRa і NB-IoT, що робить його ідеальним вибором для Інтернету речей (IoT) і застосувань зі зниженими вимогами до споживання енергії.

Усі мікроконтролери серії L STM32 мають різні варіанти пам'яті, периферійних пристроїв і інтерфейсів, що дозволяє розробникам вибрати найбільш пасуючий контролер для своїх проектів. Вони також підтримують широкий спектр інструментів розробки, таких як середовище розробки STM32Cube і набір SDK, які полегшують процес розробки і програмування.

Загалом, серія L мікроконтролерів STM32 є потужними і енергоефективними рішеннями для широкого спектру застосувань, включаючи IoT-пристрої, портативні пристрої, медичні пристрої, автоматику будівель та багато інших.

З наявного на ринку України був вибраний мікроконтролер STM32L011F4U6. Дана модель повністю задовольняє усі пред'явлені вимоги. Цей кристал пакується у дуже зручне та компактне пакування UFQFPN20, розміри якого зображені на рисунку 2.4. Розміри цього корпусу конкурують BGA мікросхемами, але на відміну від них можуть бути запаяні звичним паяльним обладнанням.

Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата

КВРКІ.2001130.20.01.14 ПЗ

Арк.

40

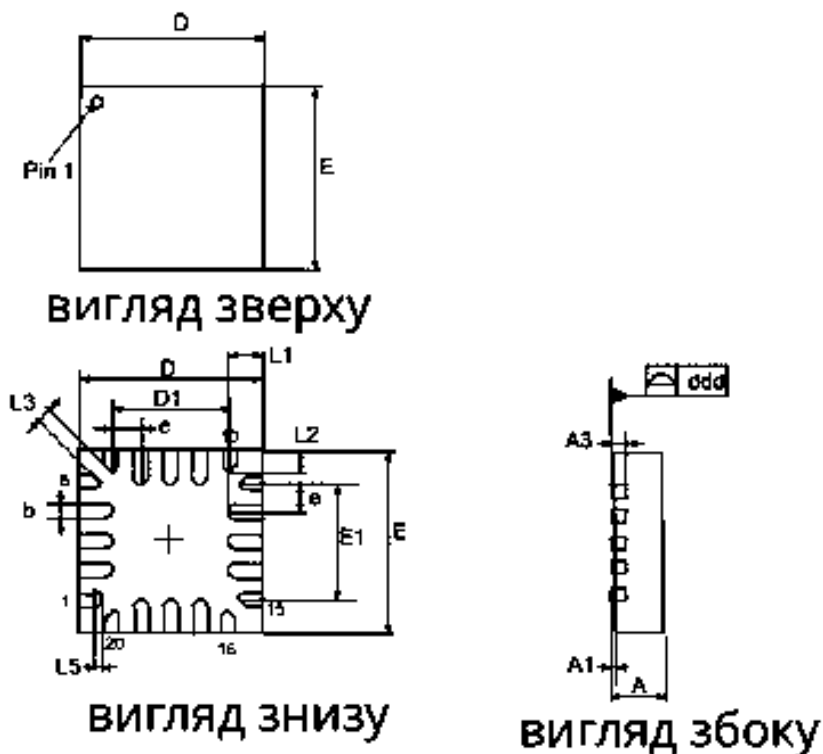


Рисунок 3.2 — UFQFPN20 корпус

Вихідна напруга літєвих батарейок — діапазон від 3.1В до 2В. У всьому цьому діапазоні вибраний раніше мікроконтролер добре функціонує. Найпопулярніша малогабаритна літєва батарея це CR2032. Такі елементи живлення можна знайти в багатьох побутових приладах, що означає легку доступність запасних елементів живлення. Зовнішній вигляд типорозміру CR2032 зображено на рисунку 3.3.

CR2032 - це тип стандартної круглої літєвої батареї, яка використовується в різних електронних пристроях. Вона має діаметр 20 мм і висоту 3,2 мм, що дало їй назву "CR2032". Цей тип батареї є одним з найпопулярніших та широко застосовується в різних гаджетах і пристроях.

CR2032 використовує літєву хімію, що забезпечує високу ємність і тривалу роботу.

Однією з ключових переваг CR2032 є довгий термін зберігання енергії. Вона має стабільну роботу протягом тривалого часу, навіть якщо пристрій, в

якому вона використовується, не використовується протягом деякого періоду. Це робить її ідеальним вибором для додатків, які потребують низького рівня споживання енергії або часових функцій.



Рисунок 3.3 - CR2032

Крихітний (14x11x2мм) модуль цифрового сенсорного давача призначений для активації пристроїв за допомогою дотику. Цей модуль може замінити звичайні тактові кнопки. Крім того, його можна використовувати для керування лампами, світильниками, контролю рівня води в якій-небудь ємності (пластиковий бочка або акваріум) та інше. Сенсорний датчик може реагувати як на просте дотикання, так і на дотикання через скло або пластик (товщиною до 3 мм).

Модуль датчика розроблена на основі мікросхеми TTP223. Його зовнішній вигляд зображено на рисунку 3.4. Мікросхема TTP223 має 6 виводів і знаходиться у корпусі "SOT23-6". Модуль спрацьовує при зміні його ємності. При натисканні на площину сенсорної кнопки змінюється струм витоку. Після цього мікросхема розпізнає його і сигналізує про натискання кнопки. Якщо сенсор не

використовувався протягом 12 секунд, модуль переходить у режим "економії енергії". Відстань спрацьовування датчика становить 3 мм.

Модуль можна підключити до платформи Arduino або інших мікроконтролерних пристроїв. На платі модуля є 3 контакти: GND, I/O, VCC.

На платі модуля також присутній індикаторний світлодіод. Його функція, після інтеграції у плату, зовсім знецінюється. Тому було прийняте рішення про його демонтаж, при підготовці модуля до запайки на плату. Без цього світлодіода модуль має справді наднизьке споживання, біля 4 мікроампер.

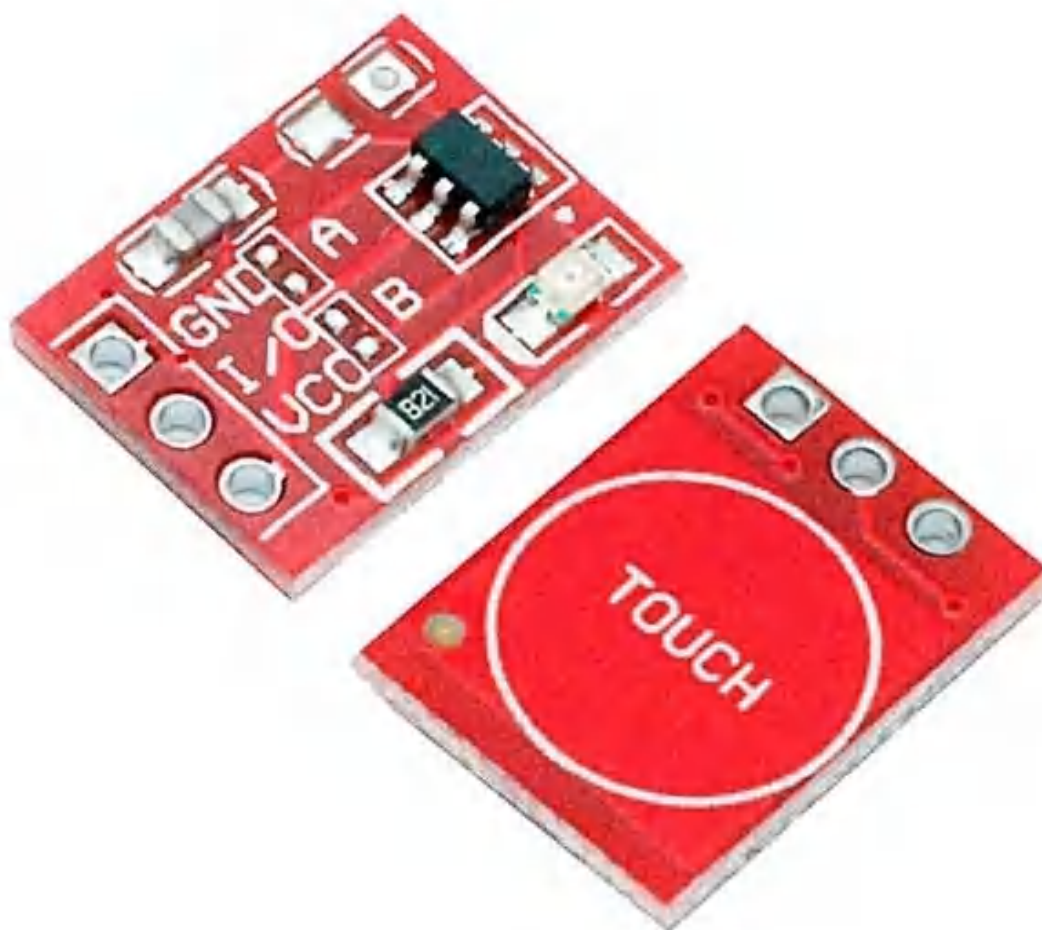


Рисунок 3.4 — Модуль сенсора TTP223

### 3.2 Опис проектування схеми електричної функціональної

Схема електрична функціональна пристрою є наступним кроком у розробці електричних схем пристрою, до складу якого входить мікроконтролерна система управління, призначена для зняття інформації з давачів нахилу системи водопостачання. Схема визначає функціональну роль елементів, розкриваючи природу процесів, що відбуваються в об'єкті в цілому чи в окремих його функціональних частинах. На ній представлені функціональні частини об'єктів і взаємозв'язок між ними.

Фактичне розташування в об'єкті елементів і пристроїв можна ігнорувати. Функціональні частини представлені спеціальними графічними позначками, викладеними в стандартах і прямокутниками. Тому частини схеми з поелементними деталями зображують за правилами виконання основних схем, а із збільшеним зображенням функціональних частин – за правилами структурних схем. Функціональна схема допускає зображення елементів з'єднання, а також вказує технічні характеристики функціональних частин, параметри в характерних точках і т.д. Функціональні схеми пояснюють процеси, що відбуваються в окремих функціональних ланцюгах продукту. Ці схеми використовуються для вивчення принципів роботи виробу, а також при його налагодженні, контролі, ремонті.

Схема електрична функціональна розроблюваного приладу наведена на рисунку 3.5. На приведеній схемі, можна бачити, що інтерфейс користувача було прийняте рішення мінімізувати до 3-ьох основних елементів:

- кнопки, для введення простих команд керування;
- 2-ох світлодіодів різних кольорів, для відображення станів;
- динаміка, для дублювання сигналів виведення, у звуковому форматі.

Блок захисту від зворотної полярності зображений у вигляді діода. Це відображає його функціонал, хоча реалізація цього блоку на принциповій схемі дещо відрізняється.

Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата

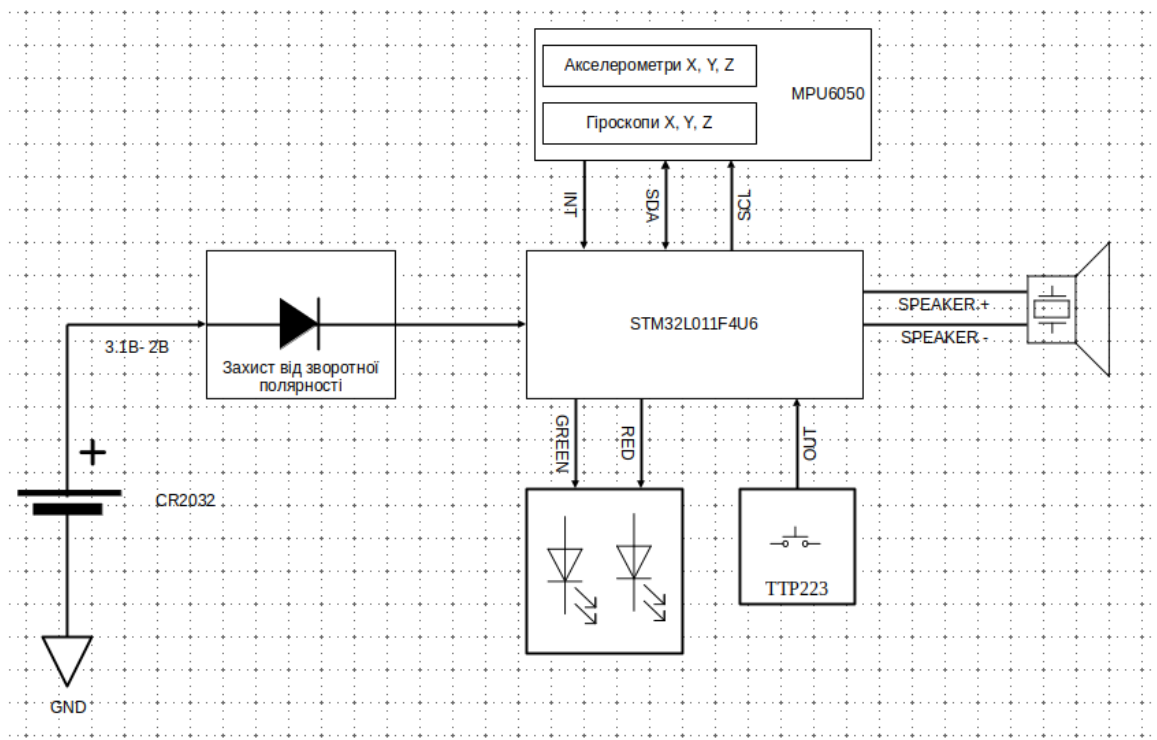


Рисунок 3.5 — Схема електрична функціональна

### 3.3 Аналіз схеми електричної принципової

На основі розроблених раніше схем, використовуючи сучасну елементну базу та основні фізичні співвідношення, спроектовано якісний і простий прилад, що має досить високі метрологічні характеристики.

Принципова схема є найбільш повною електричною схемою пристрою, що представляє всі електричні елементи та пристрої, необхідні для здійснення та керування продуктом зазначених електричних процесів, усі з'єднання між ними, а також з'єднувальні елементи (роз'єми, клеми) Вхідні та вихідні схеми.

В основі схеми лежать наявні елементи: інтегральні схеми малого, середнього та високого ступеня інтеграції, а також дискретні елементи. Електричні елементи на схемі представлені умовними графічними позначеннями, креслення і розміри яких встановлені в стандартах. Принципова електрична схема, наведена на кресленні та в додатку Б, це - графічне зображення, в використанні умовних графічних і буквено-цифрових позначень, взаємозв'язків

між елементами електричного пристрою. Схема підключення, на відміну від розводки на друкованій платі, не показує взаємне(фізичне) розташування елементів, а лише вказує, які елементи з'єднані.

Як правило, при розробці електронного пристрою процес створення електричної схеми є проміжною ланкою між етапами розробки функціональної схеми та проектуванням друкованої плати. Використання схеми електричної принципової не тільки дає повне уявлення про проект, але й дозволяє на її основі створювати індивідуальні схеми підключення, розробляти конкретні вузли підключення. За цією ж схемою перевіряється правильність монтажу електрообладнання.

На рисунку 3.6 наведений загальний вигляд схеми електричної принципової електронного рівня:

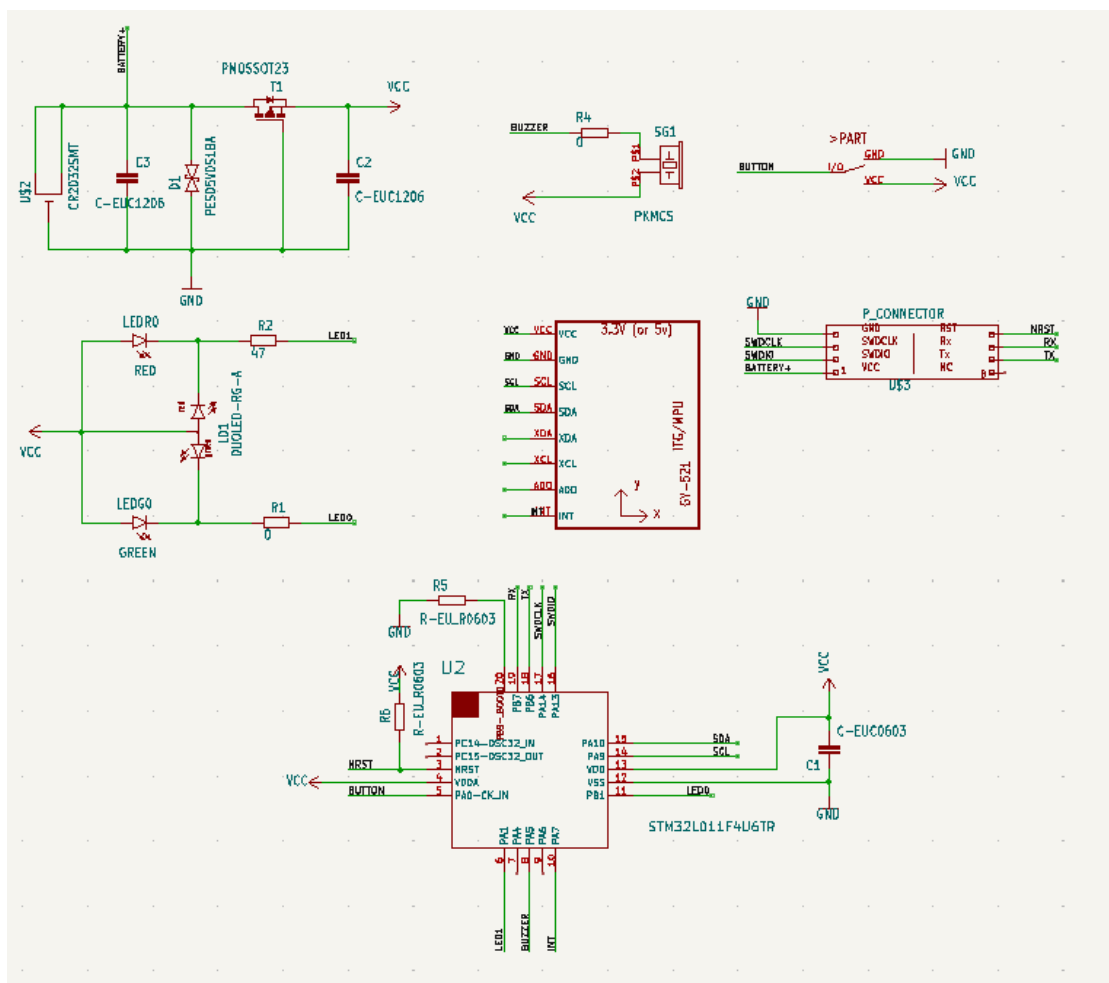


Рисунок 3.6 - Схема електрична принципова електронного рівня

Схема електрична принципова має доволі неважку будову. Були використані найпростіші, проте дієві підходи до проектування.

Типорозмір резисторів був підбраний, відповідно до вимог мініатюризації. Через відсутність необхідності розсіювати великі струми, був вибраний типорозмір 0603. Розміри резистора цього типорозміру, у порівнянні з пальцем людини зображено на рисунку 3.7.

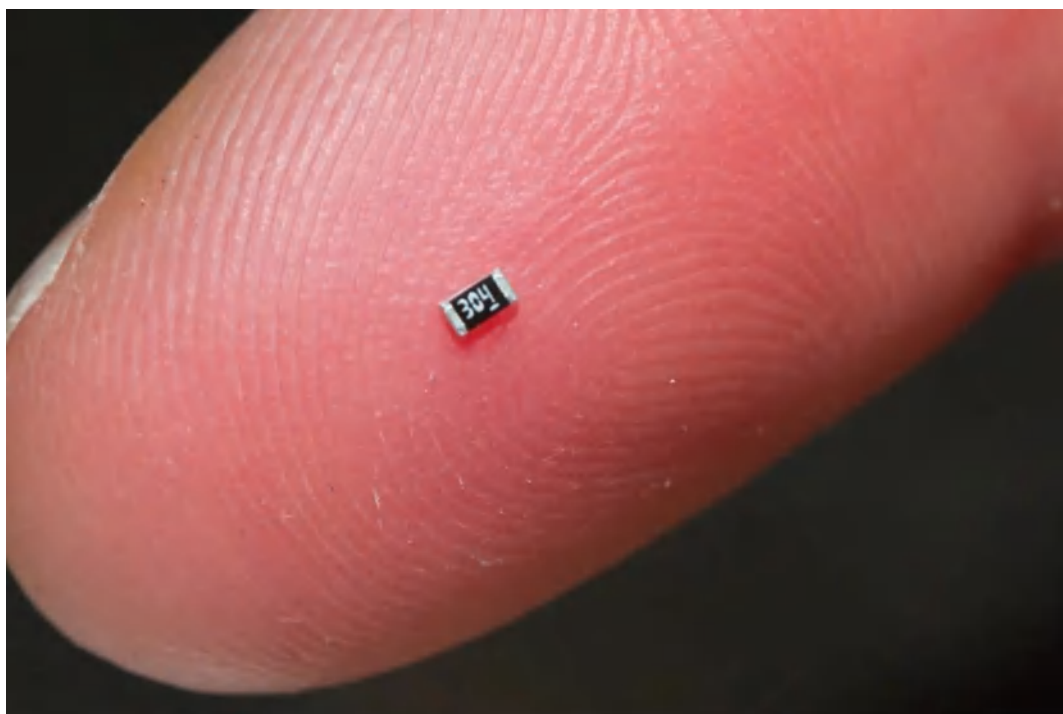


Рисунок 3.7 — Резистор 0603

Назва типорозміру SMD компонентів 0603, походить від імперичної системи розмірів, від сотих дюйма. В метричній системі ці компоненти будуть мати розміри 0.85 на 1.6 мм. Варто зазначити, що це найменший розмір компонентів, які можуть установлюватись методом ручної пайки. Компоненти, менші за розміром, потребують уже спеціального обладнання, для запаювання на посадкове місце.

Варта окремої уваги реалізація захисту від зворотної полярності. Схема реалізації зображена на рисунку 3.8.

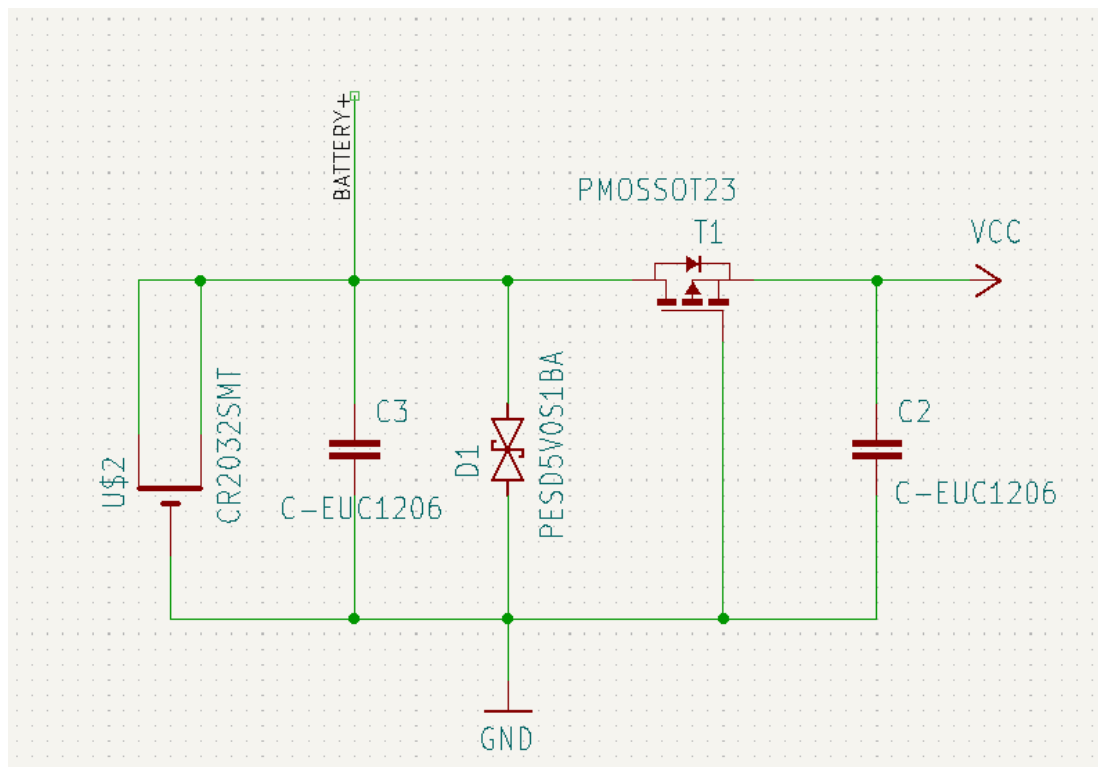


Рисунок 3.8 — Реалізація захисту від зворотної полярності

В теорії, цей захист міг бути реалізований одним діодом. Саме так і називається ця частина схеми — “ідеальний діод”.

На відміну від теорії, справжні діоди мають певний спад напруг, при прямому включенні. Для звичайних діодів, цей спад складає 0.4-0.6 В. Для діодів Шоткі — менше. Проте, в умовах роботи від батарейного живлення, коли загальна напруга складає до 3-ох вольт, така втрата — неприпустима.

Окрім значного зниження ККД, установка діода унеможливить використання заряду батареї до кінця. Адже інші компоненти мають мінімальну напругу живлення близьку до мінімальної напруги роботи літієвої батареї.

Схема “ідеального діоду” дозволяє отримати функції діоду звичайного, без втрат напруги прямого включення. Така схема, у відкритому стані, при подачі правильної полярності, бути прирівнюватись до низькоомного резистора, бо буде

мати опір відкритого біполярного транзистора (десятки міліом). В закритому ж стані, вона буде мати безкінечний опір. Двосторонній супресор необхідний, для захисту польового транзистора.

### 3.4 Електричний розрахунок вузла принципової схеми

У схемі реалізовано підключення світлодіодів напряму до пінів контролера, через резистор, що обмежує струм. Спосіб підключення зображено на рисунку 3.9.

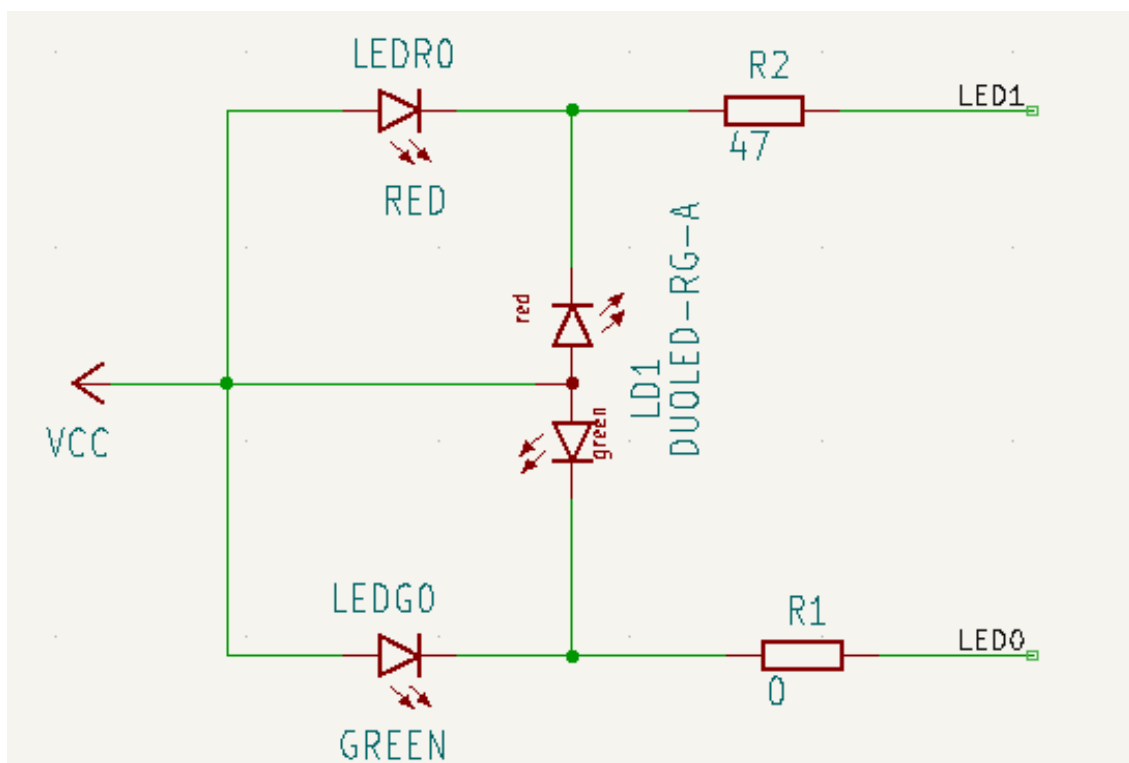


Рисунок 3.9 — Підключення світлодіодів

Розрахунок резисторів R1 та R2 не являється тривіальною задачею. З точки зору енергозбереження, здається, що струм, що протікає через світлодіоди, треба обмежити до мінімально-яскравого рівня. Насправді ж, яскравість світлодіодів регулюється за допомогою ШІМ-у, з пінів мікроконтролера. Тому резистори R1 та

R2 будуть обмежувати вихідний струм настільки, аби не нанести шкоди вихідним каскадам мікроконтролера або світлодіодам.

Залежно від застосування, передбачена установка 2-х видів світлодіодів. Вони взаємо-виключають один-одного, тому на конкретній платі застосовується лише один з вид. Розраховуємо резистори обмеження струму лише для одного з них. Над'яскраві світлодіоди в типорозмірі 0805 найчастіше мають прямий струм - 20мА. Вигляд над'яскравого SMD світлодіоду, типорозміру 0805 зображено на рисунку 3.10.



Рисунок 3.10 — Зовнішній вигляд світлодіода в корпусі 0805

Для забезпечення потрібного кольору світності у світлодіодах різних кольорів варіюється пряма напруга напівпровідникового з'єднання. Діапазони напруг для деяких кольорів зображено у таблиці 3.1.

Падіння напруги на світлодіодах різного кольору є результатом різниці в оптичних та електронних властивостях матеріалів, використаних у світлодіодах різних кольорів.

Світлодіоди зазвичай виготовляються з напівпровідникових матеріалів, таких як галієвий арсенід (GaAs), галієвий фосфід (GaP) або індієвий галієвий арсенід (InGaAs). Колір світла, яке випромінює світлодіод, залежить від ширини забороненої зони матеріалу. Ширша заборонена зона вимагає більшої енергії для проходження струму через світлодіод, що призводить до вищого падіння напруги.

Світлодіоди різних кольорів мають різні ширини забороненої зони. Наприклад, світлодіоди червоного кольору мають зазвичай меншу ширину забороненої зони, тому падіння напруги на них буде меншим. Світлодіоди зеленого, синього та фіолетового кольорів, які мають ширшу заборонену зону, будуть мати вище падіння напруги (таблиця 3.1).

Загальною тенденцією є те, що світлодіоди з більш короткими довжинами хвилі (сині, фіолетові) мають вище падіння напруги, тоді як світлодіоди з більш довгими довжинами хвилі (червоні, інфрачервоні) мають менше падіння напруги.

Це важливо враховувати при розробці електричних схем, де потрібно використовувати світлодіоди різних кольорів, оскільки це може вплинути на вибір потрібних опорів або джерел живлення для правильного використання.

Таблиця 3.1 – Напруга падіння, на світлодіодах різних кольорів, при струмі 20 мА

	Пряма напруга, В.		Довжина хвилі (нм)	
	Мінімальна	Типова	Мінімальна	Типова
Червоний	2.1	2.4	620	630
Жовтий	2.1	2.4	580	590
Зелений	3.4	3.8	520	530
Синій	3.4	3.8	460	465
Білий	3.4	3.8	x	x
Теплий білий	3.4	3.8	x	x

Наступним параметром у розрахунку буде максимальні струми, що можуть безпечно забезпечити виходи мікроконтролера. Для обраного кристалу STM32L011F4U6, від виробника надана інформація по темі (таблиця 3.2).

Таблиця 3.2 – Максимальні вихідні струми для пінів STM32L011F4U6

Для пінів	Вихідний позитивний струм будь-якого піна вводу, виводу, окрім тих, що толерантні до 5 В	16мА
	Вихідний позитивний струм пінів, що толерантні до 5 В	22мА
	Вихідний негативний струм будь-якого піна вводу, виводу	-16мА
Для порта	Вихідний позитивний струм усіх пінів порта	45мА
	Вихідний негативний струм усіх пінів порта	-45мА

З таблиці, робимо висновок, що максимальний струм, що може безпечно текти через світлодіод буде складати 16мА, адже саме стільки може безпечно віддавати вихід мікроконтролера.

Щоб розрахувати номінали обмежувальних резисторів, визначимо максимальну напругу, що може буди подана у цей відрізок кола. Для літєвих батарейок напруга повного заряду складає — 3.1В.

Формула опору струмообмежувальних резисторів буде виглядати так:

$$R = \frac{U_{\max} - U_{\text{led}}}{I_{\max}}, \quad (3.1)$$

де,  $U_{\max}$  – максимальна напруга у схемі;

$U_{\text{led}}$  – падіння напруги на світлодіоді(залежно від кольору);

$I_{\max}$  – струм, що витримує вихід мікроконтролера;

Для зеленого світлодіода, бачимо ситуацію, що типова напруга падіння на ньому буде вище, ніж максимальна напруга у схемі. Це дозволяє зробити висновок, що обмежувати струм для нього не має сенсу, в цьому конкретному випадку. Визначаємо  $R1 = 0\text{Ом}$ .

$$\text{Для червоного світлодіода} \quad R2 = \frac{3.1 - 2.4}{16 * 10^{-3}} = 43,75 \text{ Ом}$$

З ряду номіналів резисторів E24 визначаємо номінал  $R2 = 47\text{Ом}$

Цей відрізок схеми необхідно перерахувати за наведеними вище формулами, якщо з'явиться необхідність заміни світлодіодів на інші.

### 3.5 Розробка друкованої плати

Після складання схеми електричної принципової, засобами програми, в якій велась розробка схеми, також було розроблена друкована плата електронного рівня. На платі передбачена установка 2-х видів світлодіодів. Враховуючи габарити усіх компонентів, експериментальним шляхом була визначена найкомпактніше компонування плати.

На рисунку 3.11, наведено вигляд верхнього шару доріжок та шовкографії. З шовкографії видно, що зверху плати розміщуються такі основні компоненти:

- подвійний світлодіод;
- мікроконтролер;
- модуль MPU-6050;
- модуль сенсорної кнопки;

Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата

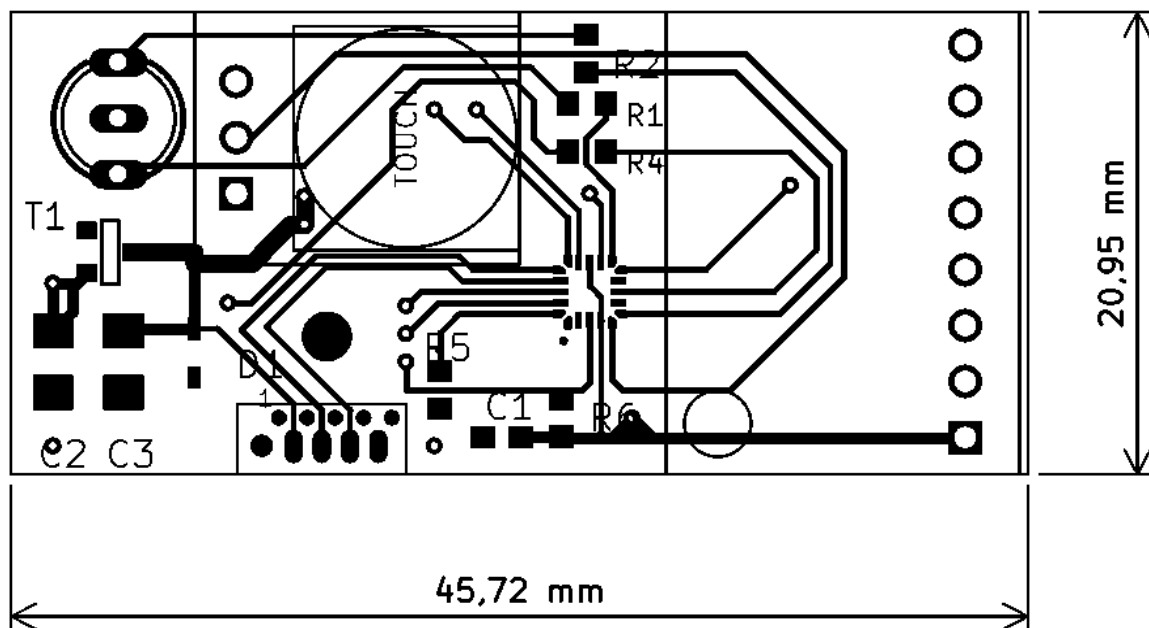


Рисунок 3.11 — Вигляд друкованої плати, спереду

На рисунку 3.12, наведено вигляд нижнього шару доріжок та шовкографії. З шовкографії видно, що знизу плати розміщуються такі основні компоненти:

- тримач батареї CR-2032;
- місця, під другий вид світлодіодів - 0805;
- п'єзо-динамік.

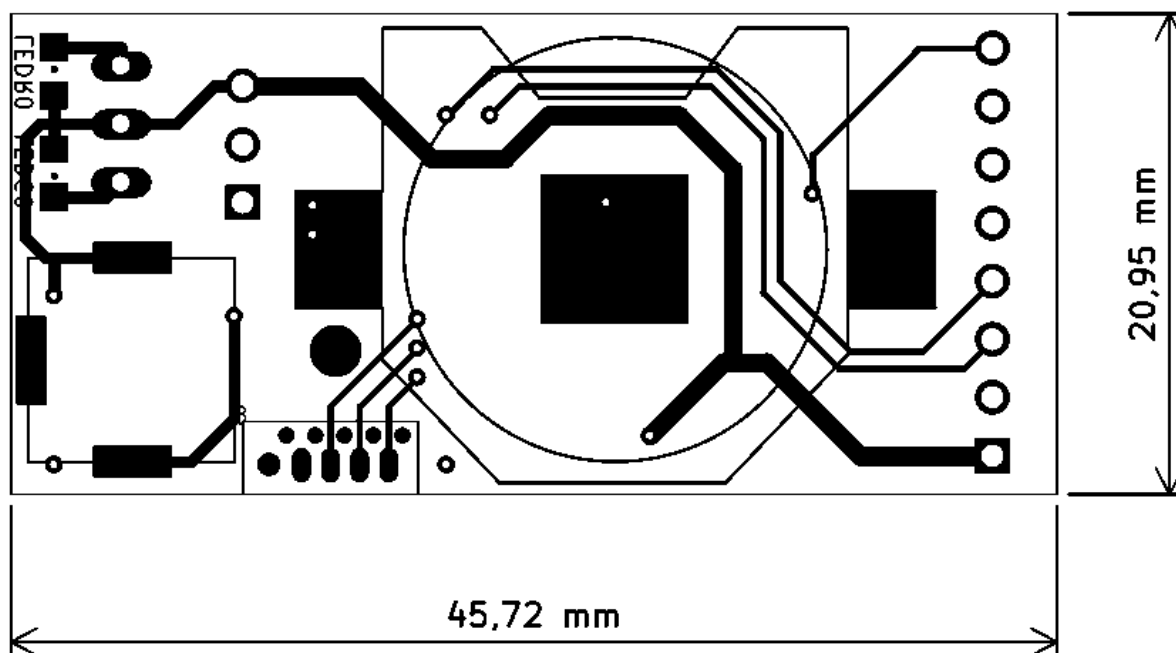


Рисунок 3.12 — Вигляд друкованої плати, ззаду

Через простоту конструкції, ці ж рисунки можуть виступати і складальним кресленням, для запаювання розробленої плати.

При складанні, необхідно пам'ятати, що модулі MPU-6050 та сенсорної кнопки модифікуються окремо, перед установкою на свої місця. Також, порядок запаювання компонентів має бути чітким та послідовним.

Спершу, запаюється мікроконтролер та його обв'язка. А саме: резистори R5 та R6, а також конденсатор — C1. Далі, на плату додаються резистори R2 та R1, і відповідні їм світлодіоди індикації.

Для перевірки роботоздатності цих компонентів та правильності їх установки, необхідно провести завантаження компільованого програмного забезпечення у пам'ять мікроконтролера. При вдалому записі прошивки, проведеться тест роботи, методом моргання світлодіодів.

Після проходження цього тесту, дозволений монтаж наступних компонентів. Монтаж проводиться у порядку розмірів компонентів. Найменші —

першими. Єдине ще не монтується на даному етапі — це п'єзоелектричний динамік.

Проводиться повний тест роботоздатності, опираючись на USART-вивід відладкової інформації. Якщо тести пройшли успішно, плата відправляється на мийку та сушку, щоб зняти усі сліди монтажу компонентів та небезпек помилок, з ними пов'язаних.

Після промивання плати, використовуючи мінімальну кількість флюсів, проводиться установка п'єзоелектричного динаміку. Цей, додатковий етап, зумовлений тим, що вибраний динамік не розрахований для промивання плати і може бути пошкоджений, на етапі виробництва.

Після кінцевого тесту роботоздатності динаміка, проводиться замір струмів споживання готового приладу. Якщо значення струмів у різних режимах співпадають з табличними, пристрій вважається зібраним та протестованим.

### 3.6 Опис алгоритму роботи програмного забезпечення

Блок-схема алгоритму роботи програмного забезпечення наведена в додатку А. Через високу потребу в економії енергії, було прийняте рішення налаштувати мікроконтролер, для роботи імпульсному режимі, з періодичним засипанням.

Мікроконтролер серії STM32L, має багато засобів для економії енергії, адже ця серія спеціалізована для розробки приладів, з низьким енергоспоживанням.

Цей мікроконтролер має кілька режимів сну:

- low-power run mode — обмежена частота, кількість периферії;
- sleep mode — ядро зупинене, периферія продовжує працювати;
- low-power sleep mode — ядро зупинене, периферія обмежена, робота flash - зупинена;
- stop mode — усі генератори зупинені, регулятори в режимі пониженого споживання;
- standby mode — домен V<sub>CORE</sub> вимкнений.

В програмі використовується два виду сну.

Зм.	Арк.	Нелокум.	Підпис	Дата

Standby mode використовується для повного засипання приладу. Необхідність цього зумовлюється тим, що в схемі не передбачене фізичне відключення елемента живлення від споживачів. В режимі ж standby mode споживання буде схожим з струмом саморозряду джерела живлення.

Sleep mode використовується для періодичного засипання контролера, в перервах, між необхідністю розрахунку даних з MPU6050.

Початкова ініціалізація відбувається, після прокидання з Standby, методом тривалого затиснення кнопки. Ініціалізація включає налаштування MPU6050 для періодичного надсилання сигналу INT до мікроконтролера, коли дані з акселерометрів та гіроскопів оновляться і запишуться у внутрішній буфер.

В основному циклі також реалізована обробка натискань кнопки. При тривалому натисканні (більше 7-ми секунд), відбувається перехід в режим установки нуля. В цьому випадку прилад попереджає про момент запам'ятовування свого кута нахилу. Після відповідного сигналу кут, який запам'ятав прилад, стає новим нульовим кутом, в обох вісях нахилу. Параметри нуля записуються у постійну пам'ять та використовуються, до наступного перезапису.

При затисканні кнопки, відбувається процес вимкнення приладу, з відповідною сигналізацією. Мікроконтролер і MPU-6050 переводять себе в режими глибокого сну.

Коли прилад активний, після початкової ініціалізації, MPU-6050 періодично надсилає сигнал переривання до мікроконтролера. Цей сигнал виводить процесор з режиму швидкого сну і заставляє провести зчитування та розрахунок теперішніх значень крену і тангажу. Ці значення порівнюються з запам'ятованою точкою нуля, з чого робиться висновок, яку індикацію показати користувачу. Після сеансу індикації мікроконтролер знову переходить в режим енергозбереження та очікує наступного переривання від MPU-6050.

У випадку, коли детектується надто сильний кут крену чи тангажу, прилад, з певною затримкою, переходить в неактивний режим. Сильний крен, чи тангаж свідчить про не використання зброї, за призначенням, в цей момент часу.

Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата

В неактивному стані, прилад перестає проводити світлову та звукову індикацію відхилення. Таким чином, щоб закінчити сеанс сесії роботи з приладом, достатньо привести зброю у небойове положення. Наприклад — положити на бік.

Неактивний режим дозволяє електронному рівню значно зекономити заряд батареї, а також не докучати стрільцю, коли це не потрібно. Приведення в активний режим також автоматичне. Достатньо виставити гвинтівку у положення, для стрільби. За кілька секунд електронний рівень помітить правильні кути нахилу і знову розпочне індикацію відхилень.

Прилад в неактивному режимі, сигналізує про свій робочий стан, короткими спалахами зеленого світлодіоду.

Коли електронний рівень знаходиться в неактивному режимі надто довго, відбувається автоматичний процес вимкнення. В неактивному режимі це займає біля десяти хвилин. У активному режимі, вимкнення проводиться раніше, але лише у випадку, відсутності змін кута нахилу. Ця методика дозволяє детектувати забутий увімкнений прилад.

### 3.7 Опис проектування 3D моделі корпусу електронного рівня

Враховуючи габарити друкованої плати, був розроблений корпус, для електронного рівня.

При розробці корпусу, враховувалась необхідність вологозахисності. Для водо-захисту були створені технологічні хитрощі, як от місце під гумову прокладу та фіксатори, для її утримання. Початковий варіант моделі корпусу зображений на рисунку 3.13.

Ці моделі були роздруковані на 3D принтері і протестовані у своїй функціональності. Після тестування вносились зміни до початкової концепції.

Після кількох ітерацій модифікацій було прийняте рішення відмовитись від надто громіздких і неефективних засобів додаткового захисту від води. Розміри були доопрацьовані.

Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата

Останній, на момент написання цієї роботи, корпус для електронного рівня має вигляд, зображений на рисунку 3.х.

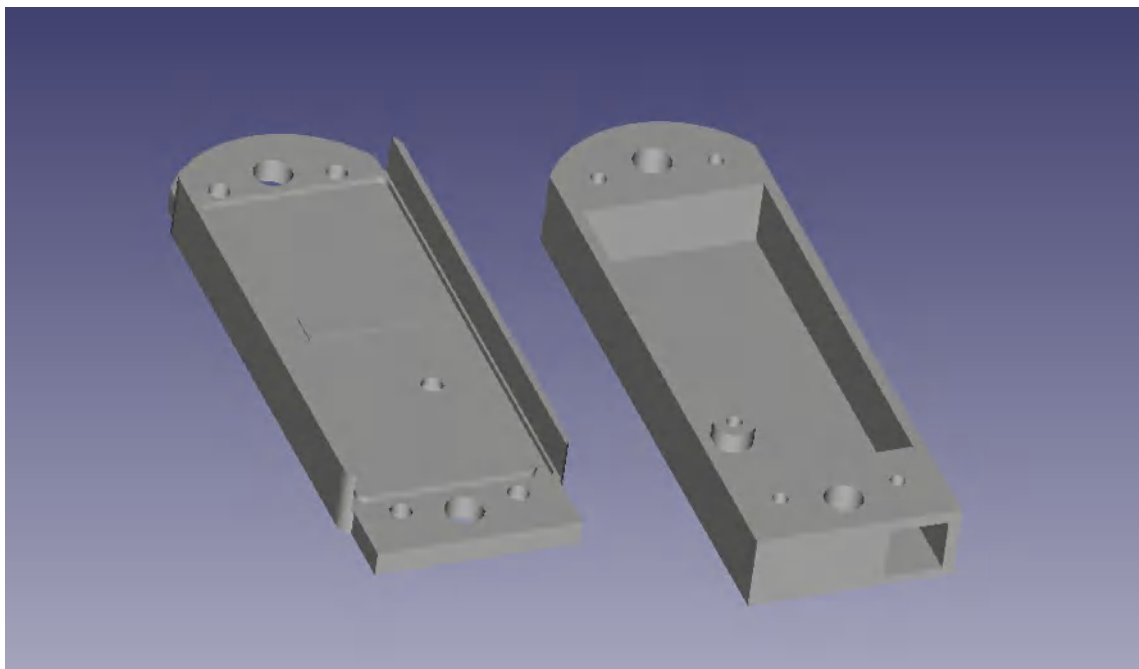


Рисунок 3.13 — Вигляд першої моделі корпусу

Налаштування друку моделей корпусу для електронного рівня, це також задача, яку належить буде виконати, при налагодженні мілко-серійного виробництва. Для конкретних екземплярів 3-D принтера необхідно буде коректувати параметри, аби добитись куди кращого результату, ніж є у зразках на фото 3.14.

Зовнішній вигляд експериментальних корпусів ще не ідеальний, але теперішній процес виготовлення уже надає можливість повноцінно реалізувати усі функції і вимоги поставлені до електронного рівня.



Рисунок 3.14 — Вигляд останньої моделі корпусу

3-D друк являється дуже зручним засобом експериментального, унікального, чи мілкосерійного виготовлення пластикових деталей. Після запуску мілкосерійного виробництва і повного циклу тестування електронного рівня в умовах реального використання, планується налагодити виготовлення відлагоджених та протестованих моделей корпусів, на більш професійному обладнанні, застосовуючи метод термопласту. Це суттєво збільшить якість, зменшить ціну і швидкість виготовлення пластикових деталей.

### 3.8 Інструкція для користувачів

Електронний рівень призначений для вирівнювання крену предмету, до якого закріплений, до заданого кута, з точністю в  $3^\circ$ . Вирівнювання відбувається за допомогою звукової та світлової сигналізації.

Керування відбувається однією кнопкою.

1) ввімкнення\вимкнення:

- для ввімкнення\вимикання приладу, зажати кнопку на 3 секунди та відпустити;
- процес ввімкнення позначається блиманням зеленого світлодіода;
- процес вимикання позначається блиманням червоного світлодіода;
- прилад сигналізує про ввімкнений стан періодичним пересвітом зеленого світлодіода;
- У вимкненому стані, червоний світлодіод відображає стан кнопки;
- Після 10-ти хвилин бездіяльності прилад засипає;

2) робота:

- при приближенні нахилу системи до заданої нульової точки ( $+20^\circ$ ) ввімкнений прилад увійде в активний режим.
- в активному режимі, надмірне відхилення від нуля сигналізується червоним світлодіодом та звуковим сигналом;
- в активному режимі, допустиме відхилення від нуля ( $+1.5^\circ$ ), сигналізується зеленим світлодіодом;
- для виходу з активного режиму, треба покинути зону приближення до нульової точки, на деякий час;

3) установка нуля:

- для установки нуля - зажати кнопку на 7 секунд та відпустити;
- перебіг процесу установки нуля, позначається поперемінним морганням зеленого та червоного світлодіодів;
- звукові сигнали, означають завершення процесу установки нуля.
- установлене нульове положення зберігається до моменту наступної установки, незалежно від живлення.

Для заміни батарейки необхідно:

- купити нову батарейку, типу CR2032;
- хрестовою викруткою, акуратно повністю викрутити два саморіза з корпусу приладу;
- підняти кришку, яка трималась на них;
- витрусити плату з другої частини корпусу;

Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата

- батарейка, з плати, виймається за допомогою неметалевого тонкого предмета (зубочистки);
- установити нову батарейку;
- перевірити роботоздатність;
- зібрати у зворотньому порядку.

Варто звернути увагу, що батарейка обов'язково установлюється мінусовим контактом до плати. В протилежному випадку — прилад не запуститься.

### 3.9 Висновки

На основі запропонованої в попередньому розділі електричної структурної схеми відповідно до вимог проектної документації розроблено електричну функціональну схему та згодом — принципovu.

Детально пояснюються режими роботи модулів для управління роботою системи асистенції, а також взаємодії її компонентів з мікроконтролером і між собою.

Описаний процес розведення плати. Розписано послідовність збірки готового пристрою. Розглянуті проміжні етапи тестування, та бажані результати, які свідчать про повну роботоздатність конкретного зразка електронного рівня.

Продемонстровано кілька ітерацій розробки корпусу, для пристрою електронного рівня та перспективи виходу на мілкосерійне виробництво.

Вузол світлової індикації на принциповій схемі був розглянутий окремо, через особливості роботи реалізованої мікроконтролерної системи, на батарейному живленні.

Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата

## ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи бакалавра було розв'язано актуальну практичну задачу в галузі комп'ютерної інженерії, та отримано результат у вигляді функціонально-придатного програмно-апаратного пристрою електронного рівня.

Зараз у нас є система, що запропонована військовим. В перспективі, вона допоможе врятувати та спростити життя військовим та спортивних снайперів та зробити їх роботу ефективнішою.

В результаті виконання кваліфікаційної роботи було створено пристрій призначений для зчитування даних з давачів кутів нахилу відносно горизонту та допомогти користувачу утримати його. Дозволяє налаштовувати кут, який утримувати.

При необхідності функціональність пристрою можна модернізувати, оновивши його електричну схему, корпус або програму керування.

Пристрій був запропонований спеціалістам у галузі снайпінгу. Після процесу тестування, буде отриманий досвід користування в різних умовах.

Використовуючи ці відгуки буде відбуватись поступове оновлення функціоналу і характеристик пристрою. З часом планується перехід до серійного виробництва.

Можливим варіантом оновлення є переробка системи кріплення під інші гвинтівки, або під універсальні системи або ж додавання додаткових функцій до програмного коду, які розширяють можливості та функціональність пристрою та покращать його загальну роботу.

Розроблений пристрій стабільно працює, має низьке енергоспоживання та високу надійність, а також повністю відповідає завданню кваліфікаційної роботи та забезпечує всі необхідні технічні вимоги до нього. Має наступні технічні характеристики:

Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата

Характеристики:

- мікроконтролер: STM32L051;
- робоча напруга: 3.1-2.0В;
- точність утримання залежить від бажання користувача;
- вологозахищеність;
- мінімалістичний світловий інтерфейс виведення;
- звукова сигналізація відхилення від заданого кута;
- компактні розміри.

Прилад простий у використанні. Він не вимагає особливих знань та навичок від оператора. Сигналізація відхилення від заданого крену здійснюється за допомогою світлової індикації, та дублюється звуковим сигналом.

При розробці даного пристрою для зчитування даних з датчиків кута нахилу були здійснені основні етапи проектування цифрових пристроїв: розробка структурної, проектування функціональної схеми, вибір елементної бази та розробка електричної принципової схеми пристрою.

Також були проведені розрахунки елементів принципової схеми. В ході роботи над проектом було розроблено інструкцію для користувачів. Отримані в результаті виконання даного проекту технічні характеристики відповідають завданню кваліфікаційної роботи.

Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. PlatformIO, офіційний сайт. URL: <https://platformio.org/>. (дата звернення: 01.05.2023).
2. Колонтаєвський Ю. П. Комп'ютерна електроніка: навчальний посібник. Ю. П. Колонтаєвський. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. 156 с
3. Паламар М.І., Стрембіцький М.О., Паламар А.М. Проектування комп'ютеризованих вимірювальних систем та комплексів: навчальний посібник. Тернопіль: ТНТУ. 2019. 150 с.
4. Мікропроцесорна техніка : підручник. Ю. І. Якименко, Т. О. Терещенко, Є. І. Сокол та ін. За ред. Т. О. Терещенко. Київ : Політехнік, 2013. 440 с.
5. Kumar P., Nayak S. K., Datar A. M. Analysis of transverse vibration models of a gun barrel subjected to recoil. *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 592-594, 2014, С. 2011-2015.
6. Ning Xu, Xiaorong Guan, Guoqing Liu, Cheng Xu. Study on barrel vibration characteristics of typical sniper rifle. *Vibroengineering PROCEDIA*, Vol 24 2019.
7. Arduino: офіційний сайт. URL: <https://www.arduino.cc/>. (дата звернення: 10.05.2023).
8. Загальні відомості про датчики. URL: <https://corelamps.com/elektromontazhne-obladnannia/datchyky/>. (дата звернення: 11.05.2023).
9. Tinkercad. URL: <https://www.tinkercad.com/things/4Fx2BhRHK0n-cool-esboo-waasa/editel?tenant=circuits>. (дата звернення: 01.05.2023).
10. Грищук Ю. С. Застосування мікроконтролерів при дослідженнях електричних апаратів. *Вісник НТУ «ХПИ»*. 2016. № 32 (1204). С. 23–28.
11. Ю. С. Грищук, Т. П. Павленко. Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу «Мікропроцесорні пристрої» для студентів спеціальності 092206 «Електричні машини та апарати»: навч. посіб. Харків : ХДПУ, 2019. 32 с.

Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата

КВРКІ.2001130.20.01.14 ПЗ

Арк.

65

- 12.Схемотехніка електронних схем: *Мікропроцесори та мікроконтролери*: підручник / В.І.Бойко, А.М.Гуржій, В.Я.Жуйков та ін. 2-ге вид., допов. і переробл. Вища шк. 2014. 399 с.
- 13.MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification Revision 3.4. URL : <https://invensense.tdk.com/wp-content/uploads/2015/02/MPU-6000-Datasheet1.pdf>. (дата звернення: 01.05.2023).
- 14.STM32L051x6 STM32L051x8: Datasheet. URL: <https://www.digikey.com.mx/htmldatasheets/production/1776128/0/0/1/stm32l051t8y6tr.html>. (дата звернення: 01.05.2023).
- 15.Build a Digital Level with MPU-6050 and Arduino. URL: <https://dronebotworkshop.com/mpu-6050-level/>. (дата звернення: 01.05.2023).
- 16.Gyroscope Level Is Digital. URL: <https://hackaday.com/2020/11/15/gyroscope-level-is-digital/>. (дата звернення: 01.05.2023).
- 17.Gridling G., Weiss B. Introduction to Microcontrollers: *Courses 182.064 & 182.074: Vienna University of Technology, Institute of Computer Engineering, Embedded Computing Systems Group*. 2007, p. 175.
- 18.Amestica, O. E. An experimental comparison of Arduino IDE compatible platforms for digital control and data acquisition applications. *2019 IEEE CHILEAN Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies (CHILECON)*. IEEE. 2019. p. 1-6.
- 19.Bosch. "Digital Levels.". URL: <https://www.boschtools.com/us/en/boschtools-ocs/digital-levels-23579-c/>. (дата звернення: 15.04.2023).
- 20.Doe, J. Development of a Digital Level using Accelerometer and Gyroscope. *2014 11th International Conference on Electronics, Computer and Computation (ICECCO)*. IEEE, 2014. P. 1-4.
- 21.Badamasi Y. A. The working principle of an Arduino. *2014 11th international conference on electronics, computer and computation (ICECCO)*. IEEE. 2014. p. 1-4.
- 22.Уроки Arduino для новачків. URL: [https://geekmatic.in.ua/ua/arduino\\_lesson\\_111/](https://geekmatic.in.ua/ua/arduino_lesson_111/). (дата звернення: 15.04.2023).

23. Badamasi Y. A. Design and Development of an Electronic Leveling System. *2014 11th International Conference on Electronics, Computer and Computation (ICECCO). IEEE, 2014. P. 1-4.*
24. Shore Elliott. Precision Shooting at 1,000 Yards: An Instructional Guide to Long-Range Rifle Shooting. *Skyhorse Publishing, 2019. 256 p.*
25. Дрінчук Олександр. Снайперські системи в Україні: розвиток та перспективи. *Журнал "Зброя і безпека, 2016, № 3. С. 39.*
26. Cope Nathan. Long Range Shooting Handbook: The Complete Beginner's Guide to Precision Rifle Shooting. North Shadow Press, 2016. 330 p.
27. Булига Микола. Снайперська справа в Україні: минуле, сучасність, майбутнє. *Журнал "Військовий кур'єр", 2015, № 10. С. 135.*
28. Aggarwal, P., & Aggarwal, A. A Review on MEMS Accelerometers. *International Journal of Advanced Research in Electronics and Communication Engineering, 5(3), 2016. P. 411-414.*
29. Аналогова схемотехніка і імпульсні пристрої : підручник / В.І. Бойко, В.Я. Жуйков та ін. : Освіта України, 2010. 480с.
30. Yang, M., Tian, W., & Ren, T. L. Recent Advances in MEMS Gyroscopes. *Micromachines, 9(4), 2018. 180 p.*
31. Kim, H., & Lee, J. A Comprehensive Review of MEMS Gyroscopes: A Perspective on Mechanical Structure Design, Sensing Principles, and Applications. *Micromachines, 8(12), 2017. 384 p.*
32. Dantas, A., & Flores Filho, A. Design and Development of a MEMS-Based Inertial Measurement Unit for Aerospace Applications. *Sensors, 19(22), 2018 4982 p.*
33. Stack Exchange Electronics. URL: <https://electronics.stackexchange.com/>. (дата звернення: 15.04.2023).
34. Dimitrov, D., & Yoshida, K. MEMS Accelerometers: A Review on Design Challenges and Future Directions. *Journal of Microelectromechanical Systems, 29(4), 2020. P. 136-152.*

35. Грищук Ю. С. Г85 Мікроконтролери: Архітектура, програмування та застосування в електромеханіці : навч. посіб. / Ю. С. Грищук. – Харків : НТУ «ХПІ», 2019. 384 с.
36. Zhao, Y., Chen, W., & Li, Y. Design and Fabrication of MEMS Capacitive Accelerometers for Harsh Environments. *Sensors*, 21(1), 2021. P 211.
37. Lee, H., Lee, H., & Kim, Y. Review of MEMS Gyroscopes for Consumer Electronic Devices. *Micromachines*, 10(12), 2019. P. 821.
38. Patil, S., & Patil, S. Design and Fabrication of MEMS-Based Gyroscopes for Navigation Applications: A Review. *Journal of Micro-Bio Robotics*, 12(2), 2017. P. 93-109.
39. Li, H., Shi, W., & Dong, X. Design and Fabrication of a MEMS Gyroscope Based on Dual-Sensitive-Axis Structure. *Micromachines*, 10(1), 2019. P 43.
40. Song, Y., Xie, J., & Cheng, H. A Review on MEMS Accelerometers and Gyroscopes for Wearable and Portable Applications. *Sensors*, 18(8), 2018). P. 2783.
41. Швець, А. О., & Василюк, В. В. Системи забезпечення точності стрільби снайпера. *Військова наука України*, (1), 2017. С. 75-79.
42. Кравчук, О. В., & Лащенко, О. О. Підвищення ефективності стрільби снайперів за рахунок використання інформаційних технологій. *Військова наука України*, (3), 2015. С.33-39.









## Додаток Д

### Лістинг програмного забезпечення

```
#include "main.h"

#include "output_controller.h"
#include "special_mpu6050.h"
#include "settings.h"
#include "periph.h"
#include "button.h"
#include "debug.h"
#include "leds.h"

extern OutputController otherled;
extern OutputController greenled;
extern OutputController redled;
extern Settings settings;

Button button(&(GPIOA->IDR), GPIO_IDR_ID0, 1);
SpecialMPU6050 accel;

uint32_t sleep_delay = 0;
float current_roll = 0.f;

static enum {
    GOING_TO_IDLE,
    WORKING,
    IDLE
} current_mode;

void set_zero_point() {
    settings.zero_roll_point = accel.roll;
    settings.save();
}

void fall_asleep() {
    __disable_irq();
    switch_off_outputs();
    accel.goSleep();

#ifdef DEBUG_MODE
    debug_printf("Falling asleep\n");
#endif
}
```

```

#endif

__SET_STATE_WAKED_UP;
go_sleep();
}

inline void init_before_wakeup() {
init_periph();
settings.load();

mpu6050_I2C_Init(I2C1);
accel.init(settings.gyroOffsetX, settings.gyroOffsetY, settings.gyroOffsetZ);
redled.on();
}

inline void init_after_wakeup() {
}

inline void handle_button() {
if(button.state != Button::State::NO_STATE) {
sleep_delay = 0;

switch(button.state) {
case Button::State::PRESS_RELEASED:
redled.blink(3);
while(redled.is_busy())
;
fall_asleep();
break;

case Button::State::LONG_PRESSED:
redled.blink();
while(redled.is_busy())
;
break;

case Button::State::LONG_PRESS_RELEASED:
redled.blink(5);
while(redled.is_busy()) {
if(redled.get_state())
greenled.off();
else
greenled.on();
}
}
}

```

```

}

set_zero_point();
break;

default:
break;
}
#ifdef DEBUG_MODE
debug_printf("Button (%d) \n", button.state);
#endif
button.wipe_status();
}
}

inline void update_mode() {
static int16_t change_mode_delay = 0;

if(redled.is_busy() || greenled.is_busy() || otherled.is_busy()) {
if(current_mode == WORKING)
current_mode = GOING_TO_IDLE;

change_mode_delay = 0;
} else {
if(fabsf(current_roll) < (float)ACCURACY_WORKING_STATE) {
if(change_mode_delay < CHANGE_STATE_DELAY_IN_TICKS)
change_mode_delay++;

if(change_mode_delay == CHANGE_STATE_DELAY_IN_TICKS - 1) {
current_mode = WORKING;
}
} else {
if(change_mode_delay > -CHANGE_STATE_DELAY_IN_TICKS)
change_mode_delay--;

if(change_mode_delay == -(CHANGE_STATE_DELAY_IN_TICKS - 1)) {
current_mode = GOING_TO_IDLE;
}
}
}
}

inline ColorStates set_color_from_roll() {
static ColorStates current_color = ColorStates::NONE;

```

```

if(fabsf(current_roll) > ((float)(ACCURACY + ACCURACY_HYSTERESYS))) {
if(current_roll > 0)
current_color = ColorStates::YELLOW;
else
current_color = ColorStates::RED;

sleep_delay += 5;
} else if(fabsf(current_roll) < (float)(ACCURACY - ACCURACY_HYSTERESYS)) {
current_color = ColorStates::GREEN;
} else {
// Hysteresis interval
sleep_delay = 0;
}
set_color(current_color);

return current_color;
}

int main() {
debug_printf("\n\n");
debug_printf(SERIAL_NUMBER);
debug_printf(FIRMWARE_VERSION);
debug_printf(" waked up\n");
init_before_wakeup();

#ifdef CALIBRATION_ON_START
if(!settings.calibrationDoneFlag) {
int16_t gyroOffsetX, gyroOffsetY, gyroOffsetZ;

accel.makeSelfCalibration(&gyroOffsetX, &gyroOffsetY, &gyroOffsetZ);
settings.gyroOffsetX = gyroOffsetX;
settings.gyroOffsetY = gyroOffsetY;
settings.gyroOffsetZ = gyroOffsetZ;
settings.calibrationDoneFlag = 1;

settings.save();
accel.init(settings.gyroOffsetX, settings.gyroOffsetY, settings.gyroOffsetZ);
}
#endif

// Wait till user set ON state
while(!_IS_WAKED_UP) {
if(button.is_mod(Button::Mod::TIMING_ERROR)) {

```

```

fall_asleep();
} else {
switch(button.state) {
case Button::State::PRESS_RELEASED:
redled.off();
greenled.blink(3);

while(greenled.is_busy());
__SET_STATE_WAKED_UP;
break;

// case Button::State::CLICK_RELEASED:
case Button::State::LONG_PRESSED:
fall_asleep();
break;

default:
break;
}
}
}
button.wipe_status(); // Always clean buttons after signal handling

init_after_wakeup();

while(1) {
handle_button();

#ifdef DEBUG_MODE
static uint16_t delay = 50;
if(delay > 0 && accel.newDataFlag) {
delay--;
accel.newDataFlag = 0;
} else if(!delay) {

debug_printf("s_d: %5lu\t", sleep_delay);
accel.debugOutput();
debug_printf("c_r: %04d\t", (int16_t)(current_roll * 1000));

delay = 5;
}
#endif
__WFI();
}

```

```

}
#if defined(STM32F1)
extern "C" void EXTI1_IRQHandler(void) {
#elif defined(STM32L011xx)
extern "C" void EXTI4_15_IRQHandler(void) {
#endif
accel.processInterrupt();
update_outputs();
button.tick();

if(__IS_WAKED_UP) {
// Timeout sleep
if(sleep_delay++ > SLEEP_FROM_UNACTIVITY_DELAY_IN_TICKS) {
debug_printf("\nTimeout sleep timer\n");
fall_asleep();
}
accel.calculatePR();
current_roll = subtractAngles(accel.roll, settings.zero_roll_point);
update_mode();
if(current_mode == WORKING) {
set_color_from_roll();
} else if(current_mode == GOING_TO_IDLE) {
set_color(ColorStates::NONE);
current_mode = IDLE;
}
}

EXTI->PR = EXTI_PR_PR7; // Clear flag
}

```

Ім'я користувача:  
Кафедра КІ

ID перевірки:  
1015416419

Дата перевірки:  
04.06.2023 20:54:16 EEST

Тип перевірки:  
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:  
04.06.2023 20:58:31 EEST

ID користувача:  
100005591

Назва документа: Гериш\_Програмно-апаратна система асистенції утримання кута нахилу зброї відносно гор...

Кількість сторінок: 68 Кількість слів: 10795 Кількість символів: 84117 Розмір файлу: 7.30 MB ID файлу: 1015079263

## 10.9% Схожість

Найбільша схожість: 6.41% з джерелом з Бібліотеки (ID файлу: 1011358707)

10.5% Джерела з Інтернету

64

Сторінка 70

7.29% Джерела з Бібліотеки

122

Сторінка 70

## 0.21% Цитат

Цитати

1

Сторінка 71

Посилання

1

Сторінка 71

## 0% Вилучень

Немає вилучених джерел

## Модифікації

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

Замінені символи

4

Sun Jun 04 20:00:20 EEST 2023, Медзатий Дмитро Миколайович, Хмельницький національний університет, ХНУ

## Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальне співпадіння з одним документом 2.0%

Словники перевірки: en\_US, ru\_RU, ua\_UA. Помилоч в документах: 10%

ID: 114650 Назва: БКР Програмно-апаратна система асистенції утримання кута нахилу зброї відносно горизонту, для здійснення високоточної стрільби (електронний рівень) Додано в БД: 2023-06-04 Автора: В.С. Гериш Керівники: В.М. Стецюк Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	71054	686	2066 (3%)	27 (4%)

### Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

## РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Гериш Володимир Сергійович

Тема: Програмно-апаратна система асистенції утримання кута нахилу зброї відносно горизонту, для здійснення високоточної стрільби (електронний рівень)

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень 4 Кількість сторінок записки 60

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою кваліфікаційної роботи є розробка системи асистенції утримання кута нахилу зброї, відносно горизонту.
  2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню.
  3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: В першому розділі кваліфікаційної роботи проведено дослідження предметної області (проаналізовано ступінь впливу крену стрілецької зброї на точність стрільби) та виконано постановку задачі дослідження. В другому розділі кваліфікаційної роботи проведено моделювання та проєктування електронного рівня, а саме: виконаний вибір способів реалізації; виконаний вибір засобів програмної реалізації; розроблено схему електричну структурну; В третьому розділі кваліфікаційної роботи виконано апаратну реалізацію електронного рівня, а саме: реалізовано схему електричну функціональну; проведений аналіз схеми електричної принципової; розроблена друкована плата; описаний алгоритм роботи; спроектований корпус.
  4. Позитивні сторони роботи: Актуальність подібних систем.
  5. Негативні сторони роботи:
- 
6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації.

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному інженерно-технічному рівні.

8. Інші зауваження: не повна відповідність умов Д.С.П.У.

9. Оцінка дипломної роботи: Добре

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) к.т.н. доцент  
кафедри ІТЗ Турчан Іван Васильович

“ 2 ” червня 2023 р.

І.В.Турчан (підпис)

Завідувачу кафедри КІІС  
д-р.техн.наук, проф. Говорушенко Т. О.

Гериша Володимира Сергійовича

ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 3 курсу, групи КІ2с-20-1

### ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарії та академічної відповідальності, ознайомлений(а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповіщений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

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

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

22 квітня 2023 року

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

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

Назва: Програмно-апаратна система асистенції утримання кута нахилу зброї відносно горизонту, для здійснення високоточної стрільби (електронний рівень)

Автор: Герш Володимир Сергійович

Спеціальність: 123 – Комп'ютерна інженерія

Освітня програма: освітньо-професійна

Науковий керівник: Стецюк Василь Миколайович

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

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

Підтвердження:

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

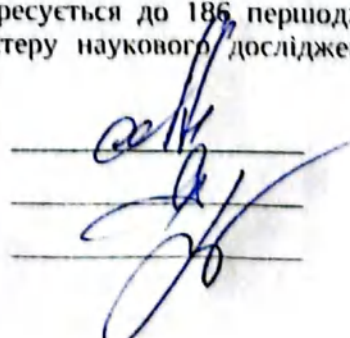
- 1) запозичення розміщені в розділах аналізу існуючих аналогів та прототипів, які не описують безпосередньо авторське дослідження і не стосуються результатів роботи;
- 2) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;
- 3) окремі виявлені збіги є загальноживаними фразами або виразами, про що свідчить посилання системи на збіг з 10-40 джерелами на один фрагмент речення;
- 4) в якості запозичень в окремих місцях системою зафіксовано послідовності чотирьохрозрядних двійкових кодів, які є вхідними даними до великої кількості задач і не можуть розглядатися як об'єкт авторських прав і, відповідно, їх порушення;
- 5) всі зафіксовані системою ознаки модифікації тексту відносяться до комбінування латинських символів зі україномовними скороченнями індексів в формулах, що не є модифікацією тексту.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначених системою виявлення збігів/ідентичності/схожості, складає 10.9% і адресується до 186 першоджерела, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи

Гарант ОП

Завідувач кафедри КІС.



В.М. Стецюк

С.М. Лисенко

Т. О. Говорущенко