

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Приладобудівний факультет
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри ІВТ

_____ Володимир ЄРЕМЕНКО

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ___ ” _____ 2020 р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою

«Інформаційні вимірювальні технології та системи»

спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

на тему: Цифровий вимірювач кута нахилу поверхні

Виконав (-ла): студент (-ка) IV курсу, групи ВМ-61-2

_____ Кузьменко Валерій Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Керівник

доц. каф. ІВС, к.т.н., доц. Стаценко Олексій Володимирович

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Консультант

_____ (назва розділу)

_____ (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент

_____ (посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище ім'я по батькові)

_____ (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____

(підпис)

Київ – 2020 року

АНОТАЦІЯ

В даній роботі розробляється цифровий вимірювач кута нахилу поверхні або ще називають інклінометр, на базі мікромехнічного датчика акселерометра ADXL345. Даний пристрій має один вимірювальний канал. Діапазон вимірювання від -180° до $+180^{\circ}$.

В ході роботи було спроектовано структурну, функціональну та принципову схеми пристрою, проведено аналіз та розрахунок похибок розроблено програмне забезпечення, також був створений макет пристрою.

Результатом проведеної роботи є розроблений цифровий вимірювач кута нахилу поверхні, який здатний швидко та точно визначити кут відхилення поверхні від горизонту чи вертикалі з точністю вимірювання до $0,1^{\circ}$. Даний вимірювач кута нахилу поверхні на основі мікромехнічного акселерометра може використовуватися для слюсарних, столярних, ремонтних та оздоблювальних робіт.

Також в ході роботи на дипломним проектом було розроблено розділ «Охорона праці».

ANNOTATION

In this work, a digital surface angle meter or also called an inclinometer is developed, based on a micromechanical accelerometer sensor ADXL345. This device has one measuring channel. Measuring range from -180° to $+180^{\circ}$.

In the course of the work the structural, functional and basic scheme of the device was designed, the analysis and calculation of errors was carried out, the software was developed, the model of the device was also created.

The result of this work is a developed digital meter of the angle of inclination of the surface, which is able to quickly and accurately determine the angle of deviation of the surface from the horizon or vertical with a measurement accuracy of up to 0.1° . This surface tilt washer based on a micromechanical accelerometer can be used for metalwork, carpentry, repair and finishing work.

Also in the course of work on the diploma project the section "Labor protection" was developed.

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою ІВТ

_____ проф. Володимир ЄРЕМЕНКО

" ____ " _____ 2020 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт

«Цифровий вимірювач кута нахилу поверхні»

ВМ61.010004.001 ТЗ

УЗГОДЖЕНО:

Керівник дипломного проєкту

(Посада)

(Прізвище І.ПБ.)

" ____ " _____ 2020 р.

Дипломник:

Ст. гр. ВМ-61-2

(Прізвище І.ПБ.)

" ____ " _____ 2020 р.

Залікова книжка _____

Київ 2020

1 ПРИЗНАЧЕННЯ І СКЛАД СИСТЕМИ

Цифровий вимірювач кута нахилу площини призначений для швидкого та точного вимірювання (за двома взаємно ортогональними осями X і Y) кута відхилення вимірюваної поверхні по горизонталі чи вертикалі.

Система складається із 3-х осевого датчика акселерометра який буде передавати вимірювану величину на мікроконтроллер, який в свою чергу буде оброблювати це значення та виводити на рідкокристалічний дисплей. Також в системі буде передбачене живлення від 9В, це буде забезпечувати гальванічний елемент типу "Крона". Вся система буде знаходитись в пластиковому корпусі.

2 ГАЛУЗІ ЗАСТОСУВАННЯ

Цифровий вимірювач кута нахилу поверхні призначений для слюсарних, столярних, ремонтних та оздоблюваних робіт. Також його можна використовувати в побутових цілях наприклад для встановлення пральної машинки, холодильника, різного типу котлів, телевізорів, дверей, вікон, карнизів, дзеркал, вбудованих кухонь. Стане в нагоді фотографам для встановлення штативу.

Цей пристрій може застосовуватися автономно або в складі розподіленої вимірювальної мережі для вимірювання кута нахилу, як на виробництві, так і в житлових або громадських будівлях. Прилад легко встановлюються на об'єкті випробувань, не вимагаючи підключення зовнішніх первинних перетворювачів.

3 ПІДСТАВИ ДЛЯ ВИКОНАННЯ РОЗРОБКИ

Підставою для розробки є завдання на дипломний проєкт, видане і затверджене кафедрою інформаційно-вимірювальних технологій Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

4 МЕТА ТА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОЗРОБКИ

Метою розробки є створення цифрового приладу для вимірювання кута нахилу площини з необхідними метрологічними характеристиками та функціональними можливостями.

Техніко-економічним обґрунтуванням розробки є створення системи з більш широкими функціональними можливостями, більш високими експлуатаційними та технічними характеристиками, низькою собівартістю (у порівнянні з аналогами).

5 ДЖЕРЕЛА РОЗРОБКИ

Джерелами розробки є:

- державні та галузеві стандарти;
- навчальні посібники, довідники, нормативні документи;
- науково-технічна література по проектуванню електронного обладнання.

6 ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

За технічними характеристиками прилад повинен відповідати ГОСТ 24151-80 та ГОСТ 15150 - 59.

Прилад має містити:

- набір чутливих елементів;
- вимірюючий блок.

6.1 Технічні вимоги та метрологічні вимоги

Розроблюваний блок системи цифрового вимірювача кута нахилу поверхні, має складатися із модуля вводу вимірювальної величини (3-х осевий датчик акселерометра), блоку обробки сигналу і даних (мікроконтроллер), блок виведення інформації на рідкокристалічний дисплей і забезпечити наступні метрологічні характеристики:

- Діапазон вимірювання кута нахилу від -180 до 180 градусів відповідно.
- Абсолютна похибка вимірювання не перевищує 1,0 градус.
- Число чутливих елементів 1.
- Час вимірювання приладу не більше 0,5 с.
- Число розрядів 4.

На виході десятковий код.

6.2 Вимоги до часу встановлення робочого режиму

Прилад повинен зберігати свою працездатність і метрологічні характеристики при безперервній роботі протягом не менше 8 годин. При більшій тривалості безперервної роботи приладу повинні бути регламентовані зупинки на період не більше 30 хвилин.

6.3 Вимоги, що визначають технічні та експлуатаційні характеристики

Відповідно з областю застосування вид кліматичного виконання приладу визначається згідно ГОСТ 15150-69, ГОСТ 22261-94. Згідно з цими документами пристрій повинен зберігати свої параметри в границях норм протягом с періоду служби та періоду зберігання.

Значення впливаючих величин, які характеризують кліматичну взаємодію в нормальних умовах застосування і допустимі відхилення від них повинні відповідати значенням, вказаним в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Нормальні умови застосування

Впливаюча величина	Нормальне значення	Допустиме відхилення від нормального значення при дослідженнях
Температура навколишнього повітря, °С	20	±0.5
Відносна вологість повітря, %	30-80	—
Атмосферний тиск, кПа	84-106	
Область частот, Гц	45-65	

Значення впливаючих величин, що характеризують кліматичний вплив в робочих умовах застосування вказані в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Значення впливаючих величин

Впливаюча величина	Значення впливаючої величини	Примітки
Температура навколишнього повітря, °С		
нижнє значення	10	
верхнє значення	50	
Максимальне значення відносної вологості повітря при 25 °С, %	80	—
Атмосферний тиск, кПа	70-106,7	
Умови транспортування	не встановлюються	

6.4 Вимоги до електроживлення

Живлення повинно здійснюватися від джерела постійної напруги +9В, можливий діапазон живлення 5-20В.

6.5 Вимоги до конструктивної будови

Конструкція системи і технологія її виготовлення повинна відповідати вимогам ГОСТ В 20.39.308-76, ГОСТ В 20.304-76 і забезпечувати задані показники якості в умовах експлуатації. Маса системи повинна бути не більше 150г. Габаритні розміри повинні бути не більше 135x70x30 мм.

Система повинна зберігати свої характеристики в межах норм, встановлених у цьому технічному завданні: під час перебування в робочих кліматичних умовах застосування відповідно до таблиці 6.1; в граничних кліматичних умовах відповідно до таблиці 6.2 і подальшого перебування в нормальних (робочих) умовах застосування протягом часу витримки, встановленого в технічних умовах.

Колір і забарвлення зовнішніх поверхонь системи повинна бути стійкою до умов експлуатації, передбачених цим ТЗ, і відповідати вимогам ГОСТ В 20.39.308-76.

6.6 Вимоги до перешкодозахищеності

Система повинна зберігати працездатність і метрологічні характеристики при впливі на неї індустриальних перешкод, що не перевищують норм, передбачених в «нормах допустимих індустриальних перешкод» (Норми 1-72 - 9-72).

Система не повинна бути джерелом індустріальних перешкод з рівнем, що перевищує вимоги ГОСТ 29216.

Засоби та методи, що застосовуються для захисту від перешкод повинні відповідати ГОСТ 30375-95, ГОСТ 30375-76.

6.7 Вимоги до надійності

Кількісні значення показників надійності вибираються згідно ГОСТ 22261 - 94.

- середнє напрацювання на відмову - не менше 25 000 ч;
- середній термін служби до першого капітального ремонту - не менше 8 років.

6.8 Вимоги до засобів, методів і умов повірки

Умови проведення повірки повинні відповідати вимогам ГОСТ 8.395.

7 ЕТАПИ РОЗРОБКИ

Етапи розробки, оформлення та узгодження дипломного проєкту наведено в табл. 7.1.

Таблиця 7.1 – Етапи розробки дипломного проєкту

№ п/п	Найменування етапу	Дата
1	Розробка та узгодження технічного завдання	12.05.2020
2	Огляд аналогічних рішень	13.05.2020
3	Проектування схеми електричної структурної пристрою	15.05.2020
4	Проектування схеми електричної функціональної пристрою	20.05.2020
5	Проектування схеми електричної принципової пристрою	22.05.2020
6	Аналіз похибок вимірювального каналу	23.05.2020
7	Розрахунок похибок вимірювального каналу	25.05.2020
8	Розроблення питань охорони праці	28.05.2020
9	Розроблення програмного забезпечення дипломного проєкту	01.06.2020
10	Оформлення графічних матеріалів	02.06.2020
11	Оформлення пояснювальної записки	04.06.2020
12	Попередній захист дипломного проєкту	05.06.2020
13	Рецензування дипломного проєкту	до 10.06.2020
14	Захист дипломного проєкту	до 17.06.2020

Всі стандарти що використовуються в даному ТЗ на ДП є чинними на території України.

№рядка	Формат	Познака	Найменування	Аркушів	№ екз.	Примітки	
1			<u>Альбом 1</u>				
2							
3			<u>Документація загальна</u>				
4			<u>Заново розроблена</u>				
5	A4	BM61.010004.001 ТП	Відомість технічного проєкту	1	1		
6	A4	BM61.010004.002 ПЗ	Пояснювальна записка	74	1		
7	A4	BM61.010004.001 ТЗ	Технічне завдання	8	1		
8							
9	A4	BM61.010004.003 ПЕЗ	Цифровий вимірювач кута нахилу поверхні				
10			Перелік елементів	2	1		
11							
12			<u>Альбом 2</u>				
13							
14			<u>Графічна документація</u>				
15			<u>Розроблена заново</u>				
16	A1	BM61.010004.001 E1	Цифровий вимірювач кута нахилу поверхні				
17			Схема електрична структурна	1	1		
18							
19	A1	BM61.010004.002 E2	Цифровий вимірювач кута нахилу поверхні				
20			Схема електрична функціональна	1	1		
21							
22	A1	BM61.010004.002 E3	Цифровий вимірювач кута нахилу поверхні				
23			Схема електрична принципова	1	1		
				BM61.010004.001 ТП			
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата			
Розроб.		Кузьменко В.С.			Цифрови вимірювач кута нахилу поверхні	Відомість технічного проєкту	
Перев.		Стаценко О.В.					
Тех.контр.		Стаценко О.В.					
Н.контр.		Богомазов С.А.					
Затвердж.							
					Лім.	Аркуш	Аркушів
					Т	1	1
				КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ІВТ, гр. BM61-2			

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту**

на тему: «Цифровий вимірювач кута нахилу поверхні»

Київ – 2020 року

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПІДХОДІВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ КУТА НАХИЛУ ПОВЕРХНІ	7
1.1 Области застосування та визначення кута нахилу.....	7
1.2 Прилади для вимірювання кута нахилу	8
1.2.1 Буссоль і екліметр.....	9
1.2.2 Кутомір.....	9
1.2.3 Теодоліт та тахеометр	10
1.3 Типи МЕМС акселерометрів та огляд аналогів.....	11
1.3.1 Типи існуючих мікромеханічних акселерометрів.....	11
1.3.1.1 Ємнісні акселерометри	12
1.3.1.2 П'єзорезистивні акселерометри	13
1.3.1.3 П'єзоелектричні акселерометри	14
1.3.2 Вибір трьохкомпонентного мікромеханічного акселерометра.....	15
1.3.3 Огляд аналогів.....	15
2 РОЗРОБКА СХЕМНИХ РІШЕНЬ ЦИФРОВОГО ВИМІРЮВАЧА КУТА НАХИЛУ ПОВЕРХНІ	19
2.1 Розробка та опис схеми структурної електричної	19
2.2 Розробка та опис схеми функційної електричної.....	23
2.2.1 Позначення використані на функційній схемі:	23
2.2.2 Прицип функціонування	24
2.2.3 Опис інтерфейсу I2C.....	27
2.2.3.1 Принцип підключення	27
2.2.3.2 Прицип роботи.....	28
2.2.3.3 Підтвердження	29

					BM61.010004.001 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Цифровий вимірювач кута нахилу поверхні Пояснювальна записка	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розроб.	Кузьменко В.С.					0	1	3
Перевір.	Стаценко О.В.					КПІ ім Ігоря Сікорського каф.ІВТ, гр. BM61-2		
Н. контр.	Богомазов С.А.							
Затв.	Єременко В.С.							

2.2.3.4 Синхронізація	29
2.2.3.5 Адресація в шині I2C	30
2.2.3.6 Переваги та недоліки	33
2.2.4 Алгоритм роботи цифрового вимірювача кута нахилу поверхні.....	33
2.3 Розробка та опис схеми принципової електричної	35
2.3.1.1 Опис та характеристика стабілізатора UA78M05.....	36
2.3.1.2 Опис та характеристика стабілізатора MIC5205-3.3.....	37
2.3.2 Принципова схема та опис датчика трьохосевого акселерометра цифрового вимірювача кута нахилу поверхні.....	38
2.3.2.1 Призначення виводів ADXL345	40
2.3.2.2 Додаткові функції датчика	41
2.3.3 Принципова схема та опис мікроконтролера ATMEGA168PA.....	43
2.3.3.1 Живлення.....	45
2.3.3.2 Характеристики	45
2.3.3.3 Входи та виходи.....	46
2.3.3.4 Програмування.....	48
2.3.4 Принципова схема та опис індикатора цифрового вимірювача кута нахилу поверхні	48
2.3.4.1 Розпінування виводів індикатора.....	51
3 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	52
3.1 Частина декларації	52
3.2 Частина ініціалізації.....	54
3.3 Головний цикл.....	55
4 АНАЛІЗ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК.....	57
4.1 Визначення наявності та характеристик систематичної похибки в приладі.....	58

4.2	Визначення метрологічних характеристик випадкової складової похибки.....	61
4.3	Визначення взаємного впливу вимірюючих каналів.....	62
5	ОХОРОНА ПРАЦІ	63
5.1	Технічні заходи, які забезпечують електробезпеку під час експлуатації цифрового вимірювача кута нахилу.....	65
5.2	Комфортні умови праці в робочій зоні, вимоги до температури та вологості приміщень	65
5.3	Заходи по забезпеченню пожежної безпеки під час експлуатації приладу.	68
5.4	Рекомендації щодо визначення оптимальних джерел штучного освітлення з метою їх ефективного застосування	69
5.5	Висновок	72
	ВИСНОВКИ	73
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	74

					ВМ61.290004.001 ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		4

ВСТУП

Для визначення кута нахилу різних об'єктів відносно гравітаційного поля Землі застосовується вимірюючий пристрій під назвою цифровий вимірювач кута нахилу поверхні або ще називають інклінометр.

Інклінометрія є дуже перспективним та широким напрямком для навчально-технічних розробок і являє собою сукупність методик вирішення геологічних завдань, вона в себе включає сукупність сучасних та новітніх розробок з таких областей наук, як гіроскопія, математика, електроніка та мікроелектромеханічні системи(МЕМС).

З часом і розвитком нових технологій інклінометрія здобула дуже широке розповсюдження в будівництві для знаходження відхилень від горизонталі усіляких об'єктів. Розробкою та виготовленням інклінометричних систем займаються вітчизняні та зарубіжні компанії.

Наші провідні підприємства та їх науково-технічні досягнення в приладобудівній галузі показують, що на основі власних розробок вони мають змогу створювати свої цифрові вимірювачі кута нахилу поверхні, які є конкурентноспроможними на світовому ринку за вартістю та технічними характеристиками.

Іншою дуже важливою задачею є мінімізація розмірів приладу для зручності використання та його ергономіка.

Перелічені задачі вимагають додаткового дослідження та вивчення. Це значить, що всі зусилля, направлені на виготовлення та вдосконалення інклінометричних систем є своєчасними і актуальними.

Для мінімізації габаритів пристрою на сьогоднішній момент використовують електронні мікромеханічні компоненти, або так звані МЕМС-системи, МЕМС-системи становлять собою прилади, які об'єднують в собі мікромеханічні та мікроелектронні компоненти.

					<i>BM61.010004.001 ПЗ</i>	Арк.
						5
<i>Змін.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

У проєкті що розробляється буде використано мікромеханічний акселерометр, тобто датчик, який здатний вимірювати проекцію вектора прискорення гравітації на дві його чутливі осі.

Визначається кут нахилу за величинами виміряних проекцій.

Цифрові вимірювачі кута нахилу поверхні на основі мікромеханічного акселерометра повинні мати дуже низьке споживання електроенергії, унікально малу масу та розміри, можливість функціонування в повсякденних умовах експлуатації, відсутність рухомих вузлів та меншу ціну ніж їхні традиційні аналоги.

Розроблюваний цифровий вимірювач кута нахилу поверхні передбачається використовувати для слюсарних, столярних, ремонтних та оздоблюваних робіт. Також його можна використовувати в побутових цілях наприклад для встановлення пральної машинки, холодильника, різного типу котлів, телевізорів, дверей, вікон, карнизів, дзеркал, вбудованих кухонь. Стане в нагоді фотографам для встановлення штативу

Метою цього проєкту є розробка та виготовлення цифрового вимірювача кута нахилу поверхні на базі мікромеханічного акселерометра, який дозволить вимірювати кут нахилу з точністю до 1,0 градуса.

Для досягнення поставленої мети є вирішення наступних задач:

- проведення інформаційного пошуку;
- розробка структурної, функціональної, принципової схем приладу;
- розробка програмного забезпечення;
- визначення похибки приладу;
- розробка макету цифрового вимірювача кута нахилу поверхні.

					<i>BM61.010004.001 ПЗ</i>	Арк.
						6
<i>Змін.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПІДХОДІВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ КУТА НАХИЛУ ПОВЕРХНІ

1.1 Области застосування та визначення кута нахилу

Безпека будівель, споруд, промислових і соціальних об'єктів в процесі будівництва і експлуатації має важливе значення. Контроль за їх станом є відповідальним завданням. Датчики нахилу інклінометри застосовуються при деформаційному моніторингу, коли необхідно виявити кут відхилення об'єктів від вертикальної осі, щоб уникнути виникнення дефектів конструкцій. За допомогою цифрового вимірювача кута нахилу вимірюються кути крену висотних будівель, опор і прольотів мостових споруд, тунелів, гідротехнічних об'єктів, промислових труб, антенних опор, свердловин і шахт.

Також інклінометри використовують:

- у гірничій справі інклінометром визначають кут і азимут викривлення свердловини, тим самим контролюючи її просторове положення;
- у підймальних кранах інклінометри застосовуються для контролю робочого і залишкового прогинів стріли, а також для контролю кута нахилу крана в цілому. Опосередковано, за свідченнями декількох інклінометров, може вимірюватися навантаження на стрілу;
- контроль безпечних кутів нахилу автокранів і землерийних машин, особливо – великих;
- контроль стану опор мостів, трубопроводів;
- стеження за станом архітектурних споруд;
- безпосереднє вимірювання кутів нахилу транспортних магістралей з рухомого транспортного засобу;
- Контроль кута нахилу кузова автомобіля в протиугінних системах.

					ВМ61.010004.001 ПЗ	Арк.
						7
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Інклінометри вимірюють кут орієнтації об'єкта відносно сили тяжіння. Це може бути зроблено за допомогою акселерометра, який контролює ефект гравітації на малих масах, підвішених в пружною опорної конструкції. Коли пристрій нахиляється, ця маса буде переміщуватись, викликаючи зміну ємності між масою і несучою структурою. Кут нахилу розраховується за вимірними ємностями.

Під кутом нахилу поверхні розуміють кут (рис.1.1), що утворений лінією найбільшого нахилу поверхні MN та її проекцією на горизонтальну площину M_1N_1 [1].

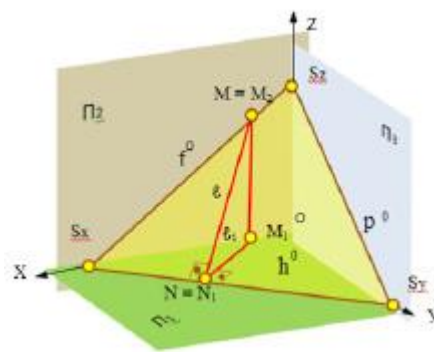


Рисунок 1.1 – Лінія найбільшого нахилу поверхні

Для вимірювання цього кута використовують спеціальні прилади, що мають назву інклінометри. Ці прилади окрім вимірювання нахилу також можуть вимірювати напрям розташування приладу. За конструкцією розрізняють інклінометри рідинні, маятникові, магнітні, фотооптичні, електромагнітні та гіроскопічні.

1.2 Прилади для вимірювання кута нахилу

Для вимірювання кута нахилу окрім інклінометрів є велике різноманіття пристроїв. Для прикладу розглянемо найбільш розповсюджені, такі як: буссоль і екліметр, кутомір, теодоліт та тахеометр.

					<i>BM61.010004.001 ПЗ</i>	Арк.
						8
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2.1 Буссоль і екліметр

Ці два пристрої можуть використовуватися в одному виді робіт, яка зветься бусольною зйомкою. Вона застосовується в місцевості, де немає можливості застосовувати теодолітні ходи, тахеометричні зйомки. Особливу цінність при крутих зйомках, круто похилих і похилих гірничих виробок в рудниках має підвісна буссоль, використовувана до нашого часу.

Бусоллю вимірюють магнітні азимути всіх сторін ходу, по різниці яких можна визначити горизонтальні кути. На планах графічним способом вибудовують лінії бусольного ходу із застосуванням транспортира при відкладанні азимутів (або горизонтальних кутів) і з використанням поперечного масштабу і циркуля при побудові довжин ліній ходу. При прокладанні бусольного ходу для отримання вертикальних кутів між точками використовують підвісний екліметр.

Він являє собою металеве півколо зі шкалою і підвісом, що кріпиться в його центрі. В разі кріплення півкола на натягнуті між точками ходу шнури беруть відліки по прямовисній лінії, що проходить через шкалу екліметра. Ці відліки відповідають значенням вертикальних кутів ліній бусольного ходу, які необхідні для визначення горизонтальних прокладань цих сторін.

1.2.2 Кутомір

Наступним приладом, що служить для вимірювання кутів, що застосовується в маркшейдерському виробництві, безумовно, вважається кутомір гірський. Цей інструмент використовується для визначення лінії і форми очисного забою в підземних гірничих виробках вугільних шахт. Розвиток і застосування таких приладів проходило протягом практично всього радянського періоду країни, останній з них У-60 випускався зі спеціальними візирними марками.

					<i>ВМ61.010004.001 ПЗ</i>	Арк.
						9
<i>Змін.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Точність вимірювання кутів такими приладами відносно не висока, але цілком достатня для тих робіт, які виконуються з їх допомогою. Залежить вона в першу чергу від точності зняття відліків і ціни поділу механічної частини шкали, а саме: відлікового пристрою лімба з додатковими шкалами (ноніус, верньєр).

1.2.3 Теодоліт та тахеометр

Найбільш широко використовуваними інструментами для вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів в сучасній геодезії і маркшейдерії є теодоліти. Основним критерієм, за яким розділяють теодоліти на різні типи, вважається точність вимірювань. З них можна виділити:

- високоточні прилади Т-1 (ТБ-1), Т-05, з точністю вимірювань відповідно 1,0 і 0,5 секунд;
- точні прилади Т-2 і Т-5, по точності кутових вимірювань відповідно 2 і 5 секунд;
- інструменти технічної точності серій Т-15, Т-30, з вимірами кутів точністю 15 і 30 секунд відповідно.

Числові величини в маркуваннях сучасних теодолітів відповідають значенням, з дев'яноста п'яти відсотковою ймовірністю, середньоквадратичної похибки вимірювання кута.

Відомо, що для визначення просторового положення точок використовуються вимірювання кутів у вертикальній площині або як їх називають вертикальних кутів. Для цього в кутоміри, теодоліти, конструктивно влаштований вертикальний круг вимірювань. В останні десятиліття технічні удосконалення і технологічний розвиток позначилося і на нових пристроях теодолітів. З'явилися нові модифікації і в залежності від призначення цих пристроїв виділяють:

- оптичні теодоліти маркшейдерські;
- гіроскопічні теодоліти;

					<i>ВМ61.010004.001 ПЗ</i>	Арк.
						10
<i>Змін.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

- фототеодоліта;
- електронні теодоліти;
- електронні тахеометри.

1.3 Типи MEMC акселерометрів та огляд аналогів

Останнім часом широке розповсюдження отримали інклінометри, у яких в якості чутливого елемента використовуються трьохосьові акселерометри, побудовані на основі мікро електромеханічних систем (MEMS). При цьому використовується ефект гравітації на малих масах, підвішених в пружній опорній конструкції. Коли інклінометр знаходиться в горизонтальному положенні, то вимірюється ємність між електродами. Якщо датчик нахилений, рухома маса і його контакт змінять положення щодо нерухомого електрода. Це призведе до зміни ємності між масою і несучою структурою. Кут нахилу розраховується за вимірними ємностями.

1.3.1 Типи існуючих мікромеханічних акселерометрів

Особливістю мікромеханічного акселерометра є виготовлення чутливих елементів цих приладів з матеріалів на основі кремнію з кремнієвої технології, що зумовлює:

- малі габарити і масу приладів;
- можливість застосування групової технології;
- невисоку вартість виготовлення при масовому виробництві;
- високу надійність в експлуатації.

					<i>BM61.010004.001 ПЗ</i>	Арк.
						11
<i>Змін.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

1.3.1.1 Ємнісні акселерометри

Основним елементом таких акселерометрів є інерційна маса. Її рух відстає від руху корпусу датчика. головним призначенням інерційної маси є виявлення переміщення цієї маси щодо корпусу пристрою і перетворення його в пропорційний електричний сигнал. Звідси випливає, що другим основним елементом ємнісного акселерометра є детектор переміщень, який може вимірювати мікроскопічні амплітуди лінійних прискорень або вібраційних коливань[2].

Ємнісний акселерометр з диференціальним конденсатором (рис.1.2).

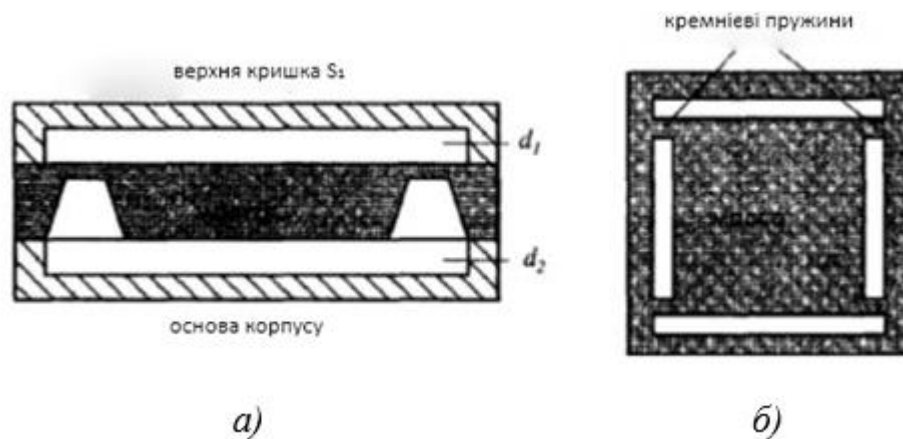


Рисунок 1.2 – Ємнісний акселерометр з диференціальним конденсатором

- а) – поперечний переріз акселерометра;
- б) – вид зверху на інерційну масу, підтримувану чотирма кремнієвими пружинами.

Ємнісний акселерометр складається з різних пластин. Одні пластини є стаціонарними, а інші пластини вільно переміщуються всередині корпусу. Між пластинами утворюється конденсатор, величина ємності якого залежить від відстані між пластинами. Під впливом сили прискорення ємність конденсатора змінюється. Ємнісний метод перетворення переміщення в електричний сигнал є

найбільш точним і надійним, це означає, що ємнісні акселерометри найбільш розповсюджені в порівнянні з іншими. У таких датчиків елементи конструкції виробляються на кремнієвій підкладці методами мікротехнологій.

1.3.1.2 П'єзорезистивні акселерометри

У п'єзорезистивних акселерометрів чутливим елементом є тензодатчик, який вимірює деформацію пружин, що підтримують інерційну масу. Вимірjana деформація пропорційна швидкості переміщення маси, а отже, і прискоренню. П'єзорезистивний (рис.1.3) акселерометр з широким динамічним діапазоном фірми Endevco / Allied Signal Aerospace Co (Sunnyvale, CA).

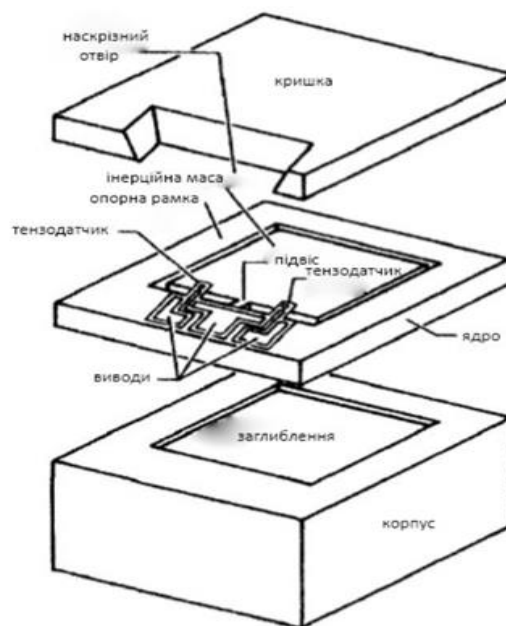


Рисунок 1.3 – Пристрій п'єзорезистивного акселерометра

Пристрій складається з трьох шарів кремнію. Середній шар складається з інерційної маси і пружною підтримуючою конструкції. Маса фіксується методом травлення всередині рамки на підвісі, з двох сторін якого прикріплені тензодатчики, які фіксують рух інерційної маси. Решта два шари являють собою кришку і

					VM61.010004.001 ПЗ	Арк.
						13
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

підстава. Вони захищають середній шар від забруднення і зовнішнього стороннього впливу. П'єзорезистивного акселерометри вимірюють прискорення в широкому частотному діапазоні від 0 до 13 кГц і здатні витримувати перевантаження, рівну 10000g.

1.3.1.3 П'єзоелектричні акселерометри

Чутливим елементом такого акселерометра є п'єзокераміка. На рисунку 1.4 представлена структура п'єзоелектричного акселерометра. При впливі прискорення на датчик, виникає різниця переміщень кожуха і інерційної маси. Це призводить до появи сили, що діє на кристал. Вихідний сигнал датчика прямопропорційний прискоренню.

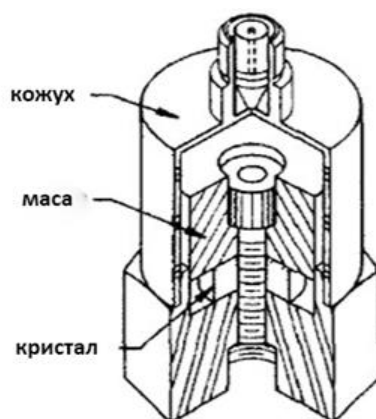


Рисунок 1.4 – Структура п'єзоелектричного акселерометра

П'єзоелектричні датчики вимірюють прискорення в частотному діапазоні від 2 Гц до 5 кГц і володіють високою лінійністю і широким температурним діапазоном до 120 С.

1.3.2 Вибір трьохкомпонентного мікромехічного акселерометра

В даний час існують акселерометри з аналоговими і цифровими виходами. Головною особливістю аналогових акселерометрів є їх низька ціна, але при їх експлуатації буде потрібно підключення зовнішніх фільтрів і аналогово-цифрового перетворювача. Аналоговий акселерометр підключається до аналогового-цифрового перетворювача через фільтр нижніх частот. Цифрові акселерометри не вимагають додаткових розрахунків, так як вони не мають потреби в підключенні зовнішніх компонентів. Це означає, що час на розробку пристроїв з їх використанням скорочується. Однак, їх вартість вище, ніж у аналогових акселерометрів. Виходячи з перерахованих переваг і недоліків, при розробці інклінометра буде використовуватися цифрової акселерометр. Зробивши аналіз по лінійці вже існуючих цифрових акселерометрів, найбільш підходящим виявився трикомпонентний акселерометр ADXL345.

Проаналізувавши технічні параметри можна зробити наступні висновки:

- акселерометр має досить великий діапазон вимірювань;
- датчик має низьку вартість;
- присутня бічна чутливість, яка означає, що при русі строго по одній з осей, на другий буде теж спостерігатися невелике рух;
- використовується послідовний протокол обміну даними I2C, який передбачає простоту розробки при хорошій швидкості роботи;
- діапазон температури МЕМС-акселерометра входить в робочий діапазон температур розроблюваного інклінометра.

1.3.3 Огляд аналогів

На сьогоднішній момент існують два види інклінометра:

- електричний;

					<i>BM61.010004.001 ПЗ</i>	Арк.
						15
<i>Змін.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

- гіроскопічний.

Розглянемо ці два види на прикладі двох інклінометрів: СМІК. БСГ[3] і УГИ-42[4]. Порівняльний аналіз параметрів двох типів цифрових вимірювачів кута нахилу поверхні представлена в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняльний аналіз параметрів двох типів інклінометра

Критерій порівняння	Електричний інклінометр (СМІК. БСГ)	Гіроскопічний інклінометр (УГИ-42)
Склад приладу	Реалізований на основі чутливого елемента двохосьового акселерометра. Чутливим елементом є диференційний конденсатор	В склад блоку електроніки входять джерела живлення датчика кутової швидкості, акселерометрів та двигуна розвороту корпусу гіроскопа
Точність вимірювання, градуси	±0,03	±0,1
Діапазон вимірювання, градуси	від -30 до +30 по всіх осях	по зенітному куту: 0...180 по азимуту: 0...360 по куту тангажа: 0...360
Умови навколишнього середовища	від -30 °С до +60 °С	-10°С до +105°С
Максимальний робочий тиск	10 МПа	45 МПа
Габарити	(95×84×35) мм, маса 0,26 кг	(320×280×140) мм, маса 3 кг

Продовження таблиці 1.1

Область застосування	Для вимірювання кутів нахилу інженерних несущих конструкцій будинків та споруд	В нафтогазовій, гірничорудній, вугільнодобувній та сфері будівництва
Надійність, довговічність	Висока, термін експлуатації 10 років	Низька, 12 місяців
Витрати на електроенергію	Напруга постійного струму 24 В	220/50Гц 50Вт
Джерело енергії	Електрична мережа	Електрична мережа
Вартість	Висока	Висока

Після проведеного порівняльного аналізу двох типів інклінометрів для реалізації проекту було обрано в якості аналога інклінометр електричного типу, який володіє наступними перевагами:

- використаний ємнісний метод перетворення переміщення в електричний сигнал. Даний метод є дуже надійним через високий поріг чутливості і невеликій інерційності;
- малі габарити і маса, які дозволяють переміщати інклінометр без зусиль;
- високий термін експлуатації і надійність дають можливість використовувати прилад без частого калібрування і ремонту;
- висока точність дає на виході інклінометра максимально близьке до істинного значення кута нахилу;
- використовується для вимірювання кутів нахилу інженерних несучих конструкцій будівель і споруд.

До недоліків відносяться наступні критерії:

- значний вплив зовнішніх електромагнітних полів;
- висока вартість, обумовлена дорогою електронікою і програмним забезпеченням;
- малий діапазон виміру кута нахилу;
- відсутність можливості автономного електроживлення. При розробці інклінометра в рамках дипломної роботи будуть враховані перераховані вище недоліки.

2 РОЗРОБКА СХЕМНИХ РІШЕНЬ ЦИФРОВОГО ВИМІРЮВАЧА КУТА НАХИЛУ ПОВЕРХНІ

2.1 Розробка та опис схеми структурної електричної

Цифровий вимірювач кута нахилу поверхні має у своєму складі два вимірювальних канали. У якості первинного перетворювача будемо використовувати датчик 3-х осевого цифрового акселерометра. Структурна схема цифрового вимірювача кута нахилу поверхні показана на рисунку 2.1.

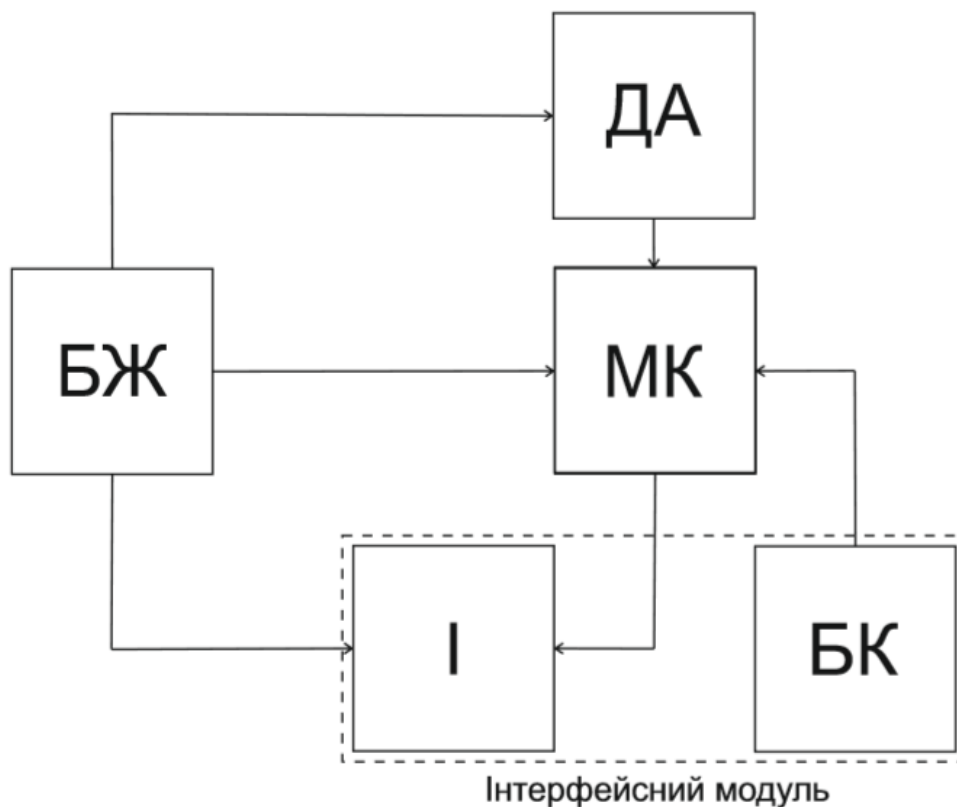


Рисунок 2.1 – Структурна схема цифрового вимірювача кута нахилу поверхні

На рисунку 2.1 позначено:

- БЖ – блок живлення;
- ДА – 3-х осевий акселерометр;

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

ВМ61.010004.001 ПЗ

Арк.

19

- МК – мікроконтроллер;
- І – індикатор;
- БК – блок клавіш.

Блок живлення являє собою гальванічний елемент типу «Крона» він має напругу 9 В та ємність приблизно 625 мА ч. Цей блок живить всі елементи структурної схеми. Його перевагами є :

- ідеальний для енергоємних пристроїв та вимірюючого обладнання;
- надійний;
- довготривалий термін використання;
- мінімальні токо-втрати протягом терміну зберігання;
- не тече та не вибухає;
- відмінна ціна.

3-х осевий цифровий акселерометр на основі чіпу ADXL345, це електромеханічний пристрій, що надає інформацію про сили, що діють на об'єкт або впливають на нього. Як тільки прискорення об'єкта в кожному вимірі отримано, послідовні інтегральні обчислення можуть використовуватися для обчислення швидкості і відстані, пройденого об'єктом. Швидкість зміни швидкості дає прискорення, яке можна інтерпретувати як кут нахилу.

Мікромеханічні акселерометри, які відносяться до мікромеханічної системи (MEMS), використовуються в цій роботі завдяки їх малим розмірам (менше 2 мм), високої надійності, легкої інтеграції з електронними пристроями, прийнятної точності, високої стійкості до ударів, низькому енергоспоживанню і низькому енергоспоживанню. Вони реалізують кілька типів прискорень, таких як похідні (ривок, стрибок), інтеграли (швидкість, положення). Останнім часом з розвитком технологій постійно з'являються несподівані застосування, наприклад, підводне обладнання, аерокосмічні пристрої, годинники, обладнання для підводного плавання.

					<i>BM61.010004.001 ПЗ</i>	Арк.
						20
<i>Змін.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Інше і важливе застосування акселерометра - вимір нахилу. Нахил - це статичний вимір, в якому вимірюється сила прискорення, і це вимір використовується для позиціонування, накладення, вирівнювання і навігації. У додатках для вимірювання нахилу на ринку стільникового зв'язку використовуються параметри меню, компенсація електронного компаса, управління параметрами меню, управління зображенням і вибір функцій на основі різних вимірів кута нахилу. У медичних областях вимір нахилу дозволяє точно контролювати артеріальний тиск. Вони також використовуються в якості зворотнього зв'язку для нахилу лікарняних ліжок або стільців. Багато промислових застосувань вимагають точного вимірювань нахилу. До них відносяться стабілізація платформи, залізничні технології, моніторинг конструкції, промислові системи відліку, геодезичні вимірювання, наведення, вимір відстань.

3-осьовий акселерометр є найкращим акселерометром для вимірювання нахилу через чутливість до похибки вирівнювання осі нижче 0,1 градуса.

Тобто, наш 3-х осевий цифровий акселерометр представляє собою датчик, який вимірює проєкції прискорення на три просторові осі (x,y,z).

Знаючи ці вимірювання та враховуючи величину вільного падіння, можна визначити орієнтацію самого акселерометра в просторі. Цифрові результати вимірювання представляються в вигляді 16-розрядних чисел в додатковому коді через цифровий інтерфейс I2C.

Чутливість давача налаштовується(максимальна 4 mg/LSB). Частота оновлення інформації від 0,1 до 3200 Гц. Наруга живлення чіпу 2.0 – 3.6 В (можна житися з виходу 3.3В від мікроконтроллера), плата може бути підєднана і від 5В (є вбудований регулятор напруги), споживання струму під час роботи складає 23мкА.

Мікроконтроллер використовуємо АТmega168Р він отримує 16-розрядних чисел від 3-х осевого акселерометра через інтерфейс I2C та розраховує їх за певним алгоритмом, далі виводить результати розрахунків.

					<i>BM61.010004.001 ПЗ</i>	Арк.
						21
<i>Змін.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Об'єм пам'яті програм мікроконтролера ATmega168 становить 16 КБ (з них 2 КБ використовуються завантажувачем). Крім цього, ATmega168 має 1 КБ оперативної пам'яті SRAM і 512 байт EEPROM (для взаємодії з якої служить бібліотека EEPROM).

Контроллер може живитись як від Mini-B USB роз'єму або зовнішнього живлення 6-12В(пін "Vin") так і від 5В стабільного зовнішнього живлення (пін "5V"). Живлення переключається на джерело з більш високою напругою.

Після обробки мікроконтроллером дані відображаються на LCD дисплеї, він містить 2 рядки по 16 символів в кожному. На ньому ми можемо побачити кут нахилу поверхні по двом осям.

Дисплей підключається до ATmega168P через 4-х бітний порт передачі даних. Контрастність можна налаштувати, повернувши ручку потенціометра. Підсвічування екрану може бути вручну відключена під час роботи джампером. Розширення кожної комірки становить 5 x 8 точок. Створення нового символу зводиться до написання бітової маски, в якій одиниці означатимуть палаючі пікселі, а нулі - не горять. Дисплей LCD 1602 побудований на базі контролера серії HD44780 і живиться від 5 В.

Перевагами цього дисплею є :

- низька ціна;
- висока працездатність при будь-яких робочих температурах;
- невеликі габарити і вага;
- чітке відображення символів;
- можливість програмування будь-яких символів;
- широкий кут огляду;
- висока і регульована контрастність;
- апаратна реалізація курсора;
- зручні отвори в корпусі для надійного кріплення.

Блок клавіш містить в собі 3 клавіши та тумблер:

- "on/off" – ввімкнення та вимкнення;
- "zero" – встановлення "нуля";
- "units" – міра величини (градуси або радіани);
- "hold" – фіксація значення вимірюваного кута на індикаторі.

2.2 Розробка та опис схеми функційної електричної

Згідно розробленої структурної схеми цифрового вимірювача кута нахилу поверхні була розроблена схема електрична функційна цифрового вимірювача кута нахилу поверхні, що приведена в розділі графічних документів ВМ61.010004.001 Е2 та на рисунку 2.2.

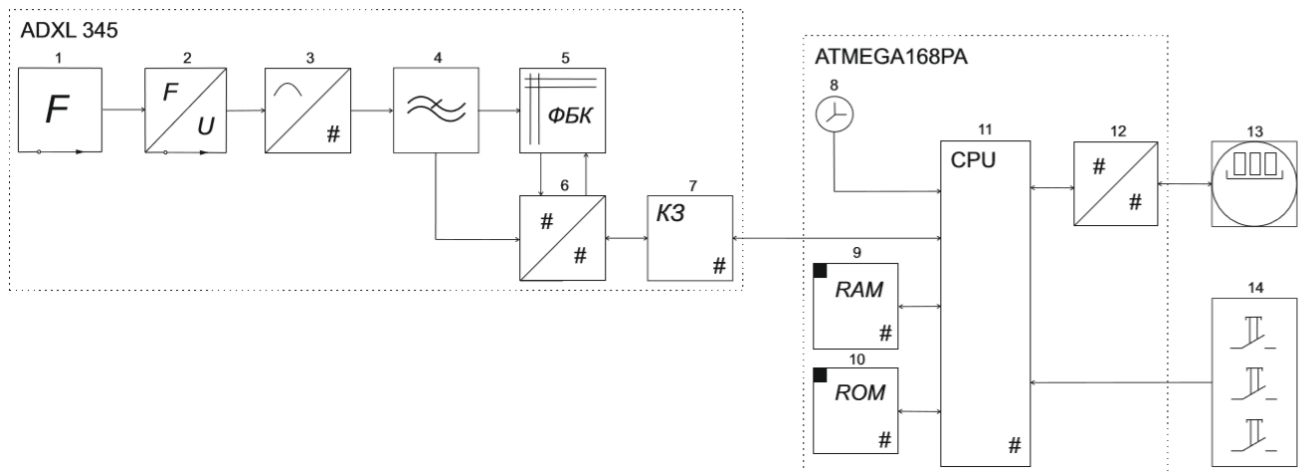


Рисунок 2.2 – Схема електрична функційна цифрового вимірювача кута нахилу поверхні

2.2.1 Позначення використані на функційній схемі:

- Блок 1 – 3-х осьовий датчик сили;
- Блок 2 – перетворювач сили в напругу;
- Блок 3 – аналого-цифровий перетворювач;

- Блок 4 – фільтр нижніх частот;
- Блок 5 – функціональний блок керування;
- Блок 6 – перетворювач кодів;
- Блок 7 – канал зв'язку, який представляє собою інтерфейс I2C.
- Блок 8 – таймер;
- Блок 9 – оперативна пам'ять;
- Блок 10 – постійний запам'ятовуючий пристрій;
- Блок 11 – мікропроцесор;
- Блок 12 – перетворювач кодів;
- Блок 13 – рідкокристалічний індикатор;
- Блок 14 – блок клавіш.

2.2.2 Прицип функціонування

Загалом функційна схема цифрового вимірювача кута нахилу поверхні складається з схеми 3-х осевого акселерометра ADXL345, схеми мікроконтролера ATMEGA168PA, рідкокристалічного дисплею та трьох клавіш управління.

Принцип визначення просторового положення цифрового вимірювача кута нахилу з 3-х осьовим MEMS акселерометром заснований на вимірюванні проекції вектора прискорення вільного падіння на вимірюючі осі акселерометра. В стані спокою ці величини не перевищують величини прискорення вільного падіння.

Чутливий елемент цього датчика являє собою полікремнієву поверхневу мікромеханічну структуру, побудовану на верхній частині кремнієвої пластини, це ми можемо побачити на рисунку 2.3. Полікремнієві пружини підвішують структуру над поверхнею пластини і надають опір силам сформованим за рахунок прикладеного прискорення.

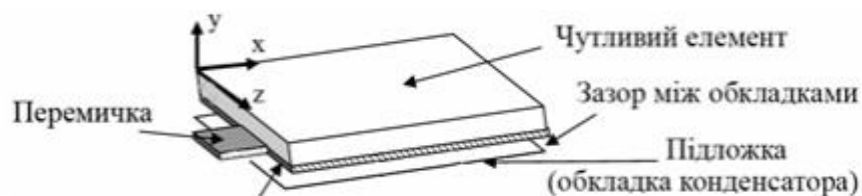


Рисунок 2.3 – Схема ємнісного МЕМС акселерометра

Відхилення конструкції вимірюється за допомогою диференціальних конденсаторів, які складаються з незалежних нерухомих пластин і пластин, прикріплених до рухомої маси. Прискорення відхиляє пластину і виводить диференціальний конденсатор зі стану рівноваги, внаслідок чого на виході датчика з'являється сигнал, амплітуда якого пропорційна прискоренню. Фазочутлива демодуляція використовується для визначення величини та полярності прискорення.

Вимірювання цим пристроєм здійснюється лише в стані спокою, оскільки при цьому на чутливий елемент діє лише сила тяжіння [5]. Розрахунок кута нахилу та кута орієнтації здійснюється шляхом обробки проєкцій вектору сили тяжіння на осі акселерометра (рис 2.4).

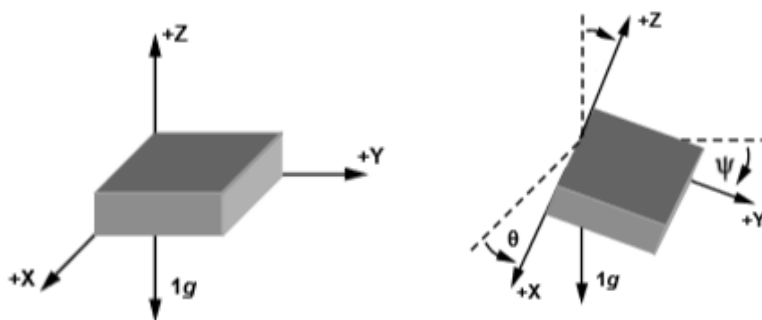


Рисунок 2.4 – Розміщення акселерометра на горизонтальній та довільній поверхні

Як можна побачити на наведеному рисунку, при горизонтальному розміщенні акселерометра, проєкція сили тяжіння на вісі X та Y дорівнюватиме

нулю, а проекція на вісь Z дорівнюватиме g. При розташуванні пристрою на поверхні, що нахилена під довільним кутом, для визначення кутів орієнтації $\theta(1)$ та нахилу $\psi(2)$, слід скористатися виразами:

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{A_{x,OUT}}{\sqrt{A_{y,OUT}^2 + A_{z,OUT}^2}} \right), \quad (1)$$

$$\psi = \tan^{-1} \left(\frac{A_{y,OUT}}{\sqrt{A_{x,OUT}^2 + A_{z,OUT}^2}} \right), \quad (2)$$

де A_x, A_y, A_z – це є проекції сили тяжіння на відповідні вісі.

Вимірювання кута нахилу поверхні здійснюється наступним чином. Датчик який ми бачимо в блоці 1, реагує на зміну величини сили тяжіння відносно свого положення в просторі, потім за допомогою перетворювача величина сили тяжіння в блоці 2 перетворюється в напругу. Напруга в свою чергу надходить в блок 3 до аналого-цифрового перетворювача, де перетворюється в дискретний код, а далі в фільтр нижніх частот, який подавляє всі частоти нижчі за частоту зрізу. Потім цей сигнал прямує до перетворювача коду та функціонального блоку керування в якому здійснюється логіка переривання та керування. Отриманий дискретний код через канал зв'язку прямує до мікроконтролера. В якості каналу зв'язку виступає інтерфейс I2C.

При отриманні сигналу що надійшов з 3-х осьового акселерометра, мікропроцесор обробляє цей код за певним алгоритмом, далі цей код прямує до перетворювача кодів, який перетворює двійковий код в десятковий та виводить його за допомогою послідовного інтерфейсу на рідкокристалічний індикатор. Також блок мікропроцесора ATMEGA168PA складається з таймеру, оперативної пам'яті розміром 256 байт та запам'ятовуючого пристрою розміром 16Кб.

Цифровий вимірювач кута нахилу поверхні має деякий функціонал, який розміщений в блоці 14, а саме це 3 кнопки які виконують певні функції, а саме:

- “zero” – встановлення нуля, тобто при натисканні цієї кнопки прилад буде вимірювати та показувати кут відносно початкового положення в просторі;

- “units” – відповідає за одиницю вимірювання, якою є градус або радіан:
- “hold” – зупиняє величину на індикаторі.

2.2.3 Опис інтерфейсу I2C

Інтерфейс I2C використовуємо для передачі даних від трьохосевого акселерометра до мікроконтролера.

I2C – послідовна асиметрична шина для зв'язку між інтегральними схемами всередині електронних приладів. Використовує дві двонаправлені лінії зв'язку (SDA і SCL), застосовується для з'єднання низькошвидкісних периферійних компонентів з процесорами і мікроконтролерами (наприклад, на материнських платах, у вбудованих системах, в мобільних телефонах).

2.2.3.1 Принцип підключення

Шина I2C синхронна, складається з двох ліній: даних (SDA) і тактів (SCL). Є ведучий (master) і відомий (slave). Ініціатором обміну завжди виступає ведучий, обмін між двома відомими неможливий. Всього на одній двухпроводній шині може бути до 127 пристроїв. Приклад схемотехніки шини I2C можемо побачити на рисунку 2.5. Показаний один ведучий (master) та три відомих (slave) пристрої. Підтягуючі резистори R_p обов'язкові.

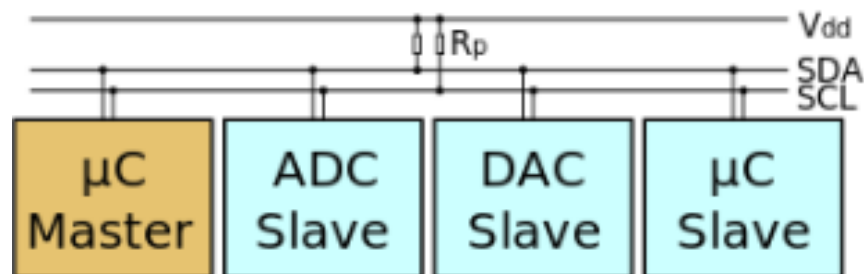


Рисунок 2.5 – Приклад схемотехніки шини I2C

Такти на лінії SCL генерує ведучий. Лінією SDA можуть керувати як ведучий так і відомий в залежності від напрямку передачі. Одиницею обміну інформації є пакет, обраний унікальними умовами на шині, які називали стартовою і стоповою умовами. Ведучий на початку кожного пакета передає один байт, де вказує адресу відомого і напрямку передачі наступних даних. Дані передаються 8-бітними словами. Після кожного слова передається один біт підтвердження прийому приймаючою стороною.

2.2.3.2 Прицип роботи

I2C використовує дві двонаправлені лінії, підтягнуті до напруги живлення і керовані через відкритий колектор або відкритий стік - послідовна лінія даних і послідовна лінія тактування, яку можна спостерігати на рисунку 2.6. Стандартні напруги +5 В або 3,3 В, однак допускаються й інші.

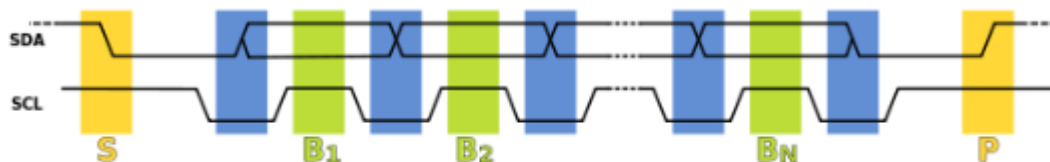


Рисунок 2.6 – Тактування послідовності передачі даних

Класична адресація включає 7-бітове адресний простір з 16 зарезервованими адресами. Це означає, що розробникам є до 112 вільних адрес для підключення периферії на одну шину.

Основний режим роботи - 100 кбіт / с; 10 кбіт / с в режимі роботи зі зниженою швидкістю. Також важливо, що стандарт допускає припинення тактування для роботи з повільними пристроями.

2.2.3.3 Підтвердження

Таким чином, передача 8 біт даних від передавача до приймача завершуються додатковим циклом (формуванням 9-го тактового імпульсу лінії SCL), при якому приймач виставляє низький рівень сигналу на лінії SDA, як ознака успішного прийому байта.

Підтвердження при передачі даних обов'язкове, крім випадків закінчення передачі відомою стороною. Відповідний імпульс синхронізації генерується провідним. Передавач відпускає (переводить в ВИСОКИЙ стан) лінію SDA на час синхроімпульсу підтвердження. Приймач повинен утримувати лінію SDA протягом ВИСОКОГО стану синхроімпульсу підтвердження в стабільному НИЗЬКОМУ стані.

У тому випадку, коли ведучий-приймач не може підтвердити свою адресу (наприклад, коли він виконує в даний момент будь-які функції реального часу), лінія даних повинна бути залишена в ВИСОКОМУ стані. Після цього ведучий може видати стан СТОП для переривання пересилання даних. Якщо в пересиланні бере участь ведучий-приймач, то він повинен повідомити про закінчення передачі відомому-передавачу шляхом непідтвердження останнього байта. Ведучий-передавач повинен звільнити лінію даних для того, щоб дозволити відомому видати стан СТОП або повторити стан СТАРТ.

2.2.3.4 Синхронізація

Синхронізація виконується з використанням підключення до лінії SCL за правилом монтажного І. Це означає, що ведучий не має монопольного права на управління переходом лінії SCL з НИЗЬКОГО стану в ВИСОКИЙ. У тому випадку, коли відомому необхідно додатковий час на обробку прийнятого біта, він має можливість утримувати лінію SCL в низькому стані до моменту

					<i>BM61.010004.001 ПЗ</i>	Арк.
						29
<i>Змін.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

готовності до прийому наступного біта. Таким чином, лінія SCL буде перебувати в НИЗЬКОМУ стані протягом найдовшого НИЗЬКОГО періоду синхросигналів.

Пристрої з більш коротким низькими періодом будуть входити в стан очікування на час, поки не скінчиться довгий період. Коли у всіх задіяних пристроїв скінчиться НИЗЬКИЙ період синхросигналу, лінія SCL перейде в ВИСОКИЙ стан. Всі пристрої почнуть проходити у ВИСОКИЙ період своїх синхросигналів. Перший пристрій, у якого скінчиться цей період, знову встановить лінію SCL в НИЗЬКИЙ стан. Таким чином, НИЗЬКИЙ період синхролінії SCL визначається найдовшим періодом синхронізації з усіх задіяних пристроїв, а ВИСОКИЙ період визначається найкоротшим періодом синхронізації пристроїв.

Механізм синхронізації може бути використаний приймачами як засіб управління пересиланням даних на байтовому і бітовому рівнях.

На рівні байта, якщо пристрій може приймати байти даних з великою швидкістю, але вимагає певний час для збереження прийнятого байта або підготовки до прийому наступного, то воно може утримувати лінію SCL в НИЗЬКОМУ стані після прийому і підтвердження байта, переводячи таким чином передавач в стан очікування .

На рівні бітів, пристрій, такий як мікроконтролер, без вбудованих апаратних схем I2C або з обмеженими ланцюгами, може уповільнити частоту синхроімпульсів шляхом продовження їх НИЗЬКОГО періоду. Таким чином швидкість передачі будь-якого провідного адаптується до швидкості повільного пристрою.

2.2.3.5 Адресація в шині I2C

Кожен пристрій, підключений до шини, може бути програмно адресований по унікальному адресу. Для вибору приймача повідомлення ведучий використовує унікальну адресу компоненту в форматі посилки. При

					<i>BM61.010004.001 ПЗ</i>	Арк.
						30
<i>Змін.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

використанні однотипних пристроїв ІС часто мають додатковий селектор адреси, який може бути реалізований як у вигляді додаткових цифрових входів селектора адреси, так і у вигляді аналогового входу. При цьому адреси таких однотипних пристроїв виявляються рознесені в адресному просторі пристроїв, підключених до шини.

У звичайному режимі використовується 7-бітова адресація.

Процедура адресації на шині І2С полягає в тому, що перший байт після сигналу СТАРТ визначає, який ведений адресується провідним для проведення циклу обміну. Виняток становить адресу «Спільного виклику», який адресує всі пристрої на шині. Коли використовується ця адреса, всі пристрої в теорії повинні послати сигнал підтвердження. Однак пристрої, які можуть обробляти «загальний виклик», на практиці зустрічаються рідко.

Перші сім бітів першого байта утворюють адреса відомого. Восьмий, молодший біт, визначає напрямок пересилки даних. «Нуль» означає, що провідний буде записувати інформацію в обраного веденого. «Одиниця» означає, що провідний буде зчитувати інформацію з відомого.

Після того, як адресу відправлений, кожен пристрій в системі порівнює перші сім біт після сигналу СТАРТ зі своєю адресою. При співпадині пристрій вважає себе обраним як відомий-приймач або як відомий-передавач, в залежності від біта напрямку.

Адреса відомого може складатися з фіксованої і програмованої частини. Часто трапляється, що в системі буде кілька однотипних пристроїв (наприклад, ІМС пам'яті, або драйверів світлодіодних індикаторів), тому за допомогою програмованої частини адреси стає можливим підключити до шини максимально можливу кількість таких пристроїв. Кількість програмованих бітів в адресі залежить від кількості вільних висновків мікросхеми. Іноді використовується один висновок з аналоговою установкою програмованого діапазону адрес. При цьому в залежності від потенціалу на цьому адресному виведення ІМС,

					<i>BM61.010004.001 ПЗ</i>	Арк.
						31
<i>Змін.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

можливий зсув адресного простору драйвера так, щоб однотипні ІМС не конфліктували між собою на загальній шині.

Всі спеціалізовані ІМС, що підтримують роботу в стандарті шини I2C, мають набір фіксованих адрес, перелік яких зазначений виробником в описах контролерів.

Комбінація біт 11110XX адреси зарезервована для 10-бітної адресації.

Як впливає з специфікації шини, допускаються як прості формати обміну, так і комбіновані, коли в проміжку від стану СТАРТ до стану СТОП ведучий і відомий можуть виступати і як приймач, і як передавач даних. Комбіновані формати можуть бути використані, наприклад, для управління послідовної пам'яттю.

Під час першого байта даних можна передавати адресу в пам'яті, який записується у внутрішній реєстр-замок. Після повторення сигналу старту і адреси веденого видаються дані з пам'яті. Всі рішення про авто-інкремент або декремент адреси, до якого стався попередній доступ, приймаються конструктором конкретного пристрою. Тому в будь-якому випадку кращий спосіб уникнути неконтрольованої ситуації на шині перед використанням нової (або раніше яка не використовується) ІМС - слід ретельно вивчити її опис (datasheet або reference manual), отримавши його з сайту виробника. Більш того, виробники часто розміщують поруч більш докладні інструкції по застосуванню.

У будь-якому випадку за специфікацією шини всі розроблені пристрої повинні скидати логіку шини при отриманні сигналу СТАРТ або повторний СТАРТ і готуватися до прийому адреси.

Проте, основні проблеми з використанням I2C шини виникають саме через те, що розробники, «початківці» працювати з I2C шиною, не враховують того факту, що ведучий (часто - мікропроцесор) не має монопольного права ні на одну з ліній шини.

					<i>BM61.010004.001 ПЗ</i>	Арк.
						32
<i>Змін.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

2.2.3.6 Переваги та недоліки

Головними перевагами є:

- необхідний всього один мікроконтролер для управління набором пристроїв;
- використовується всього два провідника для підключення багатьох пристроїв;
- можлива одночасна робота декількох ведучих (master) пристроїв, підключених до однієї шини I2C;
- стандарт передбачає «гаряче» підключення і відключення пристроїв в процесі роботи системи;
- вбудований в мікросхеми фільтр пригнічує сплески, забезпечуючи цілісність даних.

Недоліки:

- обмеження на ємність лінії - 400 пФ;
- незважаючи на простоту протоколу, програмування контролера I2C утруднено через достатку можливих нештатних ситуацій на шині. З цієї причини більшість систем використовують I2C з єдиним ведучим (Master) пристроєм, і поширені драйвери підтримують тільки монопольний режим обміну по I2C;
- важкість локалізації несправності, якщо одне з підключених пристроїв помилково встановлює на шині стан низького рівня[6].

2.2.4 Алгоритм роботи цифрового вимірювача кута нахилу поверхні

Алгоритм роботи приладу полягає в тому, що після ввімкнення живлення спочатку вмикається плата ATMEGA168PA, ініціалізується датчик акселерометра, потім іде опитування клавіш. В залежності від натиснутих клавіш відбувається передача даних з акселерометра в мікроконтролер який оброблює ці

					<i>BM61.010004.001 ПЗ</i>	Арк.
						33
<i>Змін.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

дані та виводить на індикатор, це відбувається циклічно поки є живлення. Якщо живлення нема, прилад вимикається.

На рисунку 2.7 зображений повний алгоритм роботи цифрового вимірювача кута нахилу поверхні.



Рисунок 2.7 – Алгоритм роботи цифрового вимірювача кута нахилу поверхні

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

2.3 Розробка та опис схеми принципової електричної

В даному розділі дипломного проекту проводиться опис та вибір типів, номіналів елементів, відповідно до рекомендацій технічної документації та інформації, що була отримана в розділі «Розробка схеми функціональної електричної».

Загальна принципова електрична схема приведена в розділі графічних документів ВМ61.010004.001 ЕЗ.

2.3.1 Приципова схема живлення для елементів цифрового вимірювача кута нахилу поверхні

Принципова схема живлення для елементів цифрового вимірювача кута нахилу поверхні зображена на рисунку 2.8.

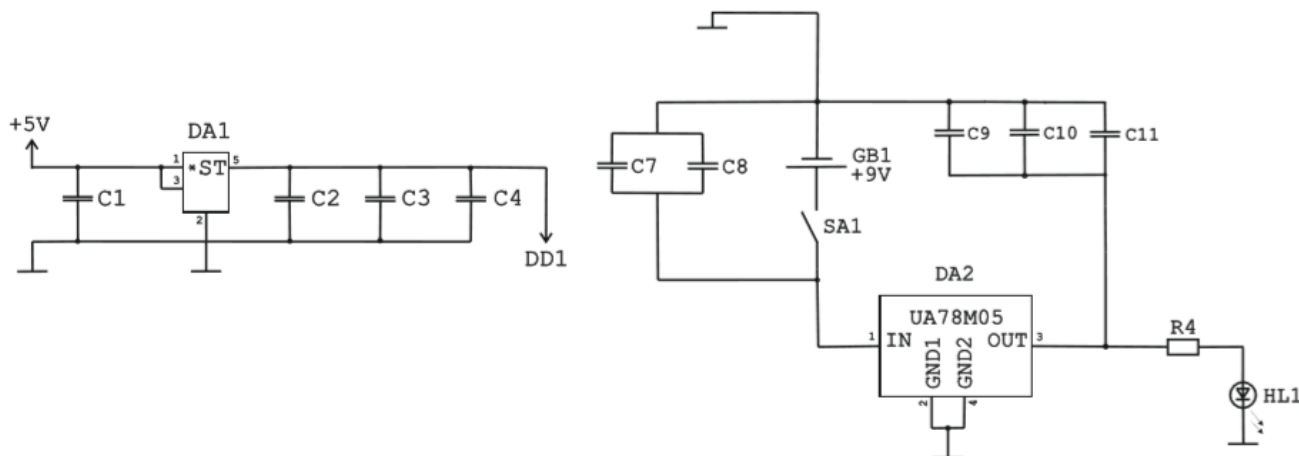


Рисунок 2.8 – Схема електрична принципова живлення цифрового вимірювача кута нахилу поверхні

Елементом живлення цифрового вимірювача кута нахилу поверхні є батарея типу «крона» яка має напругу 9В. Основною перевагою цього елемента

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

живлення є його компактність, надійність роботи та довготривалість використання. Ідеально підходить для застосування в побутових приладах та радіотехнічному обладнанні.

Цифровий індикатор та мікроконтролер живляться напругою 5В, тому для їх стабільної роботи використовується стабілізатор UA78M05 який перетворює напругу з 9В в 5В.

Трьохосевий акселерометр живиться від напруги 3.3В, для цього застосовується стабілізатор MIC5205-3.3, який перетворює 5В які надходять з стабілізатора UA78M05 в 3.3В, які в свою чергу живлять плату акселерометра ADXL345.

В якості конденсаторів C1, C3 використовуємо конденсатори ємністю 100 мкФ з допуском $\pm 20\%$. В якості C2, C4 використовуємо конденсатори ємністю 0,1 мкФ та допуском $\pm 2\%$. В якості C7, C9, C10 беремо конденсатори ємністю 4,7 мкФ та допуском $\pm 10\%$. В якості C8, C11 візьмемо конденсатори ємністю 0,1 мкФ та допуском $\pm 10\%$. Резистор R4 візьмемо з номіналом 680 Ом та допуском $\pm 5\%$.

2.3.1.1 Опис та характеристика стабілізатора UA78M05

Ця серія стабілізаторів напруги з інтегральною схемою з фіксованою напругою розроблена для широкого спектру застосувань. Ці програми включають в себе вбудоване регулювання для усунення перешкод і проблем розподілу, пов'язаних з однокрапковим регулюванням. Кожен з цих регуляторів може видавати до 500 мА вихідного струму. Внутрішні обмеження струму і функції термічного відключення цих регуляторів по суті роблять їх несприйнятливими до перевантажень. Крім використання в якості стабілізаторів постійної напруги, ці пристрої можуть використовуватися з зовнішніми

					<i>BM61.010004.001 ПЗ</i>	Арк.
						36
<i>Змін.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

компонентами для отримання регульованих вихідних напруг і струмів, а також як елемент пропускання потужності в прецизійних регуляторах[7].

Характеристики:

- 3-термінальні регулятори;
- висока потужність розсіювання потужності;
- вихідний струм до 500 мА;
- внутрішнє обмеження струму короткого замикання;
- нема зовнішніх компонентів;
- компенсація безпечної зони вихідного транзистора;
- внутрішній захист від теплового перевантаження.

2.3.1.2 Опис та характеристика стабілізатора MIC5205-3.3

MIC5205 - ефективний лінійний регулятор напруги з ультра-низьким рівнем шуму, дуже низька напруга (зазвичай 17 мВ та при малих навантаженнях 165 мВ при 150 мА), і дуже низький струм заземлення (600 мкА при 100 мА вивід). MIC5205 пропонує краще, ніж 1% початкової точності.

Розроблений спеціально для портативних батарей, пристрій MIC5205 включає в себе CMOS або TTL сумісний вхід управління включенням/виключенням. Коли немає енергоспоживання падає майже до нуля. Струм заземлення регулятора збільшується незначно у відключення, продовжуючи термін служби батареї.

Основні функції MIC5205 включають в себе опорний штир байпасу, який поліпшує і без того відмінні характеристики з низьким рівнем шуму, захист від зворотного заряду батареї, обмеження струму і відключення при перегріві. MIC5205 доступний з фіксованими та регульованими виходом[8].

Характеристики:

- ультра-низький рівень шуму;

					<i>BM61.010004.001 ПЗ</i>	Арк.
						37
<i>Змін.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

- висока точність вихідної напруги;
- гарантований вихід 150 мА;
- низький струм спокою;
- низька напруга відключення;
- дуже низький температурний коефіцієнт;
- поточне і теплове обмеження;
- нульовий струм у вимкненому режимі;
- логічне управління електронним вмиканням.

2.3.2 Принципова схема та опис датчика трьохосевого акселерометра цифрового вимірювача кута нахилу поверхні

Для визначення кута нахилу в цифровому вимірювачі кута нахилу візьмемо трьохосевий акселерометр ADXL345 принципова схема якого зображена на рисунку 2.9.

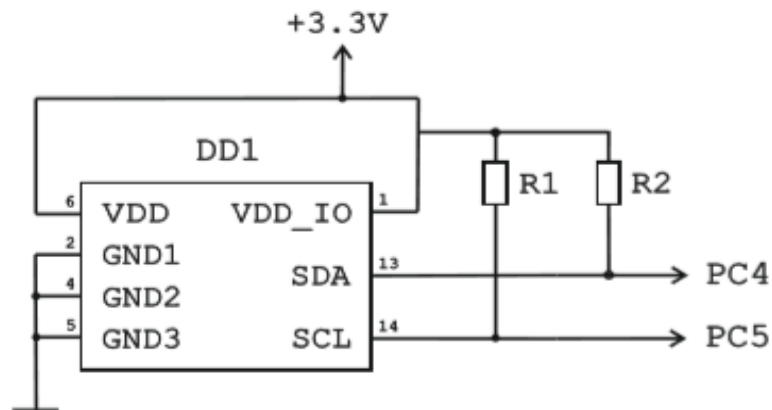


Рисунок 2.9 – Схема електрична принципова датчика 3-х осевого акселерометра ADXL345

Акселерометр ADXL345 - це крихітний мікропотужний трьохосевий акселерометр з високою роздільною здатністю 13 біт (рис.2.10). Діапазоном вимірювання положення коливається до ± 16 g. Результат вимірювання

передається у вигляді 16-розрядних чисел в додатковому коді і через цифрові інтерфейси SPI / I2C.

В якості резисторів R1, R2 беремо резистори з опором 4,7кОм, та допуском $\pm 1\%$.



Рисунок 2.10 – Плата трьохосевого акселерометра ADXL345

Даний акселерометр ADXL345 ідеально підходить для використання в мобільних пристроях - він вимірює статичне прискорення (викликане гравітацією) в задачах визначення відхилення, або динамічне прискорення, викликане рухом або ударами. Заявлений високе розширення акселерометра ($4 \cdot 10^{-3} \text{ g / LSB}$) дозволяє точно відслідковувати зміну відхилення менш ніж на 1.0° . Режим зниженого енергоспоживання датчика дозволяє реалізувати інтелектуальне управління живленням системи[9].

Характеристики:

- діапазон робочих напруг живлення: 2,0 ... 3,6 В;
- струм споживання в робочому режимі 40 ... 150 мкА;
- інтерфейс SPI або I2C;
- роздільна здатність 10-13 розрядів (при вимірюванні прискорення $\pm 16\text{g}$);
- робочий діапазон температур: $-40 \dots 85^\circ \text{C}$;
- корпус LGA розміром $3 \times 5 \times 1 \text{ мм}$.

Також датчик має кілька наступних функціональних особливостей:

- детектування і індикація подій;
- поштовх або подвійний поштовх;
- вільне падіння;
- наявність активності (прискорення), з вибором осей;
- відсутність активності, з вибором осей;
- два програмованих виходу подій;
- буфер FIFO глибиною 32 рівня;

2.3.2.1 Призначення виводів ADXL345

Призначення виводів які використовуються в цифровому вимірювачі кута нахилу поверхні наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Призначення виводів ADXL345

Номер виводу	Позначення	Опис
1	VDD I/O	Живлення інтерфейсу вводу-виводу
2	GND	Повинен бути підключений до загального проводу
4	GND	Повинен бути підключений до загального проводу
5	GND	Повинен бути підключений до загального проводу
6	VS	Живлення
13	SDA	Дані для I2C або вхід даних для 4-проводового SPI, або вхід і вихід даних для 3-х провідного SPI
14	SCL	Синхронізація для даних

2.3.2.2 Додаткові функції датчика

Додатковими функціями цього датчику є:

- розпізнавання легких ударів;
- розпізнавання активності (прискорення);
- діагностика стану вільного падіння;
- режим роботи FIFO;
- вимірювання величини переміщення і вібродіагностика.

Ця подія відбувається в разі якщо виміряна величина прискорення перевищить граничне значення (що зберігається в регістрі THRESH_TAP) на час не більше того значення, яке зберігається в регістрі DUR. При цьому буде встановлений біт SINGLE_TAP.

Якщо за першим перевищенням порога, після закінчення часу LATENCY TIME і протягом часу TIME WINDOW FOR SECOND TAP, яке визначається регістром WINDOW, піде друга подія, що визначається за описаним вище правилам, встановиться біт DOUBLE_TAP, рисунок 2.11.

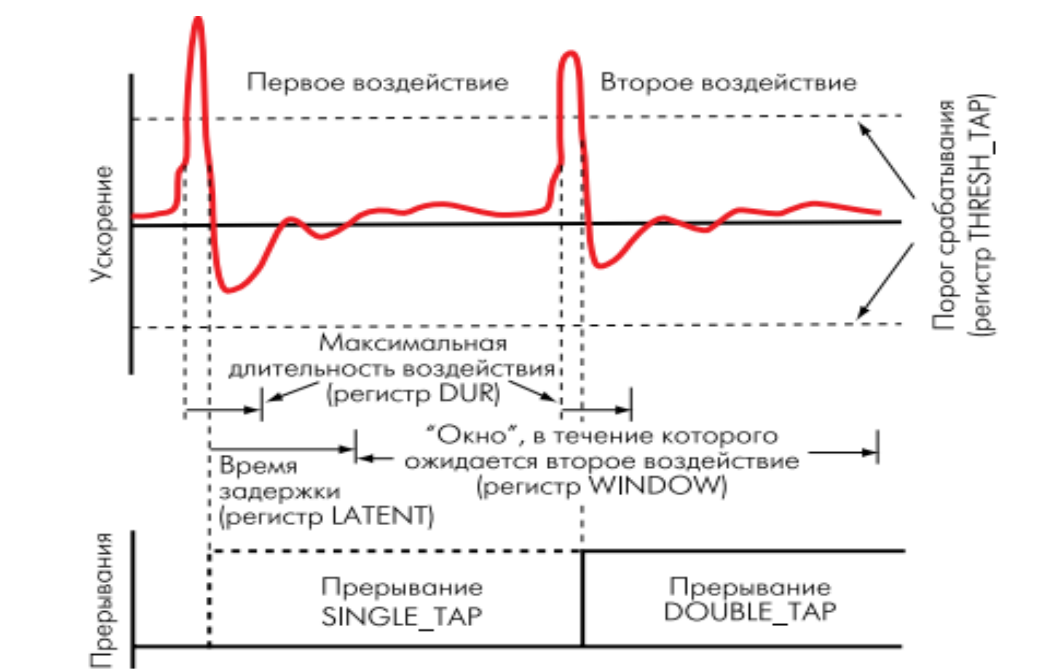


Рисунок 2.11 – Розпізнавання легких ударів

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

Розпізнавання активності визначається, коли величина виміряного прискорення перевищує значення, що зберігається в регістрі THRESH_ACT.

Відсутність активності виявляється, коли величина прискорення протягом часу TIME_INACT менше значення, що зберігається в регістрі THRESH_INACT.

Описаний алгоритм роботи відповідає режиму dc-coupled. Прилад також підтримує режим роботи ac-coupled, в якому, у відповідних випадках, зі значеннями регістрів THRESH_ACT і THRESH_INACT порівнюється модуль різниці між поточним значенням прискорення і опорним - значенням прискорення на початку події.

Для кожної осі можливий вибір, чи буде прискорення вздовж неї впливати на виявлення подій активності[10].

Діагностика стану вільного падіння детектується, якщо величина прискорення менше значення THRESH_FF протягом часу TIME_FF. Причому, завжди враховуються значення по всіх осях, і алгоритм обробки відповідає режиму dc-coupled.

Використовуючи сигнал з датчика, можна визначити висоту падіння. У найпростішому випадку досить виміряти час, протягом якого генерується подія FREE_FALL[11].

Буфер FIFO дозволяє знизити обчислювальне навантаження на керуючий МК і призначений для тимчасового зберігання результатів вимірювання. У ADXL345 буфер має глибину в 32 вимірювання по кожній з осей і може функціонувати в одному з наступних чотирьох режимів.

Bypass Mode - буфер відключений.

FIFO Mode - в разі переповнення буфера нові результати вимірювання не зберігаються.

Stream Mode - в разі переповнення буфера найстаріші значення замінюються новими.

Trigger Mode - в цьому режимі буфер функціонує аналогічно Stream Mode до настання події, що визначається полем trigger bit в регістрі FIFO_CTL. Після

					<i>BM61.010004.001 ПЗ</i>	Арк.
						42
<i>Змін.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

цього в буфері зберігається число останніх значень, яке визначається в реєстрі FIFO_CTL, і подальше функціонування триває аналогічно режиму FIFO Mode[12].

Вимірювання величини переміщення і вібродіагностика відбувається у разі лінійних синусоїдальних коливань їх амплітуду досить просто обчислити. Як відомо з курсу фізики, в разі гармонійних синусоїдальних коливань амплітуда прискорення, частота і амплітуда коливань пов'язані.

Якщо необхідно визначити поточний стан приладу з акселерометром, а рух не є рівноприскореном, слід двічі провести інтегрування за часом з урахуванням початкових значень прискорення вільного падіння, положення і швидкості[14].

Найпростіший приклад використання акселерометра при вібродіагностиці зносу механічних деталей машин полягає в вимірі інтенсивності коливань з якоїсь характерної для даного виробу частотою. Смуга частот ADXL345 обмежена 1600 Гц.

2.3.3 Принципова схема та опис мікроконтролера ATMEGA168PA

Arduino Nano – плата, яка працює на чіпі ATMEGA168PA і має мінімальні розміри, які найкраще підходять для створення компактних пристроїв (рис.2.12). Відмінність такої мініатюрної плати, полягає у відсутності винесеного гнізда для зовнішнього живлення, але замість нього з легкістю можна підключитися безпосередньо. Зв'язок з різними пристроями забезпечують UART, I2C і SPI інтерфейси.

					<i>BM61.010004.001 ПЗ</i>	Арк.
						43
<i>Змін.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

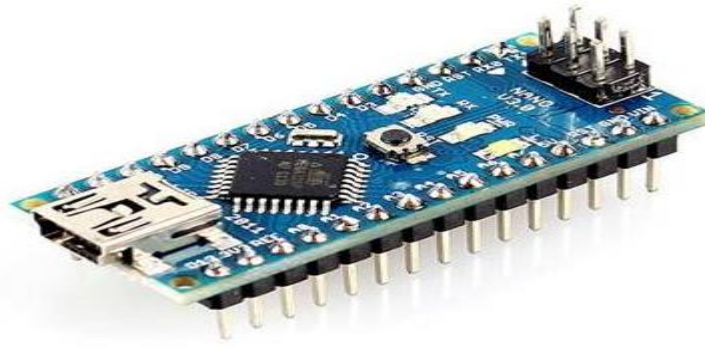


Рисунок 2.12 – Плата Arduino Nano

Для обробки отриманих даних з трьохосевого акселерометра ADXL345 використовуємо мікроконтролер ATMEGA168PA, принципова схема якого відображена на рисунку 2.13.

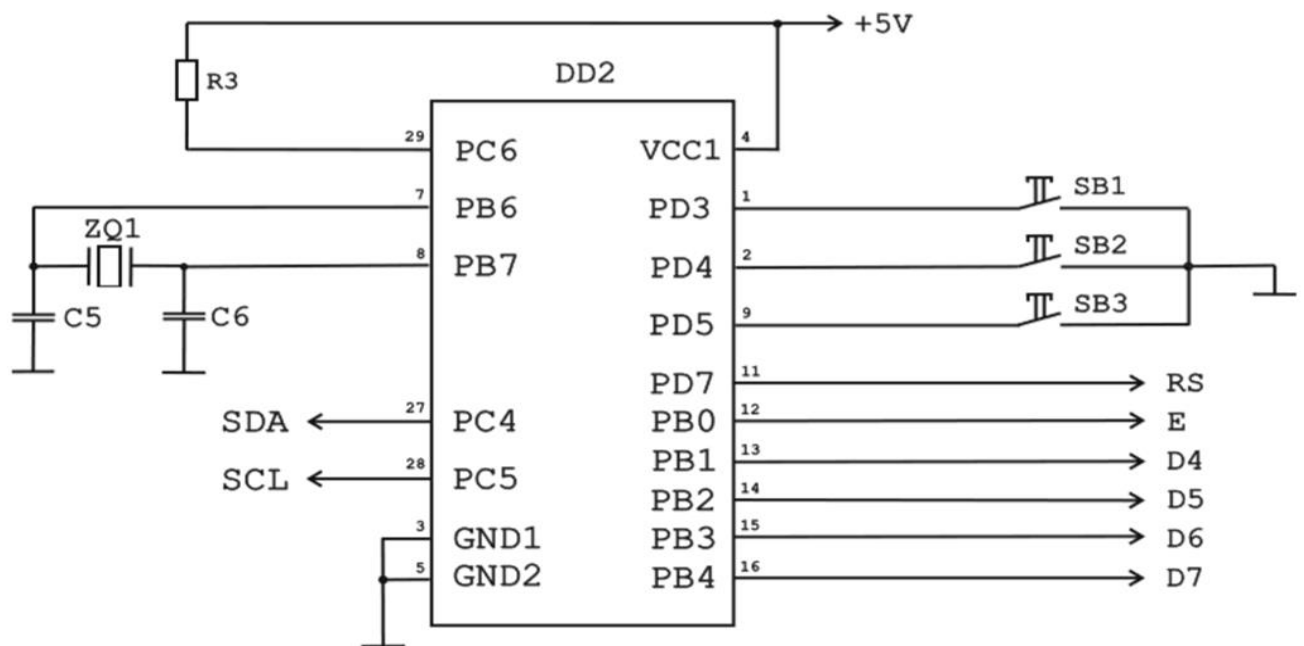


Рисунок 2.13 – Схема електрична принципова мікроконтролера ATMEGA168PA

В якості конденсаторів C5, C6 візьмемо конденсатори ємністю 18 пФ, та допуском $\pm 5\%$. В якості резистора R3 візьмемо резистор номіналом 1 кОм, та допуском $\pm 5\%$.

2.3.3.1 Живлення

Arduino Nano може живитись через mini-В USB з'єднання, від зовнішнього нестабілізованого джерела живлення 6-20 В (вивід 30) або від стабілізованого джерела напруги 5В (вивід 27). Джерело живлення з найбільшим напругою вибирається автоматично.

2.3.3.2 Характеристики

Характеристики Arduino Nano зазначені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Характеристика Arduino Nano

Мікроконтролер	Atmel ATmega168
Робоча напруга (логічний рівень)	5 В
Вхідна напруга (рекомендована)	7-12 В
Вхідна напруга (гранична)	6-20 В
Цифрові Входи/Виходи	14 (6 з яких можуть використовуватись як виходи ШІМ)
Аналогові входи	8
Постійний струм через вхід/вихід	40 mAh з одного виводу та 500 mAh із всіх виводів

Продовження таблиці 2.2

Флеш-пам'ять	16 Кб при цьому 2 Кб використовуються для завантажувача
ОЗП	1 Кб
EEPROM	512 байт
Тактова частота	16 МГц
Розміри	1.85 см х 4.2 см

2.3.3.3 Входи та виходи

Arduino Nano має 8 аналогових входів, кожен з яких забезпечує 10-бітовий дозвіл (тобто 1024 різних значень). За умовчанням вони вимірюють напругу від 0 до 5 вольт, хоча можна змінити верхню межу їх діапазону, використовуючи функцію `analogReference ()`. Аналогові висновки 6 і 7 не можуть бути використані в якості цифрових.

Кожен з 14 цифрових виводів Arduino Nano може бути використаний і як вхід, і як вихід, за допомогою функцій `pinMode ()`, `digitalWrite ()` і `digitalRead` (рис.2.14). Вони працюють з напругою 5В. Кожен вивід може пропускати максимальний струм 40 мА і має внутрішній підтягуючий резистор (за замовчуванням відключений) 20-50 кОм.

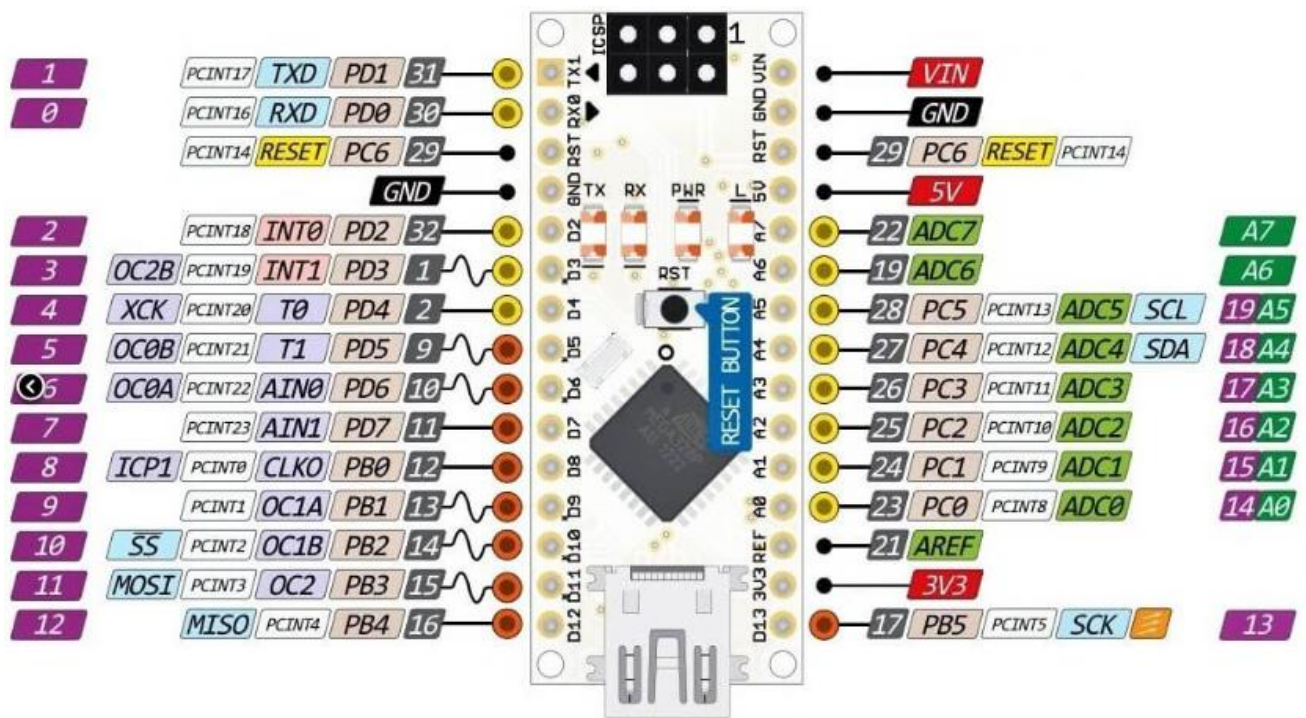


Рисунок 2.14 – Опис входів та виходів

Також деякі виводи мають спеціальні функції:

- послідовний порт: 0 (RX) і 1 (TX). Виводи використовуються для прийому (RX) і передачі (TX) послідовних даних з TTL рівнями. Ці виводи підключені до відповідних виводів FTDI мікросхеми перетворювача USB/ послідовний інтерфейс з TTL рівнями;
- зовнішні переривання: 2 і 3. Ці виводи можуть бути налаштовані для виклику переривання по фронту або по спаду імпульсу або по зміні рівня на виводі.
- ШІМ: виводи 3, 5, 6, 9, 10 і 11. Забезпечують 8-бітний ШІМ вихід за допомогою функції `analogWrite ()`;
- SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). Ці висновки підтримують зв'язок через SPI;
- світлодіод: 13. Вбудований світлодіод підключений до цифрового виводу 13. При високому рівні на виведенні світлодіод загоряється, при низькому - гасне;

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

- I2C: A4 (SDA) і A5 (SCL). Підтримують зв'язок через I2C (TWI) за допомогою бібліотеки Wire.
- AREF. Опорна напруга для аналогових входів. Використовується спільно з analogReference ();

Reset. Низький рівень на цьому висновку призводить до перезавантаження мікроконтролера. Зазвичай використовується для додавання кнопки скидання на платі розширення, що закриває доступ до кнопки скидання на самій платі Arduino.

2.3.3.4 Програмування

Arduino Nano програмується за допомогою Arduino IDE. Виберіть "Arduino/Genuino Nano" в меню Інструменти → Плата.

ATmega168 на Arduino Nano поставляються з вже прошитим завантажувачем, що дозволяє завантажувати в контролер новий код без використання додаткових програматорів. Завантажувач працює з протоколом STK500.

Також можна обійти завантажувач і прошити мікроконтролер через роз'єм ICSP, використовуючи Arduino ICSP або аналог[13].

2.3.4 Принципова схема та опис індикатора цифрового вимірювача кута нахилу поверхні

Схема електрична принципова індикатора цифрового вимірювача кута нахилу поверхні наведена на рисунку 2.15.

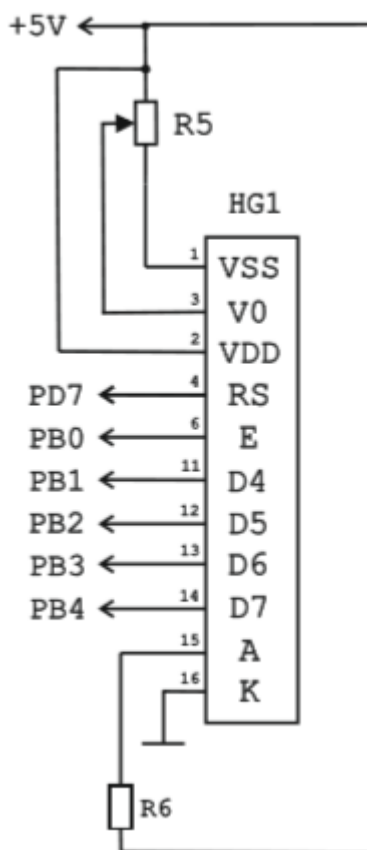


Рисунок 2.15 – Схема електрична принципова індикатора цифрового вимірювача кута нахилу поверхні

В якості цифрового індикатора використовуємо рідкокристалічний дисплей LCD1602. Цей рідкокристалічний дисплей ідеально підходить для відображення тільки тексту/символів, звідси у них є й інша назва - «символьні ЖК-дисплеї». Дисплей має світлодіодне підсвічування і може відображати 32 символи в кодуванні ASCII в двох рядах по 16 символів в кожному ряду(рис.2.16). Тобто один символ, це прямокутник який представляє собою сітку 5×8 пікселів[14].

В якості резистора R5 використовуємо резистор номіналом 10 кОм та допуском $\pm 10\%$, а в якості R6 беремо резистор опором 10 кОм та допуском $\pm 5\%$.

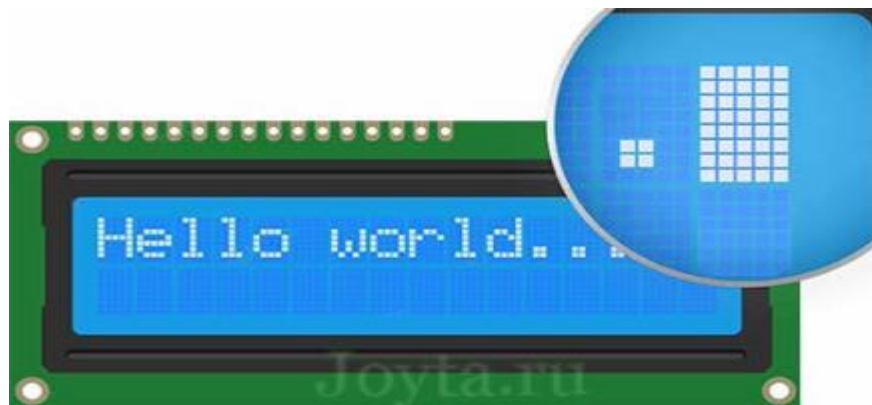


Рисунок 2.16 – Рідкокристалічний дисплей LCD1602

Дисплей можна підключити до мікроконтролера використовуючи всі лінії введення / виводу на 4-бітний інтерфейс, в цьому режимі задіяні лінії введення/виведення DB7-DB4. У цьому випадку 1 байт даних передається за два тактових імпульса, спочатку старші 4 біти, потім молодші.

Внутрішня пам'ять LCD 1602 підрозділяється на 3 види: DDRAM, CGROM і CGRAM. Область DDRAM (Display Data RAM) пам'яті використовується для зберігання 8-бітного коду ASCII символів, що відображаються на екрані.

На кожному рядку екрану поміщається 16 символів, але це тільки видима область, а загальний обсяг DDRAM пам'яті становить 80 байт, тобто в кожен рядок можна записати по 40 символів, і тільки 16 з них будуть відображатися на екрані, інші символи залишаться в невидимій області.

Пам'ять CGROM являє собою знакогенератор і містить дані для промальовування ASCII символів. У пам'яті закладені спецзнаки, цифри, латинський алфавіт, є китайські ієрогліфи, а також символи грецького алфавіту, які використовуються для позначення фізичних величин. Кожен символ займає 5 байт в пам'яті, що відповідає розміру шрифту 5×8 пікселів[15].

2.3.4.1 Розпінування виводів індикатора

Опис виводів рідкокристалічного дисплею, які розміщені на принциповій схемі:

- GND - повинен бути підключений до землі Arduino;
- VCC - це вивід живлення для РК-дисплея, до якого ми підключаємо 5

В від плати Arduino;

- Vo – вивід який контролює контрастність і яскравість РК-дисплея.

Використовуючи простий дільник напруги з потенціометром, ми можемо точно відрегулювати контрастність;

- RS – цей вивід дозволяє Arduino повідомляти РК-дисплею, відправлені команди або дані. В основному цей вивід використовується для диференціації команд від даних. Наприклад, коли на виводі RS встановлено значення LOW, ми відправляємо команди на ЖК-дисплей (наприклад, встановити курсор в певному місці, очистити дисплей, зрушити дисплей вправо). Коли висновок RS встановлено значення HIGH, ми відправляємо дані/символи на РК-дисплей;

- E – вивід використовується для ввімкнення дисплея. Це означає, що коли на цьому виводі встановлено значення LOW РК-дисплей не реагує на те, що відбувається з RS та лініями передачі даних. Коли на цьому виводі HIGH РК-дисплей обробляє вхідні дані;

- D4-D7 – це виводи, за якими передаються 4-бітні дані на дисплей;
- АК – використовуються для управління підсвіткою LCD дисплея.

3 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Середовищем розробки програмного забезпечення для обраного мікроконтролера є Arduino IDE. Алгоритм роботи приладу показаний в розділі

2.2.4. Дане програмне забезпечення буде розроблене на мові програмування C++.

Програму можна поділити на 3 частини:

- частина декларації змінних/структур/функцій;
- частина ініціалізації;
- ГОЛОВНИЙ ЦИКЛ.

3.1 Частина декларації

У цьому проекті використовуються декілька бібліотек:

```
#include <Wire.h> - бібліотека шини I2C
#include <ADXL345.h> - бібліотека акселерометру
#include <LiquidCrystal.h> - бібліотека дисплею
#include <JC_Button.h> - бібліотека кнопок
```

У частині декларації описуємо декілька структур для спрощення зберігання даних та підвищення читабельності коду.

Структура для зберігання даних з акселерометра:

```
struct accel_struct { //contains raw accelerometer data
    int x; //x
    int y; //y
    int z; //z

    accel_struct operator+(const accel_struct &a) { //дозволяє додавати
структури

        return {x + a.x, y + a.y, z + a.z}; //визначаємо, що додавання
структур це додавання кожної із координат вектора прискорення
    }

    accel_struct operator-(const accel_struct &a) { //аналогічно для віднімання
```

					<i>BM61.010004.001 ПЗ</i>	Арк.
						52
<i>Змін.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		


```

    return {x - a.x, y - a.y, z - a.z};
}

```

Структура для зберігання розрахованих кутів:

```

struct angle_struct {
double xAngle;
double yAngle;

angle_struct operator+(const angle_struct &a) { //аналогічно додавання
    return {xAngle + a.xAngle, yAngle + a.yAngle};
}

angle_struct operator-(const angle_struct &a) { //аналогічно віднімання
    return {xAngle - a.xAngle, yAngle - a.yAngle};
}

```

Перевантаження операторів «+» та «-» у структурах надало можливість виконувати операції більш зручного складання та віднімання структур.

Було створено enum для одиниць виміру:

```

enum unitsEnum {
    RADIANS,
    DEGREES,
};

```

Також було створено такі змінні:

```

ADXL345 adxl; // для акселерометра
LiquidCrystal lcd(7, 8, 9, 10, 11, 12); //display (RS, E, DB4, DB5, DB6,
DB7) // для дисплея

//призначення кнопкам виводів
Button holdButton(3);
Button unitsButton(4);
Button zeroButton(5);

const long displayUpdatePeriod = 300; //частота оновлення дисплея
const int degPrecision = 1; //точність для градусів, 1 символ після
КОМИ.

const int radPrecision = 3; //для радіан, точність 3 символи після коми.
accel_struct currentAccel = {0, 0, 0}; //зберігання тільки що считаних
прискорень

```

					<i>BM61.010004.001 ПЗ</i>	Арк.
						53
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

```
accel_struct holdAccel = {0, 0, 0}; // зберігання прискорення при натисканні кнопки HOLD
```

```
accel_struct zeroOffsetAccel = {0, 0, 0}; //зберігання при натисканні кнопки ZERO, щоб потім їх відняти для компенсації кута нахилу
```

```
accel_struct *displayAccel = &currentAccel; //вказівник того, що буде виводитись на дисплей, спочатку задаємо, що будуть виводитись поточні кути
```

```
unsigned long lastDisplayUpdate = 0; //коли дисплей був оновлений в останній раз по часу, потрібно щоб можна було його оновлювати через задані проміжки
```

```
unitsEnum outType = DEGREES; //спочатку виводим в градусах
```

Опис прототипів функцій

```
angle_struct calculateAngles(accel_struct &data); //функція для розрахунку кутів з прискорень.
```

```
void displayData(angle_struct &data, unitsEnum units); //функція для виведення на дисплей.
```

3.2 Частина ініціалізації

На етапі ініціалізації програмі потрібно виконати декілька завдань:

Ініціалізувати роботу дисплею:

- виконати процедуру ініціалізацій:

- `lcd.begin(16, 2);`

- вивести початковий текст:

- `lcd.setCursor(0, 0);`

- `lcd.print("X-ang");`

- `lcd.setCursor(0, 1);`

- `lcd.print("Y-ang");`

Ініціалізувати акселерометр:

- `adx1.powerOn();`

Ініціалізувати обробник кнопок:

- `holdButton.begin();`
- `unitsButton.begin();`
- `zeroButton.begin();`

3.3 Головний цикл

У головному циклі паралельно виконуються декілька завдань. Паралельне виконання досягається перевіркою часу при кожному проходженні циклу, що пройшов після попереднього виконання операції.

Також обробка викликів кнопок виконується після перевірки флагу натиснутої кнопки.

Завдання для головного циклу:

Перевірити які кнопки були натиснуті:

- виконати дії, відповідні для кожної натиснутої кнопки;

Зняти нові показники з акселерометру:

- розрахувати кути;
- оновити інформацію на дисплеї.

Зняття показників з акселерометру виконується лише при оновленні дисплею або при натисненні деяких кнопок. Дисплей оновлюється один раз у 300 мілісекунд.

Перевірка цієї умови:

```
if (lastDisplayUpdate < millis() - displayUpdatePeriod) //якщо прийшов час
для оновлення, теперішнє значення часу записується, для розрахунку наступного
моменту оновлення
```

```
lastDisplayUpdate = millis();
```

Значення акселерометра зчитуються у структуру `currentAccel`.

Для реалізації функції калібрування (обнулення) кутів, з структури вимірних даних віднімається структура запам'ятований даних, при останньому натисненні кнопки “ZERO”

Далі, за функцією `calculateAngles` ці дані переводяться у структуру з даними про кути `angle_struct`.

Після цього функцією `displayData` виконується оновлення дисплею.

Функція оновлення дисплею виконує округлення даних перед виведенням.

```
dtostrf(degrees(data.xAngle), 6, degPrecision, buff[0]); //зберігаємо в буфер кут по X в градусах максимально довжиною в 6 знаків із точністю 1 знак після коми.
```

```
dtostrf(degrees(data.yAngle), 6, degPrecision, buff[1]); //аналогічно для Y  
dtostrf(data.xAngle, 6, radPrecision, buff[0]); //зберігаємо в буфер кут по X в радіанах, максимально довжиною в 6 знаків із точністю 3 знака після коми.
```

```
dtostrf(data.yAngle, 6, radPrecision, buff[1]); //аналогічно для Y
```

При використанні градусів, дані зі структури приводяться до градусів перед виведенням.

Також, у головному циклі виконуються обробки натискань кнопок:

- при натисканні кнопки `UNITS` змінна, що зберігає одиниці виміру змінює своє значення на протилежне (градуси на радіани і навпаки).
- при натисканні кнопки `ZERO` акселерометр зчитує поточне значення прискорень и оновлює структуру `zeroOffsetAccel`, що використовується для компенсації нахилу при калібруванні для вимірів при оновленні дисплею.
- при натисненні кнопки `HOLD` поточне значення прискорень копіюється у структуру `holdAccel` і посилання на неї записується у змінну `displayAccel`. При оновленні дисплею для відображення використовується саме `displayAccel`, тому дисплей буде відображати одні й ті самі значення (режим `HOLD`), поки кнопка `HOLD` не буде натиснута повторно і значення змінної `displayAccel` не повернеться до `¤tAccel`, у яку вимірюються поточні значення прискорень.

4 АНАЛІЗ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Для визначення метрологічних характеристик цифрового вимірювача кута нахилу поверхні, будуть застосовані наступні елементи(рис.4.1):

- макет цифрового вимірювача кута нахилу поверхні;
- телефон Huawei P Smart з встановленою програмою для вимірювання кута нахилу;
- лист фанери середніх розмірів, який буде фіксуватись під певним кутом нахилу.



Рисунок 4.1 – Елементи для проведення досліду з вимірювання кута нахилу

При виконанні метрологічного аналізу будуть проведені такі дослідження:

- визначення наявності та характеристики систематичної похибки в приладі;

- визначення метрологічних характеристик випадкової складової похибки;
- визначення взаємного впливу 2-х каналів вимірювання один на інший.

4.1 Визначення наявності та характеристик систематичної похибки в приладі

Систематична похибка – це похибка, яка при повторних вимірюваннях залишається постійною, або змінюється за визначеним законом. Ця похибка є детермінованою, тобто її можна проаналізувати та виключити з результату вимірювання.

Якщо систематична похибка в приладі існує, то потрібно розрахувати корегуючу функцію, котру можна було б застосувати до результату вимірювань для виключення цієї систематичної похибки.

Абсолютною похибкою засобу вимірювань – називають різницю між показом засобу вимірювань і істинним значенням вимірюваної величини за відсутності методичних похибок та похибок від взаємодії засобу вимірювань з вимірювальним об'єктом. Цю похибку можна знайти за формулою (4.1).

$$\Delta = a - a_0 \quad (4.1)$$

, де a_0 – дійсне значення вимірюваної величини, a – результат вимірювання.

Приведена похибка – це відношення абсолютної похибки приладу до нормованого значення фізичної величини. Ця похибка знаходиться за формулою(4.2)

$$y = \frac{\Delta A_{\text{П}}}{A_{\text{Н}}} \cdot 100\% \quad (4.2)$$

, де $A_{\text{Н}}$ – верхня межа вимірювання приладу; нормоване значення; номінальне значення фізичної величини, що вимірюється, діапазон вимірювання, довжина шкали приладу.

На виявлення систематичної похибки потрібно проаналізувати абсолютну похибку, яка виникає при роботі приладу у всьому діапазоні вимірюваних значень, обов'язково включаючи нулеве або граничне значення. Для вимірювання кута нахилу візьмемо весь діапазон від -180° до $+180^\circ$, та через кожні 20° проведемо по 5 вимірювань в кожній точці. Значення кута азимуту при цьому буде дорівнювати 0° . Дані які ми отримаємо заносимо в Таблицю 1, яка знаходиться в Додатку Б, за отриманими даними будемо 5 точкових графіків(рис.4.2) і аналізуємо їх на наявність присутніх похибок.

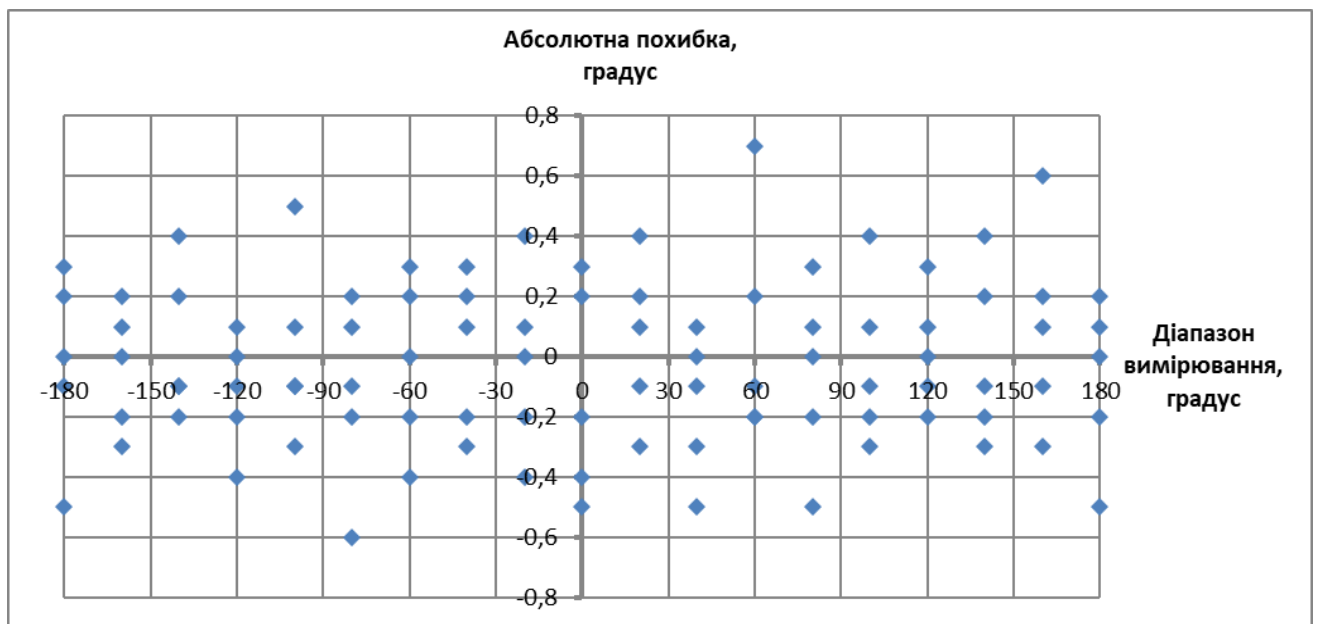


Рисунок 4.2 – Абсолютна похибка для кута нахилу на всьому діапазоні вимірювання

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

Повторюємо попередні дії для кута азимуту при значенні кута нахилу в 45° , та заносимо їх в Таблицю 3 в Додатку Б. Також побудуємо графік залежності абсолютної похибки на всьому діапазоні вимірювання(рис.4.3).

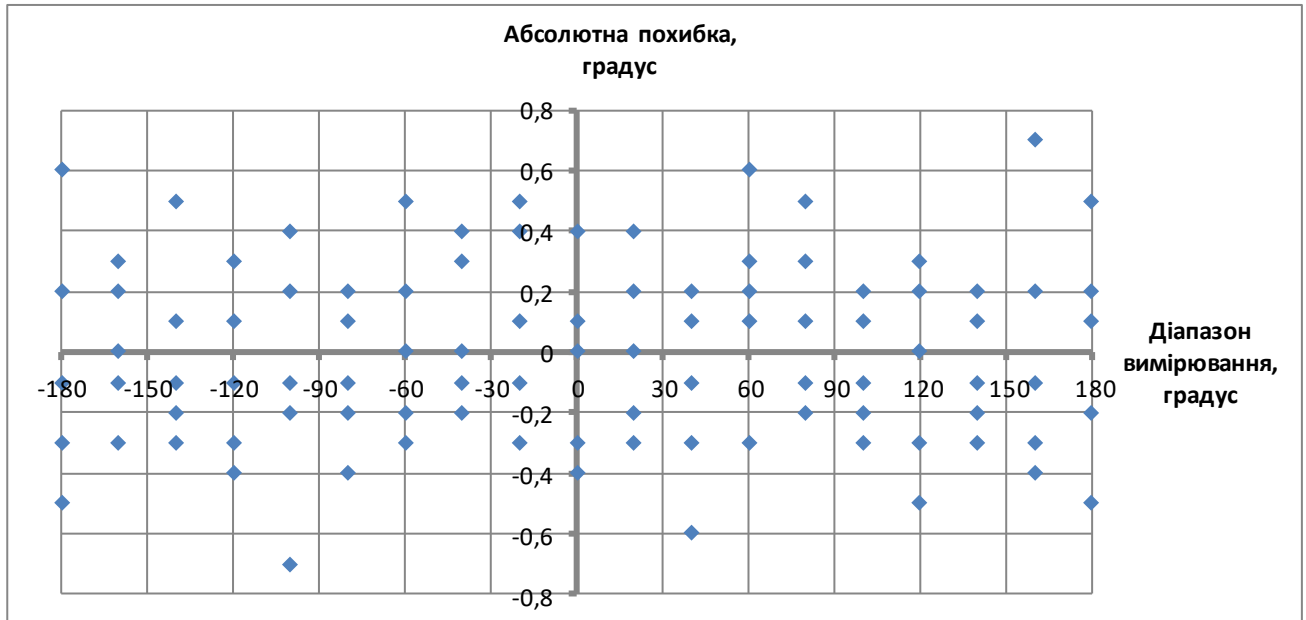


Рисунок 4.3 – Абсолютна похибка для кута азимуту на всьому діапазоні вимірювання

Розрахунки абсолютної, максимальної абсолютної та максимальної приведеної похибки для кута нахилу містяться в Таблиці 2, а для кута азимуту в Таблиці 3, які знаходяться в Додатку Б.

В результаті розрахунків встановлено, що абсолютна похибка є величиною випадковою і не залежить від показів приладу, а систематична складова майже відсутня. Максимальне значення абсолютної похибки у всьому діапазоні вимірювання для кута нахилу складає від 0,3 до 0,7 градусів, для кута азимуту теж від 0,3 до 0,7 градусів. А максимальне значення приведеної похибки для кута нахилу від 0,082 % до 0,194 %, для кута азимуту від 0,082 до 0,194%.

4.2 Визначення метрологічних характеристик випадкової складової похибки

Випадкова похибка засобу вимірювання – складова похибки засобу вимірювання, яка під час проведення вимірювань змінюється випадково. Випадкові похибки проявляються при багаторазових вимірюваннях однієї фізичної величини в однакових умовах одним оператором і за допомогою одного і того самого засобу вимірювання.

Для визначення характеристик випадкової похибки візьмемо 5 довільних значень кута нахилу на весь діапазон та проведемо по 10 вимірів, результати занесемо в Таблицю 5, яка знаходиться в Додатку Б, та на основі цих показів розрахуємо математичне очікування та середньоквадратичне відхилення.

Оцінкою дійсного значення математичного очікування випадкової величини x є середнє арифметичне вибірки, яке знаходиться за формулою (4.3).

$$M[x] \approx \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (4.3)$$

, де \bar{x} – середнє арифметичне, n – розмір вибірки, i – й елемент вибірки.

Середнє квадратичне відхилення – показник розсіювання (розкиду) значень випадкової величини відносно її математичного сподівання, тобто центру розподілу. При невеликій вибірці ($n \leq 50$) розраховується за формулою (4.4).

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (4.4)$$

, де \bar{x} – середнє арифметичне, n – розмір вибірки, i – й елемент вибірки.

Аналогічно до кута нахилу повторюємо ті самі дії для кута азимуту, та записуємо значення в Таблицю 7 Додатка Б.

Результати розрахунків математичного сподівання та середньоквадратичного відхилення для кута нахилу знаходяться в Таблиці 6, а для кута азимуту в Таблиці 8 Додатка Б.

					ВМ61.010004.001 ПЗ	Арк.
						61
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Середньо квадратичне відхилення для кута нахилу знаходиться в діапазоні від 0,202 до 0,246, а для кута азимуту від 0,210 до 0,235.

4.3 Визначення взаємного впливу вимірюючих каналів

При роботі враховуючи те, що приладом розраховується дві величини, можливе виникнення взаємного впливу двох вимірювальних величин одна на одну. За умови наявності цього впливу можуть відбуватися зміни дійсних значень максимальної абсолютної та приведеної похибки.

Для того щоб проаналізувати цей вплив необхідно провести певну кількість досліджень при одночасній зміні одного і другого змінюваного вимірювального параметру. Для визначення взаємного впливу вимірюючих каналів, для значень кутів із попереднього пункту проведемо по три вимірювання обох кутів для всіх комбінацій значень (отримаємо 25 дослідів по 3 вимірювання для кожного) та перевіряємо чи присутній взаємний вплив. Виміряні значення наведені в Таблицях 9 та 11 Додатку Б для кута нахилу та кута азимуту відповідно.

Розрахунок абсолютної похибки, максимальної абсолютної та приведеної похибки наведено в Таблиці 10 Додатка Б – для кута нахилу, та в Таблиці 12 Додатка Б – для кута азимуту.

Аналізуючи максимальну абсолютну та приведену похибки, при одночасній зміні обох вимірювальних параметрів можна побачити, що вплив кожного з вимірювальних параметрів на інший є незначним порівняно з випадковою похибкою котра і так є присутня.

Тому можна зробити висновок, що цей вплив є незначним.

					<i>BM61.010004.001 ПЗ</i>	Арк.
						62
<i>Змін.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці – система законодавчих актів, соціально-економічних, організаційних, технічних, гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, що забезпечують безпеку, збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці. Під час виконання даного проекту була проведена робота з літературою, був проведений пошук необхідної інформації в мережі Інтернет, створені необхідні документи та графічний матеріал. Під час розробки системного приладу для вимірювання кута нахилу поверхні, проводилися роботи пайки та налаштування. В ході роботи над проектом використовувалися: персональний комп'ютер з програмним забезпеченням, потрібним для роботи та доступом до мережі Інтернет.

Сферою застосування розробленого приладу для вимірювання кута нахилу поверхні є ремонтні, оздоблювальні, слюсарні та столярні роботи. Також його можна використовувати в побутових цілях наприклад для встановлення пральної машинки, холодильника, різного типу котлів, телевізорів, дверей, вікон, карнизів, дзеркал, вбудованих кухонь. Стане в нагоді фотографам для встановлення штативу.

Метою даного дипломного проекту є розробка цифрового вимірювача кута нахилу поверхні. Вимірюються такі фізичні величини, як кут нахилу.

Діапазони змін вимірювальних параметрів:

- діапазон вимірювання кута нахилу: від -180° до $+180^\circ$;

Система складається з таких блоків:

- блоку датчика (датчик 3-х осевого акселерометра, інтерфейс I2C, пристрій керування, перетворювач фізичних величин, фільтр нижніх частот, аналогово-цифровий перетворювач);
- блок мікроконтролера (таймер, оперативно запам'ятовуючий пристрій, постійний запам'ятовуючий пристрій);

					<i>BM61.010004.001 ПЗ</i>	Арк.
						63
<i>Змін.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

- блок індикатора;

Були проведені наступні види робіт:

- пошук та аналіз систем аналогічного призначення;
- огляд датчиків для вимірювання кута нахилу;
- розробка структурної, функційної та принципової схем;
- виконання розрахунків похибок;
- ознайомлення з нормативно-технічною документацією з розробки, зберігання, транспортування, виготовлення і використання приладів, автоматизованих систем і комплексів.

На захист дипломного проекту планується виготовлення макету системи, тому слід звернути увагу на техніку безпеки та охорону праці під час виконання технологічних операцій пайки припоями, що містять у своєму складі свинець.

Під час розробки цифрового вимірювача кута нахилу поверхні можуть мати місце наступні потенційно шкідливі і небезпечні фактори, згідно ГОСТ 12.0.003-74ССБТ:

- підвищене значення напруги в електричній мережі, замикання якої може відбутися через тіло людини;
- підвищені або понижені температура, відносна вологість та швидкість руху повітря робочої зони;
- недостатня освітленість робочої зони; підвищена пульсація світлового потоку;
- пожежна небезпека та інші.

Нижче розглянуті результати аналізу основних із наведених факторів та заходи по виключенню або зменшенню їх негативного впливу на організм людини.

					<i>BM61.010004.001 ПЗ</i>	Арк.
						64
<i>Змін.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

5.1 Технічні заходи, які забезпечують електробезпеку під час експлуатації цифрового вимірювача кута нахилу

Електробезпека - система організаційних і технічних заходів і засобів, які забезпечують від шкідливої та небезпечної дії електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля, статичної електрики.

З метою захисту користувача або розробника приладу проектом передбачені наступні технічні заходи електробезпеки:

- відповідно до ГОСТ 12.1.019-79 корпуси вимірювального блоку мають кожухи, які виготовляються повністю з ізоляційного матеріалу. Конструкції корпусів забезпечують недоступність струмопровідних частин;

- застосування малих напруг (12 В, 5 В, 3,3 В) і струмів, джерелами яких є блок живлення або трансформатор (у цьому випадку мережа малої напруги гальванічно не пов'язана з мережею високої напруги). Використання малих напруг постійного струму значно знижує небезпеку ураження робітника електричним струмом;

- використання захисного заземлення – спеціального електричного з'єднання заземлення чи його еквіваленту та не струмопровідних металевих частин електроустановок, які можуть опинитися під напругою.

5.2 Комфортні умови праці в робочій зоні, вимоги до температури та вологості приміщень

В робочих умовах на людину часто впливають підвищені або понижені температури, відносна вологість і швидкість руху повітря; підвищені теплові випромінювання, рівні електромагнітних випромінювань, концентрація шкідливих речовин, рівні шуму, вібрації та інші. Кожний із чинників та їх сумісна дія може спричинити різні порушення в організмі людини, професійні захворювання та зниження працездатності.

					<i>BM61.010004.001 ПЗ</i>	Арк.
						65
<i>Змін.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Уникнути небажаного впливу результатів діяльності людини на стан робочого середовища майже неможливо. Тому метою гігієни праці є визначення таких граничних відхилень від природних фізіологічних норм, таких допустимих навантажень за окремими чинниками виробничого середовища та їх сумісній дії, які не викликають негативних змін в організмі людини, її системах та генетичних змін у майбутніх поколіннях. Це пороговий (граничний) принцип визначення нормативних показників. За умови виконання гігієнічних нормативів гарантоване збереження здоров'я розробника проекту. Робота в умовах перевищення нормативів можлива у разі застосування засобів колективного та індивідуального захисту та скорочення тривалості дії шкідливих виробничих чинників (захист часом).

Оцінювання параметрів робочої зони, у якій виконувався даний дипломний проект, наведене у табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Умови праці в робочій зоні

№ п/п	Параметр	Значення	
		Нормативні	Фактичні
1	Температура повітря на робочому місці:		
	– у приміщенні в теплий період року	22–28 °С	24 °С
	– у приміщенні в холодний період року	21–25 °С	18 °С
2	Відносна вологість повітря:		
	– у приміщенні в теплий період року	55% за 28 °С	55%
	– у приміщенні в холодний період року	75%	75%

Продовження таблиці 5.1

3	Швидкість руху повітря:		
	– у приміщенні в теплий період року	0,2–0,1м/с	0,1 м/с
	– у приміщенні в холодний період року	не більше 0,1м/с	0,1 м/с
4	Забруднення повітря пилом	до 2 мг/м ³	1,5 мг/м ³
5	Забруднення повітря паро-газовими речовинами:		
	– каніфоль соснова	6 мг/м ³	0,1
	– свинець	0,005 мг/м ³	0,001
	– спирт етиловий	1000 мг/м ³	0,1
6	Освітлення	200 лк	210 лк
7	Шум		
	– на робочому місці користувача ПЕОМ при розробці документації	50 дБА	45 дБА
	– на монтажній ділянці при виконанні пайки	80 дБА	75 дБА

Оцінювання параметрів мікроклімату у робочій зоні розробника проекту системи моніторингу здійснювалось згідно ДСН 3.3.6.042–99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень». За нормативні значення параметрів взяті допустимі мікрокліматичні умови для легких фізичних робіт категорії Іа. Оцінювання забруднення повітря робочої зони пилом та паро-газовими речовинами здійснювалось згідно ГОСТ 12.1.005–88. Гранично допустима концентрація каніфолі соснової вказана у ГОСТ 19113–84. Нормативні показники освітлення визначені згідно ДБН В.2.5–28–2006 (для V розряду зорових робіт), шуму – згідно ДСН 3.3.6.037–99.

З таблиці 5.1 можна зробити висновок, що в холодний період року температурні параметри робочої зони не відповідають допустимим значенням. Необхідно здійснити технічні заходи для покращення температурного режиму робочого місця. Інші показники відповідають нормативним значенням.

5.3 Заходи по забезпеченню пожежної безпеки під час експлуатації приладу

Причинами виникнення пожежі в даному приладі можуть бути:

- коротке замикання проводки, внаслідок неякісного монтажу чи старіння ізоляції;
- несправність в блоці живлення;
- порушення обслуговуючим персоналом правил пожежної безпеки;
- наявність джерел відкритого вогню в безпосередній близькості від системи;

Протипожежні заходи, що передбачені у виробничих приміщеннях, де буде експлуатуватись пристрій:

- розташування евакуаційних виходів має відповідати діючим нормам з урахуванням розташування робочих місць та кількості працюючих на зміні;
- двері на шляхах евакуації повинні відкриватися назовні, ширина дверей має становити не менше 0,8 м;
- ширина при однобічному розташуванні дверей ширина евакуаційного шляху до світла, що дорівнює ширині коридору, зменшеною на половину ширини дверного полотна, повинна бути не менше 1 м;
- ширина сходових маршів має бути не менше ширини дверей еваковиходу на сходову клітину, висота поручня огороження 0,9 м, при цьому поручень розташований з правого боку;
- сходові клітини на шляхах евакуації повинні мати бічне природне освітлення;

					<i>BM61.010004.001 ПЗ</i>	Арк.
						68
<i>Змін.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

- в будівлі повинна бути система автоматичної пожежної сигналізації;
- в приміщенні повинен бути наявний телефон для зв'язку;
- на випадок пожежі у приміщенні мають знаходитись первинні засоби пожежогасіння (вогнегасники, крани з ручними рукавами).

Організаційні заходи пожежної безпеки передбачають: організацію пожежної охорони на об'єкті, проведення навчань з питань пожежної безпеки (включаючи інструктажі та пожежно-технічні мінімуми), проведення перевірок, оглядів стану пожежної безпеки приміщень, будівель, об'єкта в цілому та ін. До технічних заходів належать також суворі дотримання правил і норм, визначених чинними нормативними документами при реконструкції приміщень, будівель та об'єктів, технічному переоснащенні виробництва, експлуатації чи можливому переобладнанні електромереж, опалення, вентиляції, освітлення.

5.4 Рекомендації щодо визначення оптимальних джерел штучного освітлення з метою їх ефективного застосування

Штучне освітлення створюється електричними джерелами світла. До них належать люмінесцентні лампи, лампи розжарювання та світлодіодні лампи. Для вибору оптимальних джерел світла з метою їх ефективного застосування з урахуванням умов виробництва потрібно враховувати номінальну напругу, електричну потужність, світловий потік, спектральний склад світла, термін служби та економічні характеристики.

Люмінесцентні лампи економічні. Вони мають термін експлуатації до 10000 годин, велику світову віддачу 65...90 лм/Вт, спектральний склад світла найбільш близький до природного. До їх недоліків належить: пульсація світлового потоку, стробоскопічний ефект, наявність додаткових пристроїв для вмикання, неможливість працювати за температури нижчої 4...5°C, створюють радіоперешкоди.

					<i>BM61.010004.001 ПЗ</i>	Арк.
						69
<i>Змін.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Промисловість випускає люмінесцентні лампи низького тиску: ЛБ – білого кольору (колір випромінювання жовтувато-білий); ЛТБ – тепло-білий (колір випромінювання білий); ЛД – денного світла (колір випромінювання блакитно-білий); ЛДЦ – денного світла з поправленою кольоровою передачею (колір випромінювання блакитно-білий); ЛДЦ УФ – денного світла в ультрафіолетовій області спектра (склад випромінювання близький до природного), а також люмінесцентні лампи поліпшеної кольоропередачі: ЛТБ ЦЦ; ЛТБ ЦТ; ЛЕЦ; КЛТБЦ та інші.

До газорозрядних ламп високого тиску належать ртутні лампи з колбою трубчатої (СВД) або кулеподібної форми (ДРЛ) з кварцового скла та трубчаті натрієві лампи (ДНаТ). Термін їх експлуатації від 5000 до 10000 годин, світлова віддача відповідно 50 і 130 лм/Вт.

Режим роботи ртутних ламп високого тиску, на відміну від люмінесцентних ламп низького тиску, не залежить від температури навколишнього середовища. Такі лампи використовують для освітлення шляхів, території підприємств, місць виконання робіт поза будинками, складських приміщень, спортивних споруд тощо.

Для освітлення робочих місць і робочих зон використовують також компактні люмінесцентні лампи (КЛС) – це енергозберігаючі джерела світла. Світловий потік ламп цього типу потужністю 5 Вт дорівнює світлового потоку ламп розжарювання потужністю 25 Вт; 9 Вт – відповідно 40 Вт; 11 Вт – відповідно 60 Вт; 20 Вт – відповідно 100 Вт; 30 Вт – відповідно 150 Вт; 40 Вт – відповідно 200 Вт.

До газорозрядних ламп належать металогалогенні та ксенонові. У колбі металогалогенних ламп розміщено газорозрядну трубку з парами ртуті та металогалогенними домішками. Спектр випромінювання залежить від домішок і наближається до сонячного світла. Термін експлуатації ламп до 5000 годин (лампи ДРИ), деяких типів ламп – до 20000 годин. Світлова віддача до 100 лм/Вт. Спектр випромінювання ксенонових ламп (ДКсТ, ДКсШ) близький до

					<i>ВМ61.010004.001 ПЗ</i>	Арк.
						70
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

природного і включає ультрафіолетову зону. Але застосовувати ксенонові лампи у приміщеннях заборонено.

Для освітлення приміщень підприємств слід використовувати економічні газорозрядні лампи. Застосування ламп розжарювання для загального освітлення допускається тільки у випадках неможливості або недоцільності використання газорозрядних ламп.

Лампи розжарювання прості у виготовленні, надійні в експлуатації. Але мають невелику світлову віддачу (7...20 лм/Вт), строк служби до 1000 годин, коефіцієнт корисної дії 10...13 %, у спектрі випромінювання переважає жовтий і червоний кольори порівняно з природним світлом. Вони не підлягають ремонту. Для місцевого освітлення можна використовувати як люмінесцентні лампи, так і лампи розжарювання.

На ринку світлотехніки з'являються нові види освітлювальних пристроїв – світлодіоди. Світлодіоди поєднуються у масиви, які використовують у складі світлодіодних ламп. За своєю економічністю світлодіодні лампи у 2 рази, а за довговічністю у 5 разів перевищують люмінесцентні лампи. Вони мають переваги за різноманітністю світлової температури, потужністю, формам, конструкціям цоколів тощо. Основні характеристики люмінесцентних, світлодіодних та ламп розжарювання наведені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Основні характеристики джерел штучного освітлення

№ пп.	Показник	Джерела штучного освітлення		
		Світлодіодні	Люмінесцентні	Розжарювання
1	Потужність, Вт	5	11	55
2	Освітленість, лк	470	500	445
3	Енергетична ефективність, лм/Вт	94	45	9
4	Ресурс роботи	50000	10000	1000

На даному етапі світлодіодні лампи ще не користуються такою популярністю, як компактні люмінесцентні лампи. Проте вони мають більші можливості ніж люмінесцентні лампи чи лампи розжарювання. Так, завдяки високій спорідненості з мікроелектронікою значно спрощується створення автоматизованих систем управління освітленням, можливість регулювання світлового потоку від 0 до 100 %, кольором світла, кривими сил світлового потоку електронним шляхом.

5.5 Висновок

Визначені потенційно шкідливі та небезпечні виробничі чинники, які можуть мати місце під час експлуатації цифрового вимірювача кута нахилу поверхні. Були проанлізовані заходи які забезпечують електробезпеку, вимоги до температури та вологості для комфортних умов праці, заходи пожежної безпеки під час користування приладом та рекомендації щодо визначення штучного освітлення.

					<i>BM61.010004.001 ПЗ</i>	Арк.
						72
<i>Змін.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ВИСНОВКИ

Метою даного дипломного проекту була розробка цифрового вимірювача кута нахилу поверхні. Було проведено аналіз вже існуючих цифрових приладів для вимірювання кута нахилу, були розглянуті їх основні характеристики та недоліки. В результаті було визначено наступну задачу, а саме розробка на основі їх більш удосконаленого приладу з більшим функціоналом та нижчою собівартістю.

Були розроблені структурна схема, були розглянуті та розроблені окремі схемні рішення вузлів функційної та принципової схем. Було розроблене програмне забезпечення. Також був виготовлений макет на основі показів якого було проведено аналіз та дослідження метрологічних характеристик приладу. Дослідження показали що прилад має випадкову похибку, також було розраховано максимальну абсолютну та приведену похибки, математичне сподівання, середньоквадратичне відхилення. Аналіз метрологічних характеристик показав відповідність приладу вимогам, поставленим в ТЗ.

Також був розглянутий розділ охорони праці в якому були визначені потенційно шкідливі та небезпечні виробничі чинники, які можуть мати місце під час експлуатації цифрового вимірювача кута нахилу поверхні.

					<i>BM61.010004.001 ПЗ</i>	Арк.
						73
<i>Змін.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Пиралова О.Ф., Ведякин Ф.Ф. Краткий курс начертательной геометрии. Учебник для вузов. — М.: Издательский дом Академии Естествознания, 2016. — 191 с.
2. Фрайден, Дж. Современные датчики. Справочник / Джон Фрайден; пер. с англ. Ю. А. Заболотной. – М.: Техносфера, 2005. – 587 с.
3. <http://www.allpribors.ru/opisanie/54559-13-smik-bsg-58149>
4. http://tdautomatika.ru/upload/iblock/88f/c2981c6c-7434-11e2-ba9b-0030486527a0_c2981c7d7434-11e2-ba9b-0030486527a0.pdf.
5. Christopher J. Fisher, Using an Accelerometer for Inclination Sensing. Application Note. - Analog Devices. – 40 p. – Режим доступа: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/application-notes/AN-1057.pdf>
6. <https://ru.wikipedia.org/wiki/I%C2%B2C>
7. <https://datasheetspdf.com/pdf/1406568/etcTI/uA78M05/1>
8. <https://www.mouser.com/datasheet/2/268/mic5205-778789.pdf>
9. <https://arduino.ua/prod2516-gy-291-adxl345>
10. www.analog.com/library/analogdialogue/archives/43-07/fall_detector.html
11. www.analog.com/static/imported-files/application_notes/AN-1023.pdf
12. www.analog.com/static/imported-files/application_notes/AN-1025.pdf
13. <https://radioprogram.ru/shop/merch/10>
14. <http://www.joyta.ru/12467-vzaimodejstvie-lcd-1602-s-arduino-opisanie-raspinovka-podklyuchenie/>
15. <https://radiolaba.ru/microcotrollers/podklyuchenie-lcd-1602-po-i2c-interfeysu.html>

ДОДАТОК А

ЛІСТИНГ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

```
//підключення бібліотек
#include <Arduino.h> // бібліотека arduino
#include <Wire.h> //протокол спілкування з датчиком
#include <ADXL345.h> //бібліотека акселерометра
#include <LiquidCrystal.h> //библіотека дисплея
#include <JC_Button.h> //библіотека для кнопок

struct accel_struct { // структура для зберігання прискорень акселерометра
    int x; // по осям x
    int y; //y
    int z; //z

    accel_struct operator+(const accel_struct &a) { //дозволяє додавати структури
        return {x + a.x, y + a.y, z + a.z}; //визначаємо, що додавання структур,
        це додавання кожної із координат вектора прискорення
    }

    accel_struct operator-(const accel_struct &a) { //аналогічно для віднімання
        return {x - a.x, y - a.y, z - a.z};
    }
};

struct angle_struct { //структура для зберігання кута повороту
    double xAngle;
    double yAngle;

    angle_struct operator+(const angle_struct &a) { //аналогічно додавання
        return {xAngle + a.xAngle, yAngle + a.yAngle};
    }

    angle_struct operator-(const angle_struct &a) { //аналогічно віднімання
        return {xAngle - a.xAngle, yAngle - a.yAngle};
    }
};

//типи одиниць вимірювань (це більш читабельно ніж використовувать цифри)
enum unitsEnum {
    RADIANS,
    DEGREES,
};

ADXL345 adxl; // сам об'єкт акселерометра
LiquidCrystal lcd(7, 8, 9, 10, 11, 12); //display (RS, E, DB4, DB5, DB6, DB7)
//дисплей та його виводи

//призначення кнопкам виводів
Button holdButton(3);
Button unitsButton(4);
Button zeroButton(5);

const long displayUpdatePeriod = 300; // частота оновлення дисплею
const int degPrecision = 1; //точність для градусів - 1 символ після коми
const int radPrecision = 3; //для радіан - 3 символи після коми
```

```

//структури
accel_struct currentAccel = {0, 0, 0}; //для зберігання тільки що считаних
прискорень

accel_struct holdAccel = {0, 0, 0}; //зберігання прискорення при натисканні
кнопки HOLD

accel_struct zeroOffsetAccel = {0, 0, 0}; //зберігання значення при натисненні
кнопки ZERO, щоб потім їх відняти для коменсації кута нахилу

accel_struct *displayAccel = &currentAccel; //скаже що буде виводитись на
дисплей, спочатку задаємо, що будуть виводитись поточні кути

unsigned long lastDisplayUpdate = 0; //коли дисплей був оновлений в останній раз
по часу, потрібно щоб можна було оновлювати його через задані проміжки

unitsEnum outType = DEGREES; //спочатку виводимо кути в градусах

//function prototypes
angle_struct calculateAngles(accel_struct &data); //функція для розрачування
кутів із прискорень

void displayData(angle_struct &data, unitsEnum units); //функція для виводу на
дисплей

void setup() { //налаштування
    lcd.begin(16, 2); //вмикаємо дисплей
    holdButton.begin(); //вмикаємо кнопки
    unitsButton.begin();
    zeroButton.begin();
    adxl.powerOn(); //включаємо акселерометр
    lcd.setCursor(0, 0); //пишем в лівому верхньому куті
    lcd.print("X-ang"); //пишем на дисплеї
    lcd.setCursor(0, 1); //пишем в лівому нижньому куті
    lcd.print("Y-ang"); //пишем на дисплеї
}

void loop() { //основний цикл
    holdButton.read(); //перевірити натиснення кнопки HOLD
    if (holdButton.wasPressed()) { //якщо натискалась
        if (displayAccel == &currentAccel) { //якщо зараз виводимо на дисплей
            живі значення
            holdAccel = currentAccel; //то зберігаємо поточні значення прискорень
            displayAccel = &holdAccel; //і відтворюємо їх
        } else { //якщо виводили запам'ятовані значення
            displayAccel = &currentAccel; //то знову виводимо живі
        }
    }

    unitsButton.read(); //перевіряємо кнопку одиниць вимірювань
    if (unitsButton.wasPressed()) { //якщо натиснута
        switch (outType) { //в залежності від типу
            case RADIANS: //якщо були радіани
                outType = DEGREES; //то тепер ставимо градуси
                break;
            case DEGREES: //якщо градуси
                outType = RADIANS; //то радіани
                break;
        }
    }
}

```



```

    zeroButton.read(); //кнопка установки нуля
    if (zeroButton.wasPressed()) { //якщо була натиснута
        adxl.readXYZ(&zeroOffsetAccel.x, &zeroOffsetAccel.y, &zeroOffsetAccel.z);
//то читаємо поточні значення в відповідну структуру для компенсації
    }

    if (lastDisplayUpdate < millis() - displayUpdatePeriod) { //якщо прийшов час
оновити дисплей
        lastDisplayUpdate = millis(); //то пишемо що останнє оновлення було зараз

        adxl.readXYZ(&currentAccel.x, &currentAccel.y, &currentAccel.z);
//читаємо значення акселерометра

        angle_struct data = calculateAngles(*displayAccel) -
calculateAngles(zeroOffsetAccel); //розраховуємо кути
        displayData(data, outType); //відображаємо на дисплеї
    }
}

angle_struct calculateAngles(accel_struct &data) { //розраховуємо кути
    double xAngle = atan2(-data.x, sqrt((long) data.y * data.y + (long) data.z *
data.z) * ((data.z > 0) ? 1 : -1));
    double yAngle = atan2(data.y, sqrt((long) data.x * data.x + (long) data.z *
data.z) * ((data.z > 0) ? 1 : -1));
    return {xAngle, yAngle}; //повертаємо результат
}

void displayData(angle_struct &data, unitsEnum units) { //функція для
відображення

    char buff[2][16]; //буфер чисел які виводяться в дві рядки

    switch (units) { //в залежності від одиниць
        case RADIANS://якщо радіани
            dtostrf(data.xAngle, 6, radPrecision, buff[0]); //зберігаємо в буфер
кут по X в радіанах максимальною довжиною в 6 знаків з точністю rad precision (3
знака після коми)
            dtostrf(data.yAngle, 6, radPrecision, buff[1]); //аналогічно для Y

            lcd.setCursor(12, 0);//курсор на 12 символи 1 рядка
            lcd.print(" RAD");
            lcd.setCursor(12, 1);//12 символ 2 рядок
            lcd.print(" RAD");
            break;
        case DEGREES://якщо градуси то все аналогічно, але пишемо не RAD, а DEG
            dtostrf(degrees(data.xAngle), 6, degPrecision, buff[0]);
//аналогічно радіанам, але з точністю degPrecision (1 знак після коми)
            dtostrf(degrees(data.yAngle), 6, degPrecision, buff[1]);

            lcd.setCursor(12, 0);
            lcd.print(" DEG");
            lcd.setCursor(12, 1);
            lcd.print(" DEG");
            break;
    }

    lcd.setCursor(6, 0); //пишемо на дисплеї 6 символ 1 рядок
    lcd.print(buff[0]); //угол
    lcd.setCursor(6, 1); //6 символ 2 рядок
    lcd.print(buff[1]); //угол
}

```

Додаток Б

Таблиця 1 – Визначення наявності характеристик систематичної похибки, результати досліджень та середнє значення для кута нахилу

Дійсне значення, градус	Результати вимірів, градус					Середнє значення, градус
	Дослід 1	Дослід 2	Дослід 3	Дослід 4	Дослід 5	
-180	-179,8	-180	-180,1	-180,5	-179,7	-180,02
-160	-159,8	-160,2	-160	-159,9	-160,3	-160,04
-140	-140,1	-140,2	-139,8	-139,6	-140,1	-139,96
-120	-119,9	-120,2	-120,1	-120,4	-120	-120,12
-100	-100,3	-100,1	-99,5	-99,9	-100,1	-99,98
-80	-80,6	-79,9	-80,1	-80,2	-79,8	-80,12
-60	-59,8	-60,4	-60	-60,2	-59,7	-60,02
-40	-39,8	-39,9	-39,7	-40,2	-40,3	-39,98
-20	-19,9	-20	-20,4	-19,6	-20,2	-20,02
0	-0,2	0,2	-0,4	0,3	-0,5	-0,12
20	20,4	19,7	20,1	19,9	20,2	20,06
40	39,5	39,9	40,1	40	39,7	39,84
60	59,9	59,8	60,7	59,8	60,2	60,08
80	80,1	80	79,5	80,3	79,8	79,94
100	100,4	99,8	100,1	99,9	99,7	99,98
120	120,1	119,8	120,3	120	119,9	120,02
140	139,8	139,9	140,4	140,2	139,7	140
160	160,6	160,2	159,9	160,1	159,7	160,1
180	180,2	179,8	180	180,1	179,5	179,92

Таблиця 2 – Визначення абсолютної, максимальної абсолютної похибки та максимальної приведеної похибки для кута нахилу

Абсолютні похибки, градус					Максимальна абсолютна похибка, градус	Максимальна приведена похибка, %
Дослід 1	Дослід 2	Дослід 3	Дослід 4	Дослід 5		
0,2	0	-0,1	-0,5	0,3	0,5	0,139
0,2	-0,2	0	0,1	-0,3	0,3	0,082
-0,1	-0,2	0,2	0,4	-0,1	0,4	0,111
0,1	-0,2	-0,1	-0,4	0	0,4	0,111
-0,3	-0,1	0,5	0,1	-0,1	0,5	0,139
-0,6	0,1	-0,1	-0,2	0,2	0,6	0,167
0,2	-0,4	0	-0,2	0,3	0,4	0,111
0,2	0,1	0,3	-0,2	-0,3	0,3	0,082
0,1	0	-0,4	0,4	-0,2	0,4	0,111
-0,2	0,2	-0,4	0,3	-0,5	0,5	0,139
0,4	-0,3	0,1	-0,1	0,2	0,4	0,111
-0,5	-0,1	0,1	0	-0,3	0,5	0,139
-0,1	-0,2	0,7	-0,2	0,2	0,7	0,194
0,1	0	-0,5	0,3	-0,2	0,5	0,139
0,4	-0,2	0,1	-0,1	-0,3	0,4	0,111
0,1	-0,2	0,3	0	-0,1	0,3	0,084
-0,2	-0,1	0,4	0,2	-0,3	0,4	0,111
0,6	0,2	-0,1	0,1	-0,3	0,6	0,167
0,2	-0,2	0	0,1	-0,5	0,5	0,139

Таблиця 3 – Визначення наявності характеристик систематичної похибки, результати досліджень та середнє значення для кута азимуту

Дійсне значення, градус	Результати вимірів, градус					Середнє значення, градус
	Дослід 1	Дослід 2	Дослід 3	Дослід 4	Дослід 5	
-180	-180,3	-180,5	-179,8	-180,2	-179,4	-180,04
-160	-160,3	-160,1	-159,8	-159,7	-160	-159,98
-140	-139,5	-139,9	-140,2	-140,3	-140,1	-140
-120	-120,3	-119,7	-120,4	-119,9	-120,1	-120,08
-100	-100,7	-100,1	-99,6	-99,7	-100,2	-100,06
-80	-79,8	-80,2	-80,4	-79,9	-80,1	-80,08
-60	-60,2	-60,3	-59,8	-60	-59,5	-59,96
-40	-40,1	-40,2	-39,7	-39,6	-40	-39,92
-20	-19,6	-19,9	-19,5	-20,3	-20,1	-19,88
0	0	-0,3	0,4	-0,4	0,1	-0,04
20	19,7	20,4	20	20,2	19,8	20,02
40	40,2	39,9	40,1	39,7	39,4	39,86
60	60,3	60,6	59,7	60,1	60,2	60,18
80	79,9	80,5	80,3	80,1	79,8	80,12
100	100,1	99,9	99,7	99,8	100,2	99,94
120	119,5	120,2	120,3	120	119,7	119,94
140	140,2	140,1	139,8	139,9	139,7	139,94
160	160,2	159,6	159,7	160,7	159,9	160,02
180	179,5	179,6	180,5	180,2	180,1	179,98

Таблиця 4 – Визначення абсолютної, максимальної абсолютної похибки та максимальної приведеної похибки для кута азимуту

Абсолютна похибка, градус					Максимальна абсолютна похибка, градус	Максимальна приведена похибка, %
Дослід 1	Дослід 2	Дослід 3	Дослід 4	Дослід 5		
-0,3	-0,5	0,2	-0,1	0,6	0,6	0,167
-0,3	-0,1	0,2	0,3	0	0,3	0,082
0,5	0,1	-0,2	-0,3	-0,1	0,5	0,139
-0,3	0,3	-0,4	0,1	-0,1	0,4	0,112
-0,7	-0,1	0,4	0,3	-0,2	0,7	0,194
0,2	-0,2	-0,4	0,1	-0,1	0,4	0,111
-0,2	-0,3	0,2	0	0,5	0,5	0,139
-0,1	-0,2	0,3	0,4	0	0,4	0,111
0,4	0,1	0,5	-0,3	-0,1	0,5	0,139
0	-0,3	0,4	-0,4	0,1	0,4	0,111
-0,3	0,4	0	0,2	-0,2	0,4	0,111
0,2	-0,1	0,1	-0,3	-0,6	0,6	0,167
0,3	0,6	-0,3	0,1	0,2	0,6	0,167
-0,1	0,5	0,3	0,1	-0,2	0,5	0,139
0,1	-0,1	-0,3	-0,2	0,2	0,3	0,082
-0,5	0,2	0,3	0	-0,3	0,5	0,139
0,2	0,1	-0,2	-0,1	-0,3	0,3	0,082
0,2	-0,4	-0,3	0,7	-0,1	0,7	0,194
-0,5	-0,4	0,5	0,2	0,1	0,5	0,139

Таблиця 5 – Виміряні значення для знаходження випадкової похибки вимірювання кута нахилу

Дійсне значення, градус	Виміряні значення, градус									
	Дослід 1	Дослід 2	Дослід 3	Дослід 4	Дослід 5	Дослід 6	Дослід 7	Дослід 8	Дослід 9	Дослід 10
-130	-130,4	-129,9	-129,7	-129,8	-130,3	-130,2	-130,1	-130,1	-129,8	-130
-60	-60,1	-60,3	-59,9	-60,2	-59,8	-60,1	-59,7	-60	-60,2	-59,8
10	9,9	10,2	9,7	9,8	10,3	9,7	10,2	9,8	10,1	10
80	80	80,2	79,7	79,7	80,1	79,6	80,3	79,8	79,9	80,2
150	150,3	150,1	149,6	150,1	149,8	149,7	149,8	149,9	150,2	150,2

Таблиця 6 – Розрахунок математичного очікування та середньо квадратичного відхилення для кута нахилу

Дійсне значення, градус	Математичне очікування, градус	Середнє квадратичне відхилення
-130	-130,03	0,231
-60	-60,01	0,202
10	9,97	0,221
80	79,95	0,246
150	149,97	0,241

Таблиця 7 – Виміряні значення для знаходження випадкової похибки вимірювання кута азимуту

Дійсне значення, градус	Виміряні значення, градус									
	Дослід 1	Дослід 2	Дослід 3	Дослід 4	Дослід 5	Дослід 6	Дослід 7	Дослід 8	Дослід 9	Дослід 10
-130	-129,8	-130,3	-130,1	-129,8	-129,8	-129,7	-130	-130,2	-129,9	-130,2
-60	-59,6	-59,9	-60,1	-60,2	-59,7	-60,3	-60,2	-59,9	-60,1	-59,8
10	10,2	9,9	9,9	10,1	9,7	9,8	10,3	10,2	9,8	9,7
80	80,1	79,8	79,9	80,3	80,1	80,3	80	79,8	80,2	79,7
150	149,7	150,2	149,9	150,1	149,8	150,3	150,1	149,9	149,8	149,7

Таблиця 8 – Розрахунок математичного очікування та середньо квадратичного відхилення для кута азимуту

Дійсне значення, градус	Математичне очікування, градус	Середнє квадратичне відхилення
-130	-129,98	0,210
-60	-59,98	0,235
10	9,96	0,222
80	80,02	0,215
150	149,95	0,212

Таблиця 9 – Виміри для визначення взаємного впливу одного кута на інший та їх середнє значення (в таблиці зазначені зміни кута нахилу)

Дійсне значення кута нахилу, градус	Дійсне значення кута азимуту, градус				
	-130	-60	10	80	150
	Дослід 1				
-130	-129,7	-129,6	-130,1	-130,3	-129,6
-60	-60,6	-60,1	-59,7	-59,6	-59,8
10	10,2	10,3	10,6	9,7	9,7
80	80,3	80,2	80,4	79,6	79,7
150	149,6	150,1	149,8	150,3	150,4
	Дослід 2				
-130	-130,5	-130,2	-129,9	-129,8	-129,7
-60	-60,4	-59,6	-59,8	-59,8	-60,3
10	9,6	9,7	9,6	10,1	10,3
80	80,3	79,9	79,6	79,7	80,2
150	150,3	150,5	149,8	149,7	150,1
	Дослід 3				
-130	-130,2	-130,1	-129,6	-129,8	-130,3
-60	-59,7	-60,1	-60	-59,9	-59,6
10	10,3	10,1	9,9	10,2	9,6
80	79,8	80,1	80,3	80,1	79,5
150	149,8	149,5	150,3	149,8	150,2
	Середнє значення, градус				
-130	-130,13	-129,967	-129,87	-129,97	-129,87
-60	-60,23	-59,93	-59,83	-59,77	-59,9
10	10,03	10,03	10,03	10	9,87
80	80,13	80,07	80,1	79,8	79,8
150	149,9	150,03	149,97	149,93	150,23

Таблиця 10 – Визначення абсолютної, максимальної абсолютної похибки та максимальної приведеної похибки для кута нахилу при вимірюванні взаємного впливу

Абсолютна похибка, градус				
Дослід 1				
0,3	0,4	-0,1	-0,3	0,4
-0,6	-0,1	0,3	0,4	0,2
0,2	0,3	0,5	-0,3	-0,3
0,3	0,2	0,4	-0,4	-0,3
-0,4	0	-0,2	0,3	0,4
Дослід 2				
-0,5	-0,2	0,1	0,2	0,3
-0,4	0,4	0,2	0,2	-0,3
-0,4	-0,3	-0,4	0,1	0,3
0,3	-0,1	-0,4	-0,3	0,2
0,3	0,5	-0,2	-0,3	0,1
Дослід 3				
-0,2	-0,1	0,4	0,2	-0,3
0,3	-0,1	0	0,1	0,4
0,3	0,1	-0,1	0,2	-0,4
-0,2	0,1	0,3	0,1	-0,5
-0,2	-0,5	0,3	-0,2	0,2
Максимальна абсолютна похибка, градус				
0,5	0,4	0,4	0,3	0,4
0,6	0,4	0,3	0,4	0,4
0,4	0,3	0,6	0,3	0,4
0,3	0,2	0,4	0,4	0,5
0,4	0,5	0,3	0,3	0,4
Максимальна приведена похибка, %				
0,139	0,111	0,111	0,083	0,111
0,167	0,111	0,083	0,111	0,111
0,111	0,083	0,167	0,083	0,111
0,083	0,056	0,111	0,111	0,139
0,111	0,139	0,083	0,083	0,111

Таблиця 11 – Виміри для визначення взаємного впливу одного кута на інший та їх середнє значення (в таблиці зазначені зміни кута азимуту)

Дійсне значення кута нахилу, градус	Дійсне значення кута азимуту, градус				
	-130	-60	10	80	150
	Дослід 1				
-130	-130,4	-59,7	10,2	80,5	150,1
-60	-129,8	-60,4	10,3	80,1	149,8
10	-130,2	-59,9	9,9	79,7	150,4
80	-130,2	-59,6	10,2	79,9	149,7
150	-129,9	-60,2	9,8	79,9	150
	Дослід 2				
-130	-130,2	-59,8	10,1	80	150,4
-60	-129,8	-60,4	10,2	79,7	149,7
10	-129,9	-59,7	10,5	79,7	150,1
80	-130,5	-59,9	9,9	80,1	149,6
150	-130,4	-60,1	9,8	79,8	149,7
	Дослід 3				
-130	-130,2	-60,2	10,1	80,2	150,3
-60	-129,6	-60,5	10	79,7	150,5
10	-130,3	-59,7	9,6	79,8	150,2
80	-129,7	-60,1	9,7	80,4	149,6
150	-129,8	-59,8	10,3	79,8	149,9
	Середнє значення, градус				
-130	-130,28	-59,9	10,13	80,23	150,27
-60	-129,73	-60,43	10,17	79,83	150
10	-130,13	-59,77	10	79,73	150,23
80	-130,13	-59,87	9,93	80,13	149,63
150	-130,03	-60,03	9,97	79,83	149,87

Таблиця 12 – Визначення абсолютної, максимальної абсолютної похибки та максимальної приведеної похибки для кута азимуту при вимірюванні взаємного впливу

Абсолютна похибка, градус				
Дослід 1				
-0,4	0,3	0,2	0,5	0,1
0,2	-0,4	0,3	0,1	-0,2
-0,2	0,1	-0,1	-0,3	0,4
-0,2	0,4	0,2	-0,1	-0,3
0,1	-0,2	-0,2	-0,1	0
Дослід 2				
-0,2	0,2	0,1	0	0,4
0,2	-0,4	0,2	-0,3	-0,3
0,1	0,3	0,5	-0,3	0,1
-0,5	0,1	-0,1	0,1	-0,4
-0,4	-0,1	-0,2	-0,2	-0,3
Дослід 3				
-0,2	-0,2	0,1	0,2	0,3
0,4	-0,5	0	-0,3	0,5
-0,3	0,3	-0,4	-0,2	0,2
0,3	-0,1	-0,3	0,4	-0,4
0,2	0,2	0,3	-0,2	-0,1
Максимальна абсолютна похибка, градус				
0,4	0,3	0,2	0,5	0,4
0,4	0,5	0,3	0,3	0,5
0,3	0,3	0,5	0,3	0,4
0,5	0,4	0,3	0,4	0,4
0,4	0,2	0,3	0,2	0,3
Максимальна приведена похибка, %				
0,111	0,083	0,056	0,139	0,111
0,111	0,139	0,083	0,083	0,139
0,083	0,083	0,139	0,083	0,111
0,139	0,111	0,083	0,111	0,111
0,111	0,056	0,083	0,056	0,083

Поз. обозн.	Найменування	Кол-во	Примітка
<u>Конденсатори</u>			
C1	SMD – 16 В – 100 мкФ – ±20%	1	
C2	K10-17-1A – 50В – 0.1 мкФ – ±2%	1	
C3	SMD – 16 В – 100 мкФ – ±20%	1	
C4	K10-17-1A – 50 В – 0.1 мкФ – ±2%	1	
C5, C6	SMD – 50 В – 18пФ – ±5%	2	
C7	SMT – 10 В – 4,7мкФ – ±10%	1	
C8	SMD – 50 В – 0,1мкФ – ±10%	1	
C9, C10	SMT – 10 В – 4,7мкФ – ±10%	2	
C11	SMD – 50 В – 0,1мкФ – ±10%	1	
<u>Мікросхеми</u>			
DA1	MIC5205-3.3	1	
DA2	UA78M05	1	
DD1	ADXL345	1	
DD2	ATMEGA168PA	1	
<u>Індикатор</u>			
HG1	LCD Module1602A	1	
<u>Діоди</u>			
HL1	Світлодіод LTST"C170TBKT	1	

BM61.010004.001 П201

Изм	Лист	Недок.	Подпись	Дата				
Розроб		Кузьменко В.С.			Цифровий вимірювач кута нахилу поверхні Перелік елементів	Лит.	Лист	Листів
Перевірів		Стаценко О.В.				0	1	2
Н. контр.		Богомазов С.А.				НТУУ "КПІ імені Ігоря Сікорського" ПБФ, гр. BM61-2		
Затверд.								

Поз. обозн.	Найменування				Кіль- ть	Примітка
	<u>Резистори</u>					
R1, R2	SMD – 62 мВт – 4.7 кОм – ± 1%				2	
R3	SMD – 63 мВт – 1 кОм – ± 5%				1	
R4	YC164 – 62.5 мВт – 680 Ом – ±5%				1	
R5	3296W-1-100LF – 0.5 Вт – 10 кОм – ± 10%				1	
R6	SMD – 125 мВт – 10 кОм – ±5%				1	
	<u>Резонатор кварцевий</u>					
ZQ1	HC-49US				1	
	BM61.010004.001 П201					Лис т
						2
Изм.	Лист	№ док.	Подпись	Дата		