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

Приладобудівний факультет

Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю

«На правах рукопису»
УДК _____621.317_____

До захисту допущено:
Завідувач кафедри
Юрій КИРИЧУК
«___»_____20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні**»**

зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології**»**

на тему: «Система автоматизованого вимірювання кута нахилу**»**

Виконав (-ла):
студент (-ка) VI курсу, групи ПМ-11мп
Морозов Ярослав Євгенійович _____

Науковий керівник:
к.т.н. Котляр Світлана Сергіївна _____

Консультант з розроблення стартап-проекту:
завідувач кафедри економічної кібернетики, д.е.н., проф.
Бояринова Катерина Олександрівна _____

Рецензент:
доц., к.т.н. Синиця Валентин Іванович
_____

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.
Студент (-ка) _____

Київ – 2022 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»

Приладобудівний факультет

Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)
Спеціальність – 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Освітньо-професійна програма Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____Юрій КИРИЧУК.
(підпис) (Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)
«___»_____2022 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту

Морозову Ярославу Євгенійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема магістерської дисертації Система автоматизованого вимірювання кута нахилу _____
_____
науковий керівник дисертації Котляр Світлана Сергіївна, к.т.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «_9_»____листопада_____ 2022_ р. №__4110-с___

2. Термін подання студентом дисертації 19.12.2022

3. Об'єкт дослідження: цифровий інклінометр з вбудованими акселерометром і гіроскопом.

4. Вихідні дані до дисертації: вид системи - система автоматизованого вимірювання кута нахилу, тип приладу – інклінометр, вид інклінометра – цифровий; тип датчика – акселерометр і гіроскоп.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: Аналіз вимірювальної величини, Аналіз систем і засобів вимірювання, Розробка структурних схем, Схеми фільтрації,
Логіко-структурна схема, Підготовка розділу стартап проекту, Оформлення пояснювальної записки.

6. Перелік (ілюстративного) графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, тощо): структурні схеми ФА1 – 2 шт., схема фільтрації - ФА1 – 2 шт., логіко-структурна схема ФА1 – 1 шт., 3-д модель датчиків ФА1 – 1 шт.

7. Орієнтовний перелік публікацій: Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні - Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. –254 с.

8. Консультанти розділів дисертації *

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Стартап проект	Бояринова Катерина Олександрівна		

9. Дата видачі завдання 03.10.2022 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дисертації	Термін виконання етапів дисертації	Примітка
1.	Аналіз вимірювальної величини	1 тиждень	виконано
2.	Аналіз систем і засобів вимірювання	2-3 тиждень	виконано
3.	Розробка структурних схем	4-5 тиждень	виконано
4.	Схеми фільтрації	5-7 тиждень	виконано
5.	Логіко-структурна схема	8 тиждень	виконано
6.	Підготовка розділу стартап дисертації	9-10 тиждень	виконано
7.	Оформлення пояснювальної записки	11 тиждень	виконано

Студент _____ Ярослав МОРОЗОВ
(підпис) (Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Науковий керівник _____ Світлана КОТЛЯР
(підпис) (Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

*Консультантом не може бути зазначено керівника магістерської дисертації.

РЕФЕРАТ

Дипломна програма присвячена дизайну та розробці цифрових інклінометрів. Цей пристрій використовується для регулювання нахилу будівельних споруд, мостів, будинків, об’єктів, тощо. Цифрові інклінометри є універсальними інструментами для різноманітних завдань, від геотехнічних досліджень до побудови моделей літаків. Ці пристрої вимірюють кути нахилу або нахилу відносно контрольної точки і можуть використовуватися для вимірювання вертикальних або горизонтальних кутів за допомогою датчиків, які реагують на зміни світла чи темряви. У новітніх цифрових інклінометрах використовується технологія MEMS, що означає мікроелектромеханічні датчики, а в акселерометрах – датчики нахилу.

Annotation

The diploma program is dedicated to the design and development of digital inclinometers. This device is used to adjust the inclination of construction structures, bridges, buildings, objects, etc. Digital inclinometers are versatile tools for a variety of tasks, from geotechnical surveys to building model airplanes. These devices measure tilt or tilt angles relative to a reference point and can be used to measure vertical or horizontal angles using sensors that respond to changes in light or darkness. The latest digital inclinometers use MEMS technology, which stands for micro-electromechanical sensors, while accelerometers use tilt sensors.

ЗМІСТ

ВСТУП 5

1.АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ МАГІСТЕРСЬКОГО ПРОЕКТУ 6

1.1 Вимірювання кутів і кутового положення 6

1.2 Інклінометри 7

1.3 Принцип дії інклінометра 13

2 РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО ВИМІРЮВАННЯ КУТА НАХИЛУ 19

2.1 Огляд 19

2.2 Компоненти системи вимірювання нахилу 19

2.3 Режим живлення акселерометра 23

2.4 Структурні схемифільтрів акселерометра 24

2.5 Режим живлення гіроскопа 25

2.6 Вбудовані функції для низького енергоспоживання 27

2.7 Виявлення нахилу 28

2.8 Визначення кінцевого автомату 28

2.9 Програмне забеспечення 35

2.10 Принцип роботи датчика с вбудованим мікропроцесором 36

2.11 Визначення кута, алгоритм роботи датчика та програмне забезпечення 41

3 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ 45

3.1 Опис ідеї проекту 45

3.2 Технологічний аудит ідеї проекту 47

3.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту 47

3.4 Розробка ринкової стратегії проекту 55

3.5 Розробка маркетингової програми стартп проекту 57

3.6 Висновки до розділу 62

ВИСНОВКИ 63

ЛІТЕРАТУРА 64

Вступ:

Вимірювальний прилад, званий інклінометром, використовується для визначення кута, під яким об’єкт нахилений відносно поля тяжіння Землі. З розвитком нових технологій інклінометри зіграли дуже важливу роль у пошуку відхилення об'єктів від горизонтальної площини в будівництві. Важливим завданням є мінімізація розмірів обладнання для зручності використання. Розробка цифрових інклінометрів вимагає додаткового вивчення та досліджень, тому вдосконалення систем інклінометрів завжди актуальне. Інклінометри широко використовуються в будівництві та гірничодобувній промисловості. Вимірювання під малими кутами не тільки контролюють стан будівель та інженерних споруд на етапах будівництва та реконструкції, а й прогнозують обвалення в шахтах і шахтах, будь-які аномальні кліматичні явища, пов’язані з підйомами та опусканнями земної кори.

Точність і стабільність вимірювання нахилу за допомогою інклінометра залежить в першу чергу від параметрів чутливого елемента. Інклінометр, побудований на основі фотоелектричних, ємнісних і частково індуктивних датчиків кутового переміщення, має найвищу чутливість і може вимірювати малі кути нахилу з високою точністю.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ

1.1. ВИМІРЮВАННЯ КУТІВ І КУТОВОГО ПОЛОЖЕННЯ

Вимірювання кутів використовується для вимірювання країв і сортування транспортирів. Вимірювання кута використовується для передачі і запам'ятовування одиниці кута площини або для опосередкованого керування кутовим елементом деталі. Вимірювання кутів виконується у формі сталевої призми, де поперечні або вимірювальні поверхні утворюють робочий кут, коли вони перетинаються одна з одною [1]. Параметри вимірювання кутів призми встановлені ГОСТ 2875-88. Такі вимірювання використовуються у виробничих або лабораторних умовах для контролю зовнішніх і внутрішніх кутів виготовлення або виконання інструментів, шаблонів, деталей, повірки засобів вимірювальної техніки тощо. Вимірювання кутів поділяють на 5 видів. Типи 1 і 2 виготовляються з робочим кутом, у якого зрізана вершина, і вони гострі. Третій тип має 4 чотири робочих кута. Багатокутні призми з постійним кутовим кроком відносяться до четвертої категорії. П'ятий - 3 робочих кута. [2].

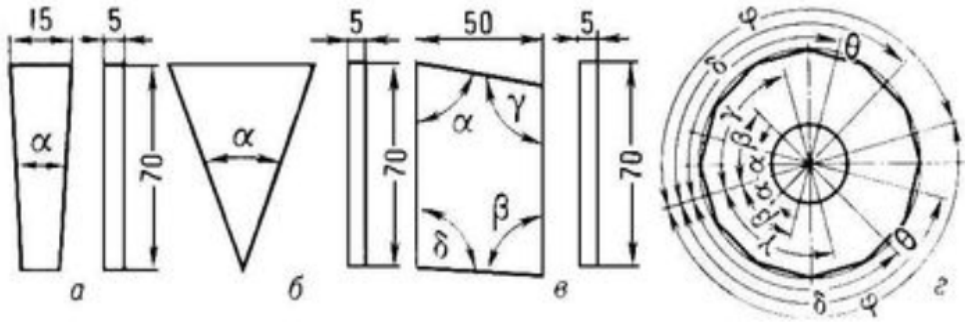


Рис. 1.1. Кутові міри: а) і б) мають постійний кут α; в) має постійні кути α, β, γ, δ; г) має постійний кутовий крок

Залежно від сфери використання та фізичної одиниці вимірювання кутові вимірювання бувають наступних типів: 1) виміри в градусах, виміри в радіанах, виміри в навігації, виміри в годинах і виміри в артилерії. Основною одиницею вимірювання градуса є градус, який записується як "°", що

дорівнює 1/90 прямого кута, а похідною одиницею є хвилина (кутова хвилина), позначена знаком "", що дорівнює 1° = 60'; наступною похідною одиницею є секунда (кутова секунда), представлена "", це 1 '= 60". Для вимірювання в радіанах основною одиницею вимірювання є радіан - кут площини, охопленої дугою, що дорівнює радіусу кола. 1 дуга становить приблизно 57°, або приблизно 10 великих кутових поділок. Для морської зйомки основною одиницею вимірювання є ромб, який становить 1/32 кола або дорівнює 10°1/4.

Основною одиницею вимірювання години є кутова година, яка дорівнює 1/6 прямого кута, або 15°; позначається літерою h, при цьому: 1h = 60 м, 1m = 60 с (м - хвилина, с - другий).

З уроку геометрії ми знаємо, що довжина кола дорівнює $l=2\pi R$, тобто $l=6{,}28R$, де R — радіус кола. Якщо коло розділити на 6000 рівних частин, то кожна така частина буде приблизно дорівнює одній тисячній довжини кола: $6{,}28R / 6000 = R / 955 \approx R / 1000$. Одна така частина довжини кола називається тисячною або малою поділкою транспортира. Тисячник — основна одиниця артилерії. Одна тисячна використовується, коли артилерійське обладнання наведено. Він дозволяє легко переходити від кутових до лінійних одиниць і навпаки: довжина дуги, що відповідає поділці шкали транспортира на всіх відстанях, дорівнює одній тисячній довжини радіуса, що дорівнює діапазону.

1.2. ІНКЛІНОМЕТРИ

Інклінометр — це прилад, що використовується для вимірювання кута нахилу або деформації конструкції. Це датчик, який використовує акселерометр для вимірювання нахилу, висоти або кута падіння відносно сили тяжіння. Пристрій має багато застосувань, починаючи від підводної фотографії і закінчуючи літаками та надводними кораблями . Вимірювання

проводяться в градусах, хвилинах або секундах, а отримані дані можуть бути виражені у відсотках або градусах.

Система інклінометра складається з корпусу інклінометра та системи вимірювання інклінометра. Корпус має чотири ортогональні канавки вздовж внутрішньої сторони для направлення зонда інклінометра до лінії корпусу інклінометра. Зонд містить квадратурні датчики, які вимірюють кут між корпусом зонда та його вертикальним або горизонтальним положенням. Крім того, зонд містить підресорені колеса, які гарантують, що він залишається в центрі корпусу. Для динамічних інклінометрів система може виводити сили прискорення та швидкість обертання окремо для кожної з трьох осей. Таким чином, динамічні інклінометри забезпечують стабілізовані дані для кутів нахилу без необхідності налаштування будь-яких параметрів датчика [2]. Інклінометри використовуються в вимірювачах нахилу або рівня для виведення кутів нахилу та/або крену через електричний інтерфейс, і вони часто використовуються як інструмент виявлення при зведенні мостів, прокладці залізниць, цивільному будівництві та безпеці будівель. Підсумовуючи, призначенням інклінометра є вимірювання кута об’єктів відносно сили тяжіння, що робиться за допомогою внутрішнього гіроскопа для вимірювання напрямку сили тяжіння і розміщення твердого об’єкта вздовж гіроскоп для визначення кута між ними [1].

Компоненти інклінометра

Інклінометри є важливим інструментом для вимірювання кута об’єкта відносно сили тяжіння. Інклінометр складається з двох основних частин: корпусу інклінометра та вимірювальної системи інклінометра [6]. Залежно від застосування, інклінометри можуть поєднуватися з компасами та мати різні стил. Датчики інклінометра бувають багатьох типів і розмірів і можуть мати різні назви, включаючи інклінометри, індикатори нахилу, градієнтометри та вимірювачі схилення. По суті, інклінометр – це прилад, який вимірює ступінь нахилу вгору або вниз. Інклінометри також використовуються для вимірювання величини нахилу або прогину будь-якої

конструкції, при цьому нахил зазвичай виражається у відсотках або градусах відносно сили тяжіння [6].

Щоб використовувати інклінометр, подивіться в окуляр і вирівняйте горизонтальну лінію, що тягнеться через дисплей, з об’єктом, який вимірює кут. Однак інклінометр покладається на електронні датчики для визначення свого кута відносно землі. Інклінометри старого зразка покладаються на воду для вимірювання кутів поверхні, і поведінку інклінометрів старого зразка можна відтворити, нахиливши склянку з водою та використовуючи позначки на бічній частині контейнера для вимірювання кута поверхні. Система інклінометра потребує комбінації пристроїв і датчиків для вимірювання та збору даних, і розуміння компонентів інклінометра має вирішальне значення для розуміння того, як вони працюють і для чого вони використовуються [6].

Типи інклінометрів:

1) **Електронні інклінометри** - це вимірювальні пристрої загального призначення, які використовуються в різних умовах. Загалом, вони вимірюють кут нахилу об’єкта відносно сили тяжіння [2]. Це досягається за допомогою внутрішнього гіроскопа, який вимірює напрямок сили тяжіння. Гіроскоп зберігає положення незалежно від орієнтації об'єкта. Інклінометри використовуються в різних практичних цілях. Наприклад, вони використовуються в рекреаційних заходах, таких як їзда на велосипеді, розміщення супутникових антен і сонячних панелей для оптимального прийому сигналу або джерела світла , а також у цивільному будівництві для вимірювання нахилу землі перед будівлями. Крім того, вони використовуються в вимірювальному обладнанні, будівельній техніці і важкій будівельній техніці як механізм безпеки [2]. У цих налаштуваннях інклінометри використовуються разом із системами відображення та керування для забезпечення візуального та звукового зворотного зв’язку, коли безпечні робочі межі перевищено або наближено. Цей інтерфейс має вирішальне значення для запобігання маніпуляціям при перевищенні

обмежень безпеки. Крім того, вони використовуються в мобільних додатках, таких як наш чудовий додаток Big Compass, який відображає напрямок справжньої півночі та відповідний числовий азимут і схилення. Існують також різні типи інклінометрів, які вимагають комбінації обладнання та датчиків для вимірювання та збору даних. Відрегулюйте час нахилу, ретельно знявши набір показників, перевіривши вільний хід направляючого колеса в підшипнику, і за потреби затягніть. Ущільнювальне кільце використовується для забезпечення водонепроникного ущільнення між зондом і кабелем, а роз'єм кабелю захищено кришкою, щоб запобігти пошкодженню або забрудненню контактів роз'єму. Змастіть вузол підшипника колеса, покладіть твердий предмет уздовж гіроскопа та за допомогою інклінометра визначте кут і відобразіть його на електронному дисплеї. Загалом, електронний інклінометр — це прецизійний вимірювальний прилад, який використовується для точного визначення кутів.

Рис 1.2 - Електронний інклінометр [6]

2) **Ртутний інклінометр** — це інклінометр, який використовує рідку ртуть замість гіроскопа для вимірювання нахилу. Даний тип інклінометра є дуже надійним і довговічним, оскільки не містить механічних сполучних елементів і герметично закритий. Пристрій складається зі скляної трубки з рідиною та бульбашкою повітря всередині. Повітряна бульбашка

залишається рівною під час руху приладу, а її положення вказує на кут нахилу на шкалі. Використання ртуті в інклінометрах обмежено, оскільки вона є небезпечною речовиною для навколишнього середовища. Металеві контакти колби, які здійснюють електричні з'єднання, коли лампа нахилена, називаються ртутними з'єднаннями. Інклінометри також відомі під різними назвами, такими як градіометр, індикатор нахилу та схилометр. Система інклінометра складається з корпусу інклінометра та системи вимірювання інклінометра. Система вимірювання інклінометра складається з інклінометра та двох металевих контактів всередині колби. Корпус забезпечує контакт для підземних вимірювань, а його канавки контролюють орієнтацію датчика інклінометра [2]. Щоб забезпечити точність, ущільнювальне кільце використовується для забезпечення водонепроникного ущільнення між зондом і кабелем. Додатково слід нанести мастило на колісні підшипникові вузли, а роз'єми кабелю захистити кришками. Нарешті, подбайте про те, щоб під час налаштування приладу зняти набір показань, переконавшись, що направляючі колеса перевірено на вільний хід підшипників і затягнуто, якщо необхідно [1].

Рис 1.3 - Ртутний інклінометр[6]

3) **Ручні інклінометри** є безцінним інструментом для різноманітних застосувань. Інклінометри вимірюють кут об’єкта відносно землі, і вони бувають різних форм і розмірів. Інклінометри використовуються інженерами, лісничими, геодезистами та іншими професіоналами в поєднанні з іншими технологіями, такими як акселерометри, кабелі сервоприводів, кабельні котушки, блоки цифрового зчитування та мастильні матеріали для вузлів колісних підшипників . Їх можна використовувати для вимірювання кутів нахилу в областях, де немає встановлених опорних точок, їх набагато легше встановлювати і, отже, дешевше порівняно з поворотними датчиками, що робить їх ідеальними для різних застосувань.

Рис 1.3 - Ручний інклінометр[6]

4) **Маятниковий інклінометр** - це прилад, який використовується для вимірювання нахилу або підтримки горизонтального положення обладнання. Він складається з наступних компонентів: маятник, корпус інклінометра і система вимірювання інклінометра. Маятник є альтернативою акселерометру, рідинно-ємнісним, електролітичним, газовим бульбашкам у рідині та цифровим інклінометрам. Він має електричний потенціал і використовується для вимірювання кутового зміщення положення маятника відносно зміни нахилу маятника. Коли інклінометр вертикальний, обидва детектори (детектор «А» і «В») відчувають однаковий потенціал. Використовується також для контролю та регулювання ходу гака великого судна. Як інструмент виявлення, інклінометри, також відомі як датчики нахилу, використовуються для вимірювання кута нахилу або

деформації для нерухомих конструкцій. Суцільний маятниковий датчик нахилу має чітку довжину маятника та центр маятника, і його принцип такий самий, як у датчика прискорення . З іншого боку, датчик кута рідкого маятника знаходиться між ними, але система стабільна і широко використовується у високоточних системах. Таким чином, інклінометр маятникового типу є важливим інструментом для вимірювання нахилу або підтримки горизонтального положення обладнання.

Рис 1.4 - Маятниковий інклінометр [6]

1.3. ПРИНЦИП ДІЇ ІНКЛІНОМЕТРА

Інклінометри – це датчики нахилу, призначені для визначення кутового положення об’єкта з урахуванням сили тяжіння. За допомогою таких пристроїв встановлюється кут нахилу об’єкта контролю, а інформація про вимірювання виводиться на екран дисплея за допомогою цифрового пристрою відображення [5].

За принципом дії інклінометри поділяються на такі види:

- гіроскопічні,
- автомобільні,
- електронні,
- цифрові.

Принцип роботи гіроскопічного інклінометра полягає у вимірюванні кута відхилення положення об'єкта на земній поверхні відносно вектора земного тяжіння, що діє на об'єкт. Це досягається за допомогою акселерометра, який відстежує вплив сили тяжіння на невелику масу, підвішену до пружної опорної конструкції. Під час нахилу об’єкта з пристроєм маса акселерометра зміщується з попереднього положення, що викликає зміну ємності між масою та опорною конструкцією датчика (тобто пластиною конденсатора). Обчисліть кут нахилу за зміною значення ємності. Основні складові даного датчика нахилу: блок управління, пружний елемент, електрод, контакт.

Інклінометр гіроскопа міцно закріплений на об'єкті вимірювання. У початковому положенні інклінометра, в горизонтальному положенні, ємність між електродами фіксована. При нахилі вимірюваного об'єкта відповідно нахиляється інклінометр, а рухома маса та її контакти змінюють своє просторове положення відносно нерухомого електрода, наближаючись до нерухомого електрода або віддаляючись від нього. Завдяки цим діям змінюється значення ємності між двома електродами, що в свою чергу викликає зміну напруги струму, що протікає по ланцюгу. Ці дані використовуються для розрахунку нових значень положення або нахилу [5].

Описаний принцип роботи реалізований для вирішення промислових і побутових завдань, наприклад, таким чином працюють датчики руху смартфона або автомобільні подушки безпеки. Ці завдання не вимагають досить високої точності, тому в даному випадку використовуються датчики низької точності, де похибка становить ± 1 градус.

У гірничій справі промислові інклінометри (тип ІЕМ-36), що використовують набір прецизійних електродів, успішно застосовуються при бурінні для збільшення діапазону вимірювань і точності. Для статичних інклінометрів рухома маса демпфується пружними елементами, які допомагають знизити чутливість датчика до частот понад 29 Гц.

Плюси: Вплив зовнішніх завад компенсується вбудованими програмними фільтрами, такими як фільтри згладжування сигналу, але їх використання сповільнює відгук датчика. До недоліків можна віднести їх чутливість до сильних ударів і вібрацій.

Прецизійні інклінометри призначені для вимірювання малих кутів нахилу і нахилового руху об'єкта за двома координатами. В основному даний вид інклінометрів використовується в системах моніторингу будівель і архітектурних споруд, природних і штучних великих об'єктів в скельних і інженерно-геологічних розробках. Вони також використовуються в системах контролю кутового положення об'єктів під час руху, для дослідження вигинів будівельних конструкційних елементів: платформ, фундаментів, опор, ферм, щоглових конструкцій, вітрогенераторів тощо.

Для роботи в умовах зовнішнього середовища інклінометр конструктивно оснащений пиловологозахищеними елементами на корпусі приладу, а також повинен мати кронштейн для кріплення на об'єкті вимірювання через монтажний елемент.

Динамічні інклінометри поєднують два різних принципи вимірювання. У таких пристроях поєднані два різних датчика: 3D-акселерометр і 3D-гіроскоп. На відміну від гіроскопічних інклінометрів, які використовуються для статичних вимірювань, 3D-акселерометри не містять демпфуючих елементів. Динамічні інклінометри реагують на швидкий динамічний рух об'єктів. 3D-гіроскоп використовується для вимірювання швидкості обертання або відхилення. Його принцип дії заснований на принципі сили інерції. Сигнали від цих двох датчиків поєднуються, щоб дозволити вибрати значення нахилу в реальному часі.

Динамічні інклінометри успішно застосовуються в мобільних технічних засобах, таких як диктатори, спеціальна будівельна техніка, екскаватори та шахтне обладнання, роботизовані системи.

Акселерометри зазвичай призначені для вимірювання прискорення руху об’єкта. Прискорення виникає під час прямолінійного та кутового руху об'єктів, і акселерометри є важливими елементами систем, які контролюють цей рух. Прикладами такої поведінки можуть бути удари та вібрації, спричинені маніпуляціями з об’єктами та їх тестуванням. Значення прискорення руху вимірюється не безпосередньо, а шляхом вимірювання інерційного прискорення реакції датчика. Прискорення руху відповідає інерційному прискоренню, але в протилежному напрямку [6].

Інерційне прискорення внаслідок фізичного впливу на об'єкт схоже на гравітаційне прискорення або силу тяжіння. Таким чином, акселерометр реагує як на прискорення сили тяжіння, так і на прискорення інерції. Вектор прискорення сили тяжіння спрямований вертикально вниз по відношенню до поверхні Землі, що дає можливість вимірювати нахил об'єкта, на якому встановлено датчик. Показник динамічного інклінометра пропорційний добутку прискорення сили тяжіння на синус кута нахилу об'єкта [7].

Для покращення вимірювальних характеристик датчики оптимізовані відповідно до їх використання, типу та характеру зовнішніх впливів: статичне вимірювання кутів нахилу, вібрацій, ударних навантажень, значень прискорення, частотного діапазону та точності вимірювань.

Датчик призначений для вимірювань, пов’язаних із прискоренням руху, наприклад рухом (удар або вібрація), силою тяжіння (кутом нахилу), тобто датчик можна оптимізувати як акселерометр та інклінометр.

У більшості випадків такі датчики складаються з 3-осьового акселерометра та 3-осьового гіроскопа на додаток до 3-осьового магнітометра. Для вирішення нестандартних завдань і зниження собівартості виробництва електронна промисловість випускає і більш прості датчики. Існують моделі з одноосьовим гіроскопом, з 3-осьовим акселерометром, з 3-осьовим акселерометром і 1-осьовим гіроскопом [8].

При аналізі та розрахунку результатів вимірювання лінійного прискорення, викликаного різними рухами, слід враховувати вплив сили тяжіння. Акселерометри фізично реагують на гравітацію та інерційні явища, викликані прискореним рухом.

Наявність періодично змінюваного прискорення має великий, але незначний вплив на акселерометр і проявляється під час вимірювання швидкості обертання за допомогою гіроскопа. Щоб отримати оптимальне значення вимірювань від кожного датчика, сигнали від обох датчиків поєднуються. Щоб знайти справжнє значення положення об'єкта, необхідно відокремити корисний сигнал від похибок, викликаних зовнішніми ефектами прискорення.

Датчики поділяються на одноосьові та двоосьові групи: для вимірювань по осях X і Y по кожній осі фіксується значення нахилу відносно дії гравітаційного силового поля. Якщо датчик може вимірювати лише вздовж однієї осі, він повинен бути встановлений вертикально [5].

Оцінка сигналу від датчиків обробляється в режимі реального часу мікроконтролером. Крім того, вимірюється температура навколо датчика. Алгоритм інтелектуальної цифрової фільтрації використовується для зменшення впливу навколишнього шуму та вібрації на датчик. Це дозволяє забезпечити відносно стабільний і точний сигнал за будь-яких умов навколишнього середовища та експлуатації.

На вибір типу інклінометра впливають такі робочі параметри:

- час циклу датчика (має бути фіксованим, зазвичай не більше 5 мс);

- час циклу передачі інформації (цей параметр буде змінюватися в процесі роботи і може бути встановлений і налаштований оператором);

- абсолютна точність;

- максимальний дрейф нуля або похибка дрейфу;

- динамічна точність.

Існуючі типи інклінометрів дозволяють оцінювати прискорення до 10 м/с2 за період 1 с, а також коливання від 1 до 1000 Гц при силі 1 м.

Висновки до розділу 1

У даному розділі магістерській дисертації проведено огляд і аналіз цифрових інклінометрів, проведено порівняння принципів роботи приладів різного типу. Описано конструкції і принцип роботи засобів для вимірювання кута нахилу.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО ВИМІРЮВАННЯ КУТА НАХИЛУ

2.1 ОГЛЯД

Автоматична система вимірювання нахилу є комплексною системою, що включає високоефективний триосьовий цифровий акселерометр і триосьовий цифровий гіроскоп. Датчик пропонує найсучасніші датчики руху, які можуть визначати орієнтацію та жести, надаючи розробникам додатків і споживачам функціональність, окрім простого розташування своїх пристроїв у портретному та альбомному режимах. Переривання виявлення подій забезпечують ефективне та надійне відстеження руху та виявлення контексту, підтримуючи апаратне розпізнавання подій для вільного падіння, 6D-орієнтації, виявлення одинарного та подвійного дотику, активності чи бездіяльності.

Як і весь портфель сенсорних модулів MEMS, пристрій виготовляється за допомогою надійного та зрілого власного виробничого процесу, який використовувався для виготовлення мікромашинних акселерометрів і гіроскопів. Різні чутливі елементи виготовляються за допомогою спеціальних процесів мікрообробки, тоді як інтерфейс IC розроблено з використанням технології CMOS, що дозволяє розробляти спеціальні схеми, оптимізовані для характеристик чутливих елементів.

2.2 КОМПОНЕНТИ СИСТЕМИ ВИМІРЮВАННЯ НАХИЛУ

Тип акселерометра.

Акселерометри – електромеханічні прилади, які вимірюють сили прискорення [4]. Ці пристрої можуть бути реалізовані безпосередньо в невеликих пристроях, таких як мобільні мікроботи, або вбудовані в

різноманітні портативні цифрові пристрої, такі як стільникові телефони, камери, комп’ютерні проектори, приймачі GPS та ігрові консолі [2]. Вони також використовуються в різноманітних додатках, починаючи від переносних фітнес-пристроїв і закінчуючи системами стабілізації промислових платформ [4]. Крім вимірювання прискорення, ці пристрої також можуть вимірювати нахил і вібрацію або удар [4]. Це робить їх придатними для інерціальних навігаційних систем [1], а також планшетів і цифрових камер, які використовуються для вимірювання тангажу і стабілізації польоту відповідно. З точки зору дизайну, є сотні деталей на вибір із широким діапазоном вартості та продуктивності [4].

Механічні акселерометри зазвичай розроблені з електростатичним двигуном або електромагнітом, який називається блоком зонда [3], який приводиться в дію електронною схемою, яка сприймає невеликі рухи, а потім лінійним двигуном, який штовхає блок зонда, щоб він не рухався занадто далеко. [3] Між тим, ємнісні акселерометри зазвичай використовують кремнієві чутливі елементи з мікромашинами [3], тоді як п’єзоелектричні акселерометри використовують п’єзоелектричні керамічні датчики або монокристали [3]. З іншого боку, п’єзорезистивні акселерометри краще витримують удари [3]. Тому вони зазвичай використовуються для моніторингу вібрації в обертових механізмах [3] і виявлення несправностей до того, як обладнання повністю вийде з ладу [3].

Помилки в показаннях через статичні або квазістатичні умови [4] слід враховувати при розгляді вимірювань акселерометром спаду амплітуди прискорення, оскільки акселерометри забезпечують найбільш надійні вимірювання, коли об'єкт, до якого вони прикріплені, не рухається [1].

Тип гіроскопа.

Гіроскопи широко використовуються в побутовій електроніці, аерокосмічних і навігаційних системах. [5] Гіроскопи вимірюють і

підтримують орієнтацію та кутову швидкість об'єкта [5], функція особливо важлива в аерокосмічних застосуваннях. Наприклад, в літаках кільцеві лазерні гіроскопи використовуються для підтримки орієнтації та тангажу літака проти постійного обертання гіроскопа [6]. Крім того, гіроскопи використовуються в компасах для кораблів, космічних кораблів і літаків [5], а також в гіроскопічних теодолітах, що використовуються в гірничих роботах [7]. Гіроскопи засновані на збереженні моменту імпульсу [7], який виникає через інерційні властивості згинальних стоячих хвиль [5]. Це проілюстровано на прикладі напівсферичного резонансного гіроскопа (HRG) [5], який використовує тонку суцільну напівсферичну оболонку, що підтримується товстими ніжками, які оточують оболонку в резонансі згину за рахунок електростатичних сил, створених електродами, прикладеними безпосередньо до одного плавленого кремнезему. Хоча акселерометри та гіроскопи часто використовуються як доповнення [6], існує кілька типів гіроскопів, включаючи кільцеві лазерні гіроскопи, волоконно-оптичні гіроскопи, рідинні гіроскопи, вібраційні гіроскопи та мініатюрні гіроскопи [6].

Функції та можливості вимірювальної системи.

Вимірювальна система є потужним інструментом для отримання точної інформації про нахил і прискорення об’єкта. Ця система складається з кількох компонентів, таких як інклінометри, датчики акселерометрів, центральний блок і комп’ютер [8]. Датчики акселерометра генерують числові дані у вигляді профілів вібрації, що дозволяє користувачеві відстежувати та оцінювати якість вирівнювання в режимі реального часу [9]. Інклінометри вимірюють відносний нахил платформ до номінованої базової платформи [8], а комп’ютер використовується для обчислення виміряних нахилів і відносних нахилів і створення графічного представлення даних [8]. Точність системи залежить від величини похибок вимірювання [8], а формула для розрахунку точності датчика нахилу [10]:

точність = (дійсне значення - виміряне значення) / справжнє значення. Час відгуку датчика нахилу становить близько 2 с [10], а мінімальна зміна кута, встановлена для позиційної точності поворотного столу, становить 0,01∘ [10]. Крім того, багато дослідницьких груп присвятили свої зусилля покращенню продуктивності датчиків нахилу та відповідних вимірювальних систем [10], і з моменту швидкого розвитку технології MEMS багато видів датчиків зробили революцію та дозволили зменшити розміри, кращу продуктивність і нижча ціна [10]. Ця система може бути використана для встановлення фіксованих позицій зброї на винищувачах [8], для перевірки осей обладнання, такого як гіроскопи [8], для перевірки положень іншого обладнання [8], а також для перевірки вирівнювання віддалених осей. , наприклад на довгих валах [8]. Загалом, вимірювальна система пропонує різноманітні функції та можливості, які можна використовувати в широкому діапазоні програм.

Робота гіроскопа та акселерометра.

Акселерометри та гіроскопи — це два пристрої, які часто використовуються разом для отримання точної інформації про орієнтацію пристрою відносно площини землі. Акселерометри вимірюють лінійний рух, наприклад гравітаційне прискорення або рух [8], тоді як гіроскопи вимірюють швидкість обертання або швидкість зміни кутового положення з часом. Акселерометри зазвичай складаються з відносно великого ротора, підвішеного на трьох підвісах або кільцях з опорними поверхнями для мінімізації крутного моменту. Навпаки, гіроскоп складається з вільно обертового диска, який називається ротором, встановленого на обертовому валу в центрі більшого, більш стабільного колеса. Гіроскопи використовують земне тяжіння, щоб допомогти визначити орієнтацію пристрою [6]. Конструкція гіроскопа складається з ротора, підвішеного на трьох шарнірах або кільцях [5], на кожному з яких розміщено відносно великий ротор [5], встановлений на високоякісній опорній поверхні. Усереднення даних з двох

пристроїв дає кращу оцінку поточного нахилу пристрою, ніж використання лише даних акселерометра [7], оскільки гіроскопи вимірюють обертання [7], а акселерометри вимірюють лінійний рух [8] і можуть визначити нахил або бічну орієнтацію пристрою. Хоча гіроскоп менш чутливий до лінійного механічного руху, ніж акселерометр [7], він має інші проблеми, такі як дрейф [7], який спричинений накопиченими вихідними помилками, викликаними [8]. Щоб подолати цю проблему, 4% даних акселерометра використовується для усунення помилок дрейфу гіроскопа [8], тоді як 96% даних гіроскопа використовується для вимірювання довгострокового дрейфу вихідного сигналу [8].

2.3 РЕЖИМИ ЖИВЛЕННЯ АКСЕЛЕРОМЕТРА

У приладах акселерометр і гіроскоп можна вмикати/вимикати незалежно один від одного, і вони можуть мати різні режими ODR і живлення. Має три режими роботи:

• Активний лише акселерометр, гіроскоп вимкнено

• У вимкненому режимі активні лише гіроскоп і акселерометр

• Активні датчики акселерометра та гіроскопа з незалежним ODR

Акселерометр можна налаштувати в п’яти різних режимах роботи: зниженому, наднизькому, низькому, нормальному та високопродуктивному. Вибраний режим роботи залежить від значення біта XL_HM_MODE в CTRL6_C (15h). Якщо XL_HM_MODE встановлено на «0», режим високої продуктивності дійсний для всіх ODR (від 12,5 Гц до 6,66 кГц). Щоб увімкнути режим низької потужності та звичайний режим, біт XL_HM_MODE має бути встановлений на «1». Режим низької потужності призначений для нижчих ODR (1,6, 12,5, 26, 52 Гц), а нормальний режим — для ODR, що дорівнює 104 і 208 Гц.

Лічильник можна налаштувати в режимі Ultra Low Power (ULP), встановивши біт XL_ULP_EN на 1 у регістрі CTRL5_C (14h). Цей режим

можна використовувати лише в режимі акселерометра (датчик гіроскопа має бути вимкнено) і значення ODR_XL між 1,6 Гц і 208 Гц. Якщо потрібно використовувати режим ULP, біт XL_HM_MODE має бути встановлений на 0. Під час увімкнення/вимкнення режиму ULP акселерометр має бути налаштований у вимкненому стані. Шаблони ULP не можна використовувати в режимах підключення Mode 3 або Mode 4. Вбудовані функції на основі даних акселерометра (вільне падіння, 6D/4D, натискання, подвійне натискання, пробудження, активність/бездіяльність, нерухомість/рух, крокомір, виявлення кроків, значний рух, нахил) і функції пакетної обробки FIFO в Досі підтримуються, коли ULP режим увімкнено.

2.4 СТРУКТУРНІ СХЕМИ ФІЛЬТРІВ АКСЕЛЕРОМЕТРА

У вимірювачі ланцюг фільтрації для частини акселерометра складається з наступного:

• Аналоговий фільтр (згладжування);

• Цифровий фільтр (LPF1);

• Композитний фільтр;

Деталі блок-схеми представлені на наступному малюнку.

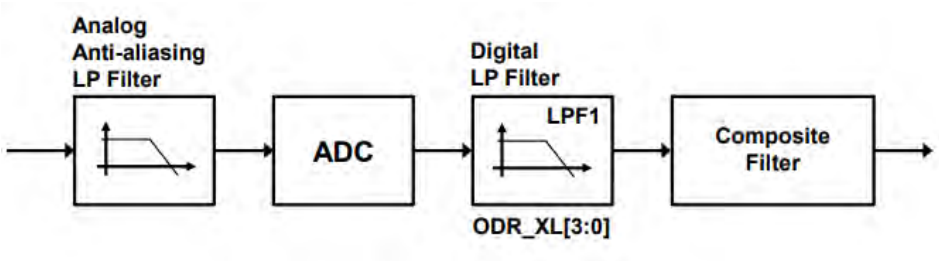


Рис. 2.1. Ланцюжок інтерфейсу користувача акселерометра [21]

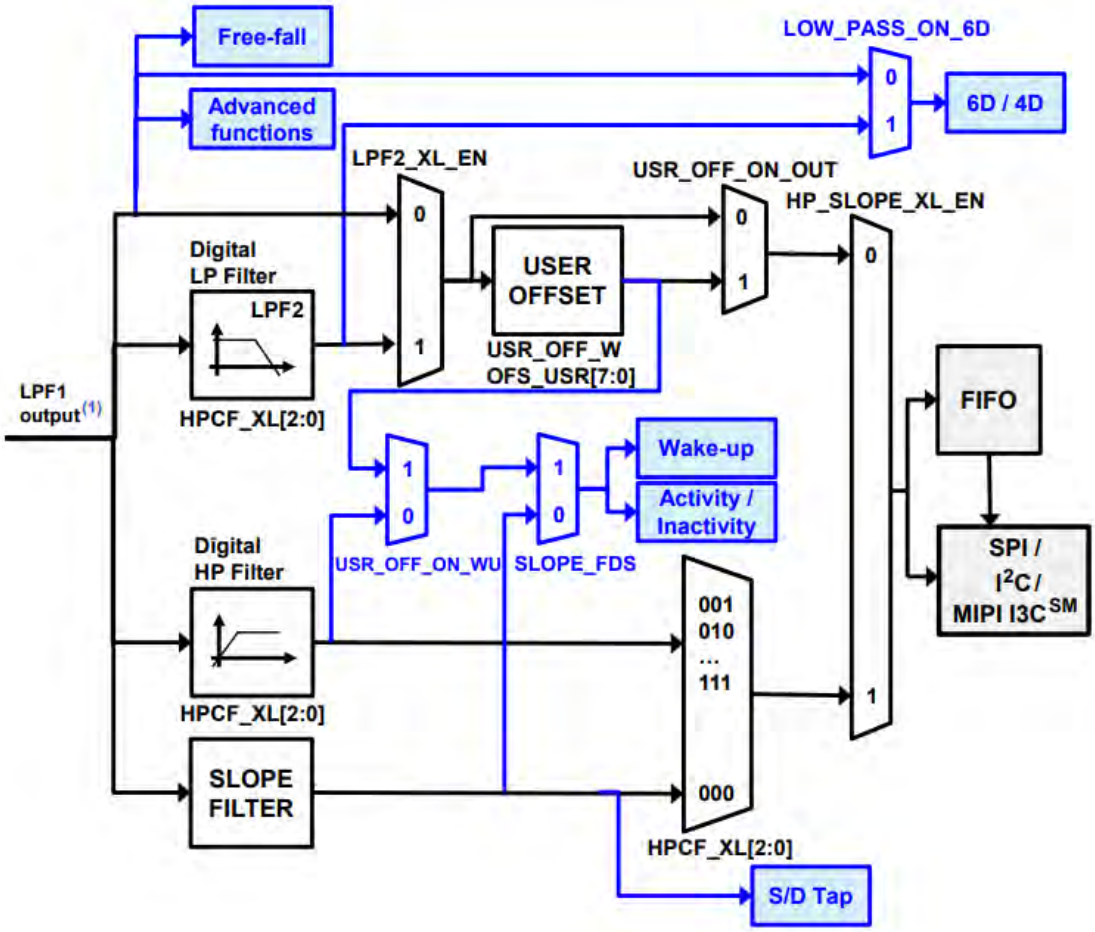


Рис. 2.2. Композитний фільтр акселерометра [21]

2.5 РЕЖИМИ ЖИВЛЕННЯ ГІРОСКОПА

Гіроскоп можна налаштувати в чотирьох різних режимах роботи: низька потужність, низька потужність, нормальний режим і режим високої продуктивності. Вибраний режим роботи залежить від значення біта G_HM_MODE в CTRL7_G (16 год). Якщо G_HM_MODE встановлено на «0», режим високої продуктивності дійсний для всіх ODR (від 12,5 Гц до 6,66

кГц). Щоб увімкнути режим низького енергоспоживання та звичайний режим, біт G_HM_MODE повинен бути встановлений на «1». Режим низької потужності призначений для нижчих ODR (12,5, 26, 52 Гц), а нормальний режим — для ODR, що дорівнює 104 і 208 Гц.

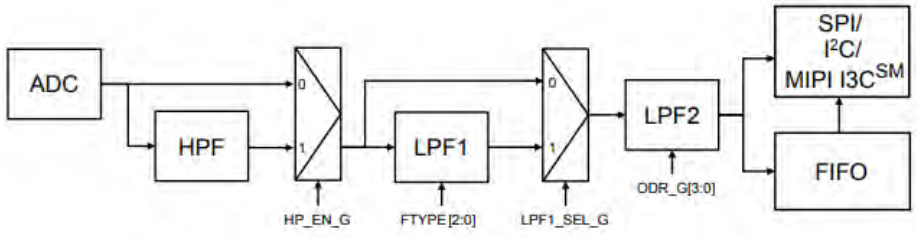


Рис. 2.3. Цифровий ланцюг гіроскопа [21]

У цій конфігурації діапазон вибору ODR гіроскопа становить від 12,5 Гц до 6,66 кГц. Якщо допоміжний SPI вимкнено, доступний фільтр низьких частот (LPF1). Цифровий фільтр LPF2 не налаштовується користувачем, і його частота зрізу залежить від вибраного гіроскопа ODR, як показано в таблиці нижче.

Таблиця 2.1

Вибір смуги пропускання гіроскопа

ODR гіроскопа [Гц]	Відсічення LPF2 [Гц]
12.5	4.2
26	8.3
52	16.6
104	33.0
208	66.8
417	135.9
833	295.5
1667	1108.1
3333	1320.7
6667	1441.8

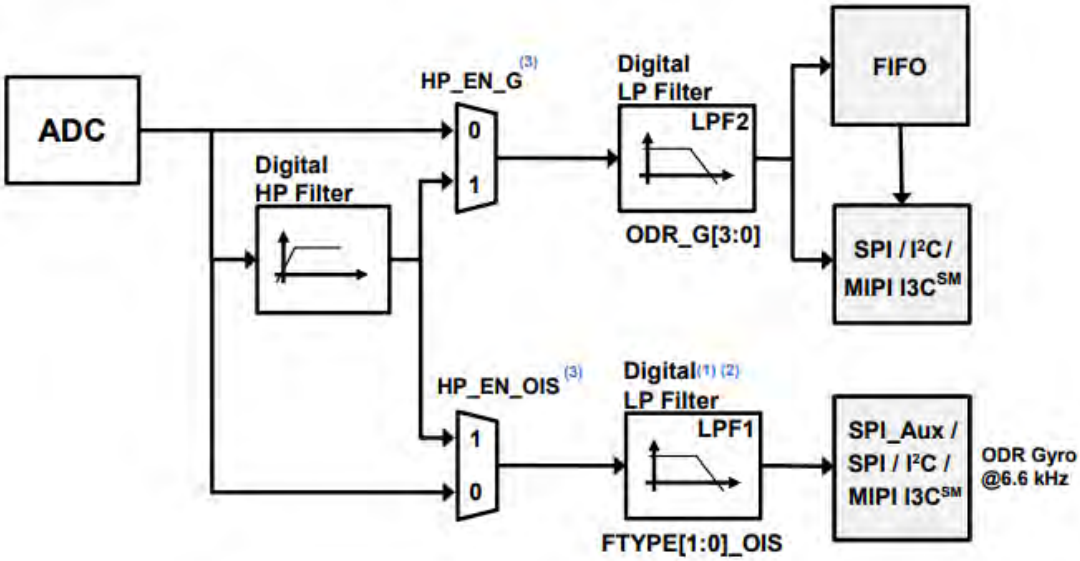


Рис. 2.4 Композитний фільтр гіроскопа [21]

2.6 ВБУДОВАНІ ФУНКЦІЇ ДЛЯ НИЗЬКОГО ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ

Лічильник розроблено для повної сумісності з Android і має такі вбудовані функції:

• Буфер даних 9 Кб, дані можна стиснути два-три рази – 100% ефективність, гнучка конфігурація та розділення:

— Можливість збереження часових позначок • Виявлення подій переривання (повністю настроюється);

– 6D напрямок;

– Виявлення одинарного та подвійного клацання ;

– Визначте діяльність/бездіяльність ;

– Виявлення бездіяльності/руху;

• Спеціальні блоки IP для низького енергоспоживання та високої продуктивності ;

– Функція крокоміра;

– Ядро машинного навчання (MLC)

• Сенсорний центр

– Всього до 6 датчиків: 2 внутрішні (акселерометр і гіроскоп) і 4 зовнішні ;

2.7 ВИЯВЛЕННЯ НАХИЛУ

Функція нахилу допомагає виявляти зміни активності та реалізована в апаратному забезпеченні лише через акселерометр для досягнення мети наднизького енергоспоживання та надійності під час коротких періодів динамічного прискорення. Функція нахилу заснована на запуску події щоразу, коли змінюється нахил пристрою, і може використовуватися в різних сценаріях, наприклад:

• Активується, коли телефон знаходиться в передній кишені штанів і користувач переходить із положення сидячи в положення стоячи;

• Не працює, коли телефон знаходиться в передній кишені штанів, а користувач йде, біжить або піднімається на пагорб.

2.8 ВИЗНАЧЕННЯ КІНЦЕВОГО АВТОМАТА

Кінцевий автомат — це математична абстракція для проектування логічних зв’язків. Це поведінкова модель, що складається з кінцевої кількості станів і переходів між станами, подібна до блок-схеми, де ви можете побачити, як виконується логіка, коли виконуються певні умови. Кінцевий автомат починає роботу з початкового стану, переходить до різних станів через переходи залежно від вхідних даних і в кінцевому підсумку може завершитися в певному стані.

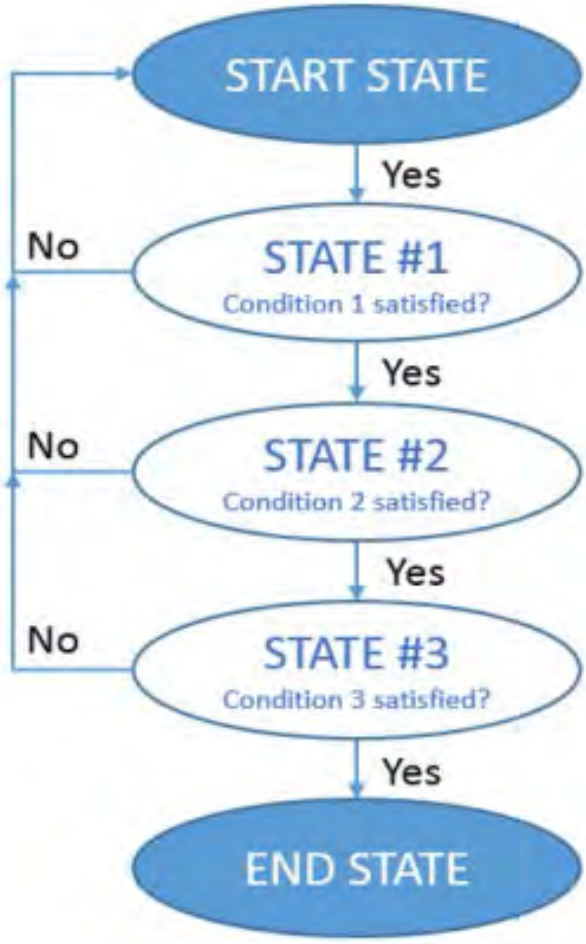
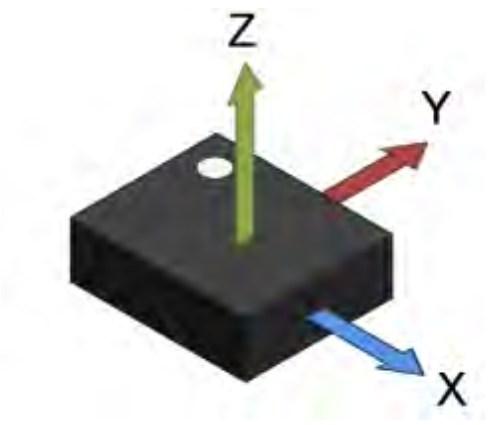


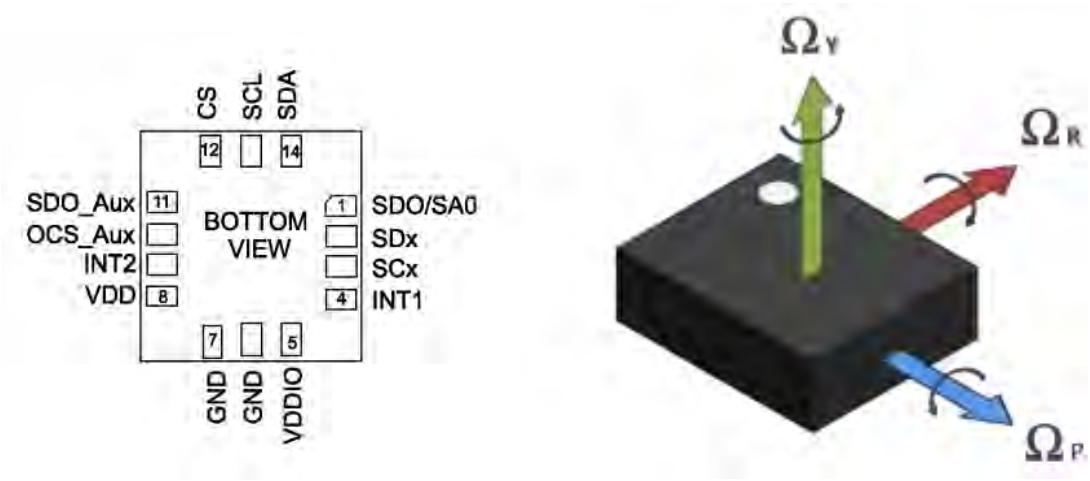
Рис. 2.5. Загальний вигляд логічних зв’язків [21]

Лічильник діє як комбінація акселерометра та гіроскопічного датчика, виробляючи вихідні дані прискорення та кутової швидкості. Усі 16 кінцевих

автоматів є незалежними: кожен кінцевий автомат має власну виділену область пам’яті та працює незалежно. Переривання генеруються при досягненні кінцевого стану або при виконанні певної команди.



а)Напрям визначуваного прискорення



б)Напрям виявленої кутової швидкості

Рис. 2.6. Опис контактів [21]

Кінцевий автомат є потужним інструментом, який використовується в таких сферах, як електротехніка, лінгвістика, інформатика, філософія, біологія, математика та логіка [7]. Це математична абстракція, яка використовується для розробки алгоритмів [8] і найкраще використовується в моделюванні поведінки додатків, розробці програмного забезпечення,

проектуванні апаратних цифрових систем, мережевих протоколів, компіляторів, а також у вивченні обчислень і мов [7]. Кінцевий автомат має певний внутрішній стан, який можна змінити у відповідь на зовнішню подію [8][10], наприклад, коли кінцевий автомат отримує подію із зовнішнього середовища [10] і змінює свій стан на новий стан у згідно з простим правилом [10]. Новий стан потім можна використовувати для виконання дії, яка має значення для зовнішнього середовища [8][10]. Цією дією може бути або прийняття введення [8], або виконання дій очищення [9]. Крім того, автомат стану — це візуальне зображення абстрактної машини, яка містить стани, які призводять до одного чи кількох станів і завершують потік процесу [9]. Багато програм вимагають стану «ініціалізації», за яким слідує стан за замовчуванням, де можна виконувати багато різних дій [9], і кінцевий автомат покладається на введення користувача або обчислення в стані, щоб визначити, до якого стану переходити далі [9]. Виконувані дії можуть залежати від попередніх і поточних вхідних даних, а також від станів [9], а вхідні символи зчитуються в послідовності, створюючи вихідну функцію у формі інтерфейсу користувача [7]. Функція кінцевого автомата полягає в тому, щоб зберігати статус чогось у заданий час [7], що робить його корисним інструментом у системі.

Генерування переривання у системі.

Переривання - це сигнали, що генеруються апаратним або програмним забезпеченням, які сповіщають процесор про високопріоритетний процес, що вимагає переривання поточного робочого процесу [13]. Наприклад, коли програма зустрічає виняткову ситуацію, таку як ділення на нуль [14], вона викликає програмне переривання. Потім процесор виконує процедуру обслуговування переривань (ISR) [17] для обслуговування переривання, а потім відновлює виконання призупиненої програми [12]. Система переривань [16] ідентифікує джерело переривання, генерує переривання лише тоді, коли вона виявляє передовий фронт джерела переривання [16], і,

можливо, їй доведеться обробляти кілька запитів від пристроїв одночасно [16]. У пристроях вводу/виводу одна з ліній керування шиною призначена для цієї мети [13], і пристрій, який хоче сигналізувати про переривання, створює імпульс, який змінює рівень джерела переривання [16]. Програмні переривання [11] генеруються внутрішньою системою комп'ютерної системи [11] і можуть бути двох типів: [11] розгалуження [14], яке є спеціальною інструкцією, яка викликає програмне переривання [13], або спеціальна інструкція, яка викликає переривання при виконанні за проектом [13]. Зрозуміло, що переривання мають важливе значення для належного функціонування комп’ютерної системи [15], а вирішення проблеми переривань вимагає раннього втручання та запобігання [18], оскільки вирішення проблем переривань є складним та індивідуальним [15].

Вимірювач забезпечує гнучкість контактного підключення, пропонуючи чотири різні режими підключення та функціональна здатність.

Детально:

• Режим 1: доступний підлеглий інтерфейс I²C / MIPI I3CSM або послідовний інтерфейс SPI (3- і 4-провідний);

• Режим 2: підлеглий інтерфейс I²C / MIPI I3CSM або послідовний інтерфейс SPI (3- і 4-провідний) і головний I2C інтерфейс, для підключення зовнішніх датчиків;

• Режим 3: підлеглий інтерфейс I²C / MIPI I3CSM або послідовний інтерфейс SPI (3-провідний і 4-провідний) можна використовувати для прикладного інтерфейсу ЦП, допоміжний послідовний SPI (3-провідний і 4-провідний) інтерфейс для підключення зовнішніх датчиків Рядковий інтерфейс лише для гіроскопа;

• Режим 4: ведений інтерфейс I²C/MIPI I3CSM або послідовний інтерфейс SPI (3-провідний та 4-провідний) для програмного інтерфейсу до процесора, допоміжний послідовний інтерфейс SPI (3-провідний та 4-провідний). Для підключення зовнішніх датчиків можна використовувати акселерометр і гіроскоп;

Таблиця 2.2

Чотири різні режими підключення та функціональна здатність вимірювача

Pin #	Name	Mode 1 function	Mode 2 function	Mode 3 / Mode 4 function
1	SDO/ SA0	Послідовний вихід даних через 4-провідний інтерфейс SPI (SDO) I²C молодший значущий біт адреси пристрою (SA0)	Послідовний вихід даних через 4-провідний інтерфейс SPI (SDO) I²C молодший значущий біт адреси пристрою (SA0)	Послідовний вихід даних через 4-провідний інтерфейс SPI (SDO) I²C молодший значущий біт адреси пристрою (SA0)
2	SDx	Підключіться до VDDIO або GND	I²C serial data master (MSDA) A	Додатковий 3/4-провідний інтерфейс SPI послідовний вхід даних (SDI) і SPI 3-

				провідний послідовний вихід даних (SDO)
3	SCx	Підключіться до VDDIO або GND	I²C Serial Clock Master (MSCL)	Синхронізація послідовного порту допоміжного 3/4-провідного інтерфейсу SPI (SPC_Aux)
4	INT1	Програмованe перериванння в I²C і SPI		
5	VDDIO	Джерело живлення для контактів введення/виведення		
6	GND	Живлення 0 В		
7	GND	Живлення 0 В		
8	VDD	Блок живлення		
9	INT2	Програмоване перерива	Програмованe перериванн	Програмоване переривання 2 (INT2) /

		ння 2 (INT2) / Передача даних (DEN)	я 2 (INT2) / включення даних (DEN) /	Передача даних (DEN)
10	OCS_ Aux	Залишити без підключення	Залишити без підключення	Увімкнути допоміжний 3/4-провідний інтерфейс SPI
11	SDO_ Aux	Підключіться до VDD_IO або не підключайтеся	Підключіться до VDD_IO або не підключайтеся	Допоміжний 3-провідний інтерфейс SPI: не підключайте Допоміжний 4-провідний інтерфейс SPI: послідовний вихід даних (SDO_Aux)
12	CS	Вибір режиму I²C / MIPI I3CSM / SPI (1: режим очікування SPI / I²C / зв'язок MIPI I3CSM увімкнено; 0: режим зв'язку SPI / I²C /MIPI I3CSM	Вибір режиму I²C / MIPI I3CSM / SPI (1: режим очікування SPI / I²C / зв'язок MIPI I3CSM увімкнено; 0: режим зв'язку SPI / I²C /MIPI I3CSM вимкнено)	Вибір режиму I²C / MIPI I3CSM / SPI (1: режим очікування SPI / I²C / зв'язок MIPI I3CSM увімкнено; 0: режим зв'язку SPI / I²C /MIPI I3CSM вимкнено)

		вимкнено)		
13	SCL	Послідовний годинник I²C / MIPI I3CSM (SCL) Годинник послідовного порту SPI (SPC)	Послідовний годинник I²C / MIPI I3CSM (SCL) Годинник послідовного порту SPI (SPC)	Послідовний годинник I²C / MIPI I3CSM (SCL) Годинник послідовного порту SPI (SPC)
14	SDA	Послідовні дані I²C / MIPI I3CSM (SDA) Послідовний вхід даних SPI (SDI) 3-провідний інтерфейс послідовний вихід даних (SDO)	Послідовні дані I²C / MIPI I3CSM (SDA) Послідовний вхід даних SPI (SDI) 3-провідний інтерфейс послідовний вихід даних (SDO)	Послідовні дані I²C / MIPI I3CSM (SDA) Послідовний вхід даних SPI (SDI) 3-провідний інтерфейс послідовний вихід даних (SDO)

2.9 ПРОГРАМНЕ ЗАБЕСПЕЧЕННЯ

Прилад містить спеціальне ядро обробки машинного навчання, яке дозволяє передавати певні алгоритми, що працюють у прикладному процесорі, на датчик MEMS, забезпечуючи таким чином переваги гнучкості системи та постійного зниження потужності.

Базова логіка машинного навчання дозволяє ідентифікувати моделі даних (наприклад, рух, тиск, температура, магнітні дані тощо), які відповідають визначеному користувачем набору класів. Типовим прикладом застосування є виявлення таких дій, як біг, ходьба, водіння тощо.

Ядро машинного навчання інструменту обробляє шаблони даних від датчиків акселерометра та гіроскопа, але також може підключати й обробляти дані від зовнішніх датчиків, таких як магнітометри, за допомогою функції сенсорного концентратора (режим 2). Вхідні дані можуть бути відфільтровані за допомогою настроюваного блоку обчислень, який містить фільтри та функції, які оцінюються протягом визначеного користувачем вікна фіксованого часу. Обробка машинного навчання базується на логічній обробці, що складається з серії вузлів конфігурації, що характеризуються умовами «якщо-тоді-інше», де значення «функції» оцінюється за визначеними пороговими значеннями.

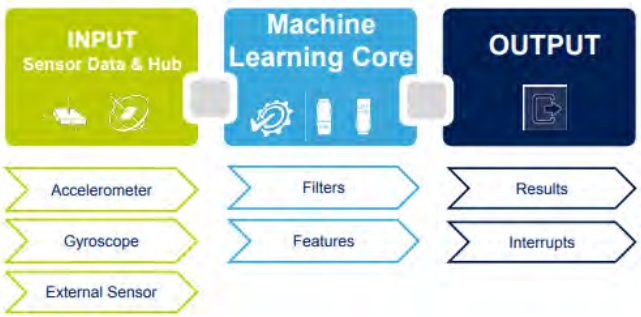


Рис. 2.7. Machine Learning Core [21]

2.10 ПРИНЦИП РОБОТИ ДАТЧИКА С ВБУДОВАНИМ МІКРОПРОЦЕСОРОМ

Концепція модуля інклінометра передбачає використання мікроконтролера з підключеним акселерометром. Цифровий датчик ADXL345 спілкується через шину I2C або SPI, тоді як датчик MMA7361 має лише

аналоговий вихід, тому необхідно використовувати аналого-цифровий перетворювач. Крім того, мікроконтролер відповідає за керування кнопками, послідовним портом і дисплеєм.

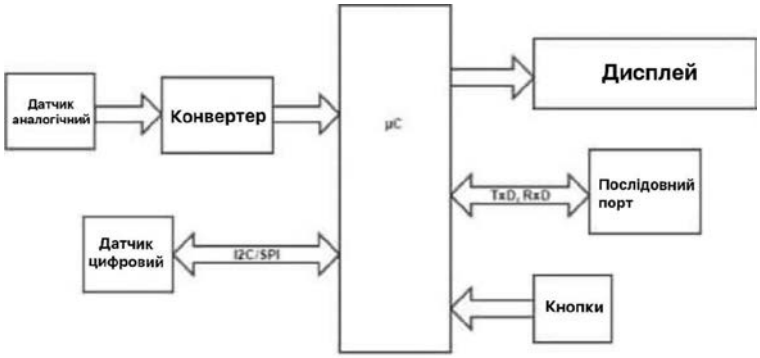


Рис. 2.8. Блок-схема інклінометру [20]

Робота системи інклінометра базується на популярному мікроконтролері ATmega328, реалізованому в модулі Uno Plus компанії WaveShare, і повністю сумісна з Arduino Uno R3.

Проектування апаратної структури

Контакти на золотих контактних смугах (роз’єми JP3 і JP4) використовуються для підключення РК-дисплея до контролера HD44780. Використовуйте потенціометр 10 кОм (R2), щоб відрегулювати контраст. Дисплей живиться від 5В. Кнопка, підключена до роз’єму JP5, програмно «перетягується» у високий стан контактом введення/виведення мікроконтролера. Виявлення натискання кнопки відбувається, коли на лінії порту виявляється низький стан, який виникає після замикання на землю.

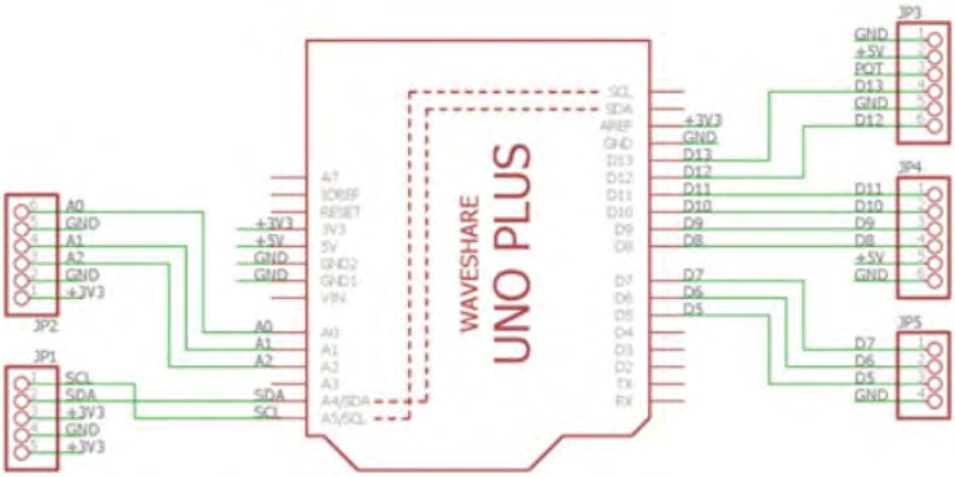


Рис. 2.9. Принципова схема інклінометра - з'єднання між платформою UNO PLUS і роз'ємом [20]

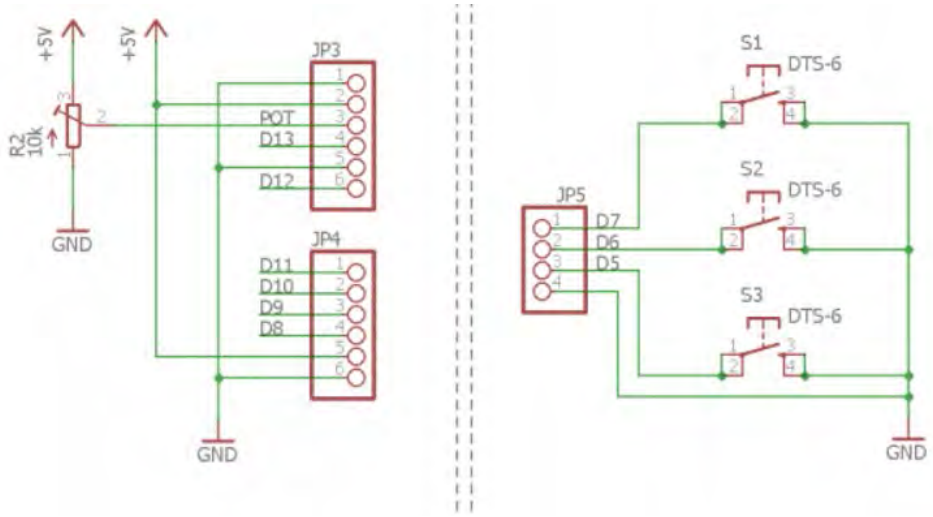


Рис. 2.10. Схема підключення РК-дисплея і кнопок [20]

Датчик ADXL345 живиться від джерела живлення 3,3 В, а напруга живлення фільтрується танталовим конденсатором ємністю 10 мкФ і двома конденсаторами ємністю 0,1 мкФ. Щоб ініціювати зв’язок по шині I2C, систему необхідно вибрати шляхом застосування високого стану до входу CS і забезпечення високого стану на лініях SCL і SDA, що досягається за допомогою підтягувальних резисторів 10 кОм. Заземлення контакту SDO

(логічний низький стан) вказує на те, що адреса шини I2C мікросхеми дорівнює 0x53 (як альтернатива, надання високого стану дасть адресу 0x1D). У схемі датчика MMA7361 вхідний сигнал сну внутрішньо встановлено на низький рівень, що переводить плату в режим сну та низького енергоспоживання. Щоб активувати датчик, цей вхід повинен бути в високому стані, наприклад, підключити його до напруги живлення 3,3 В, як це зроблено в проекті. Якщо вам потрібно керувати сплячим режимом, вам слід підключити цей вхід до мікроконтролера через контакт введення/виведення та керувати ним відповідним чином (майте на увазі рівень напруги, оскільки UNO PLUS працює від +5 В). Підключення входів g-Select і 0g-Detect є необов'язковим. Для входу g-Select внутрішньо встановлено низький рівень, що відповідає значенню чутливості ±1,5 g (800 мВ/g). Вхід 0g-Detect генерує високу напругу, коли всі осі вказують на прискорення 0g. Це відбувається, коли дошка знаходиться у вільному падінні. Оскільки використання цих функцій не є обов’язковим (найменший діапазон вимірювання більше підходить для конструкції інклінометра), ці входи залишаються непідключеними. Виходи X, Y і Z акселерометра підключаються до входів A0, A1 і A2 мікроконтролера, входів АЦП, через роз'єм JP2. Враховуючи напругу живлення акселерометра (3,3 В) і діапазон аналогового виходу, виберіть зовнішню опорну напругу 3,3 В для аналого-цифрового перетворювача (вхід AREF підключено до 3,3 В) і виберіть зовнішню опорну напругу в програмному мікроконтролері.

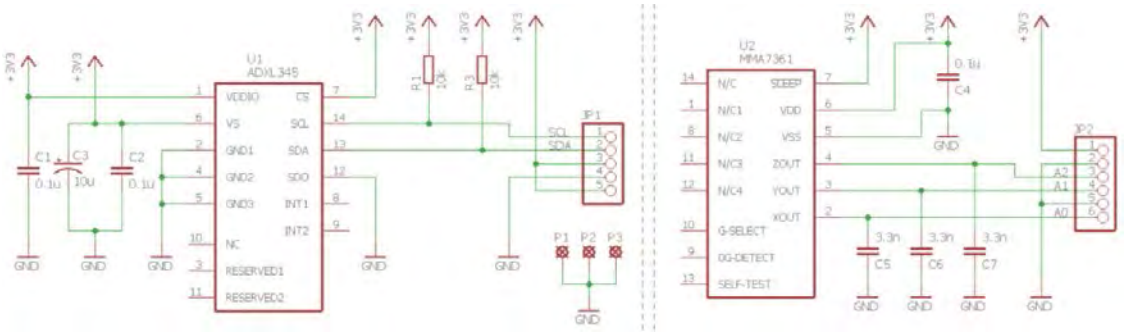


Рис. 2.11. Схема підключення акселерометру [20

На зображенні нижче показано зібраний і запущений інклінометр із підключеним датчиком і живленням від порту micro USB.

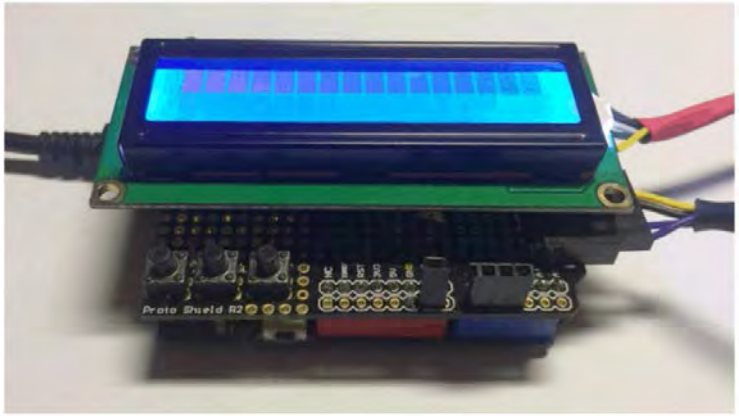


Рис. 2.12. Модуль керування інклінометра

2.11 ВИЗНАЧЕННЯ КУТА, АЛГОРИТМ РОБОТИ ДАТЧИК ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

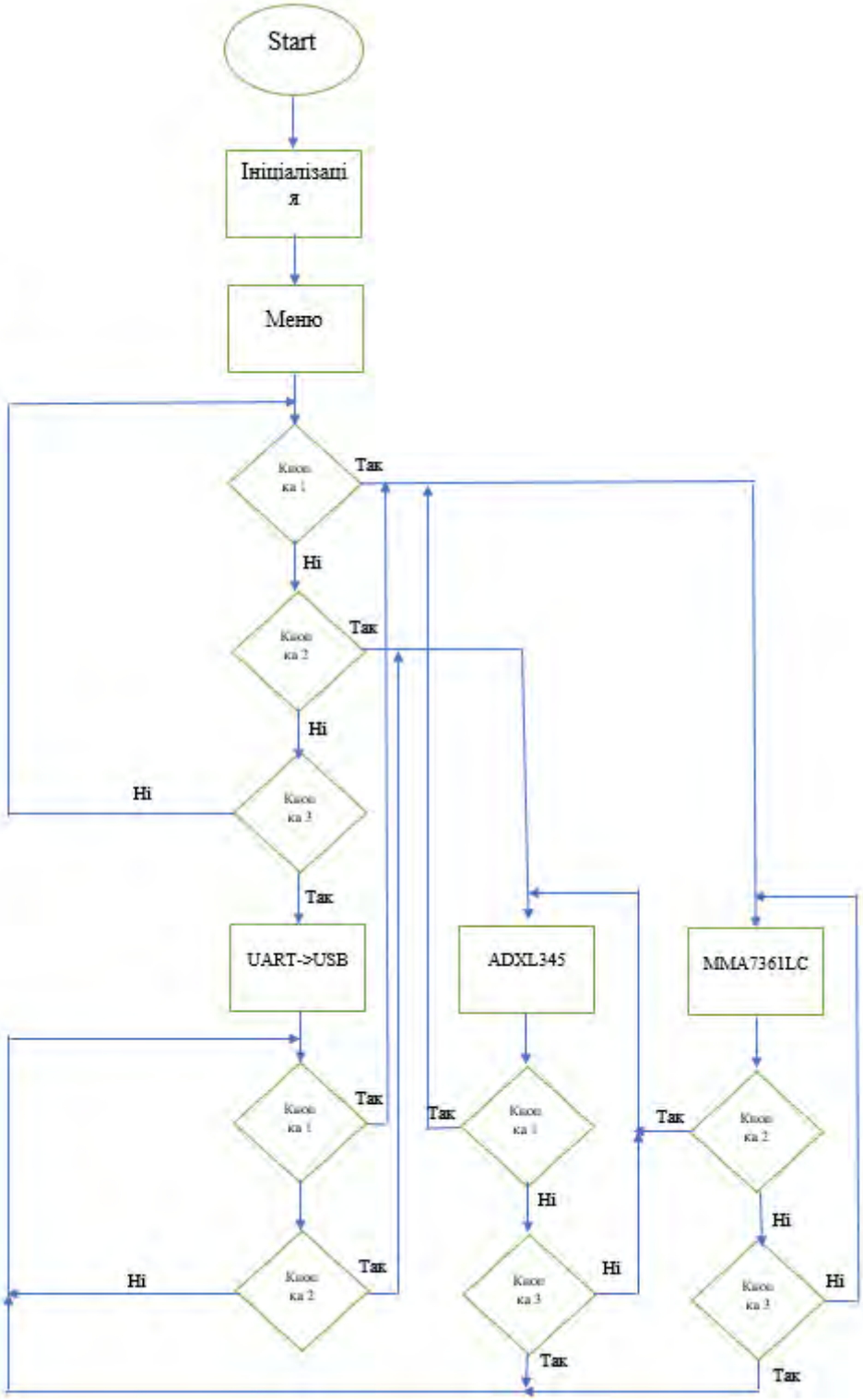


Рис. 2.9. Алгоритм роботи датчика

Вимірювання прискорення за допомогою аналогового датчика MMA7361 передбачає використання 10-розрядного аналого-цифрового перетворювача для визначення значення напруги на виході валу акселерометра, а потім виконання обчислень для калібрування датчика. Напруга обчислюється шляхом множення бітового результату на еталонну напругу та ділення на 1023 (10-бітний конвертер, 210).

```
xV_analog=(float(xADC)*3.3/1023);

yV_analog=(float(yADC)*3.3/1023);

zV_analog=(float(zADC)*3.3/1023);
```

Рис. 2.10. Вимірювання прискорення за допомогою аналогового датчика

Змініть відповідний масштаб, щоб отримати значення прискорення в "g". Від виміряного значення напруги відніміть значення 1,65 В, яке становить половину напруги живлення датчика і відповідає значенню напруги при нульовому прискоренні. На наступному етапі враховували чутливість датчика (800 мВ/год). Величина прискорення розраховується за такою формулою:

```
xG_analog=(xV_analog-1.65)/0.800;

yG_analog=(yV_analog-1.65)/0.800;

zG_analog=(zV_analog-1.65)/0.800;
```

Рис. 2.11. Визначення величини прискорення

Для належної роботи цифровий датчик ADXL345 вимагає певних налаштувань перед прямим зчитуванням даних, які реалізуються відповідно до визначень відображення та регістрів, наданих у технічній документації. Це налаштування виконується шляхом запису відповідного значення біта в регістр датчика, в програмі воно має такий формат: setI2C(адреса_датчика, адреса_реєстру, значення);

Виходи датчиків зчитуються з шести 8-розрядних регістрів, по два для кожної осі. Кожен результат представлений двома байтами. Функція читання даних через шину I2C полягає в наступному:

Читання I2C (0x53, 0x32, буфер, 6); - Читання даних з датчика, починаючи з регістра DATAX0 (адреса 0x32) і закінчуючи регістром DATAZ1 (адреса 0x37).

Потім скористайтеся відповідною функцією, щоб об’єднати два зчитані байти для заданої осі датчика в одну змінну. Помножте бітове значення, отримане таким чином, на масштабний коефіцієнт, у цьому випадку 3,9 mg/LSB, і отримайте значення прискорення в "g".

```
xG_digital = xBit_digital * 0.0039; // -256=-1g, 0=0g, 256=1g

yG_digital = yBit_digital * 0.0039;

zG_digital = zBit_digital * 0.0039;
```

Рис. 2.12. Об’єднання даних для однієї осі

На підставі отриманого від датчика значення прискорення розраховується кут крену за відповідною формулою.

Точні кути нахилу можна виміряти, лише якщо акселерометр діє лише на силу тяжіння. Інші сили, такі як рух, спричиняють додаткові сили g, які перешкоджають правильному нахилу. Вимірювання нахилу можливо навіть з

однією віссю, але результати дещо обмежені, і їх описи можна опустити. Використовуючи три осі для орієнтації датчика відносно землі, можна повністю визначити кут нахилу вектора сили тяжіння. Чутливість постійна, тому кути можна точно виміряти незалежно від положення датчика.

Дані, що надсилаються між інтерфейсом UART та USB, мають формат, описаний у таблиці. Після вибору команди для початку передачі між пристроями поточні значення з датчиків надсилаються безперервно, поки передача не буде перервана користувачем. Дані надсилаються символами з 4-значним заголовком і полями даних.

Таблиця 2.3

Формат даних, пересланих через послідовний порт

Формат даних	Опис
ASTY:NNNNNNN; BACC:+x.xx;y.yz.zz; CANG;+aaa.a;	N – тип датчика (adxl345 або mma7361) x,y,z - значення прискорення для осей x,y,z a – значення кута нахилу

ASTY (ASensorTYpe) — вказує тип датчика,
BACC (BACCeleration) - означає прискорення,
CANG (CANGle) - вказує на кут крену.

MEMS-акселерометри містять у своїй структурі елементи, що вільно рухаються, тому вони набагато чутливіші до механічних навантажень, ніж інші напівпровідникові елементи. Через монтаж датчиків і компонентів на друкованій платі можуть виникати напруги. Для усунення похибок вимірювання датчик необхідно відкалібрувати. Результат в цифровому

датчику ADXL345 можна коригувати завдяки регістрам OFSX, OFSY і OFSZ. Значення, що зберігаються в цих регістрах, автоматично додаються до виміряного прискорення та компенсують похибки вимірювання.

Висновки до розділу 2

У даному розділі магістерській дисертації запропоновано для вимірювання значення кута ухилу використовувати датчик з вбудованим мікропроцесором. Розроблено конструкцію і приведено схеми роботи датчика.

Показано на прикладі структурних схем роботу датчиків акселерометра і гіроскопа, як основних чутливих елементів інклінометра. Запропоновано для покращення вихідного сигналу композитні фільтри.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП – ПРОЄКТУ

«Система автоматизованого вимірювання кута нахилу»

3.1 Опис ідеї проєкту

В цьому розділі буде проведено аналіз стартап проекту який має на меті визначення змоги нашого продукту вийти на ринок і конкурувати з продуктами які вже зайняли на ньому своє місце. У таблиці 4.1 зображено зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів.

Таблиця 3.1

Опис ідеї стартап проекту

Зміст ідеї	*Напрямки застосування*	*Вигоди для користувача*
Контроль точності виміру кута	Різні види промисловості зокрема електроенергетична та газова	1. Покращення якості продукту 2. Збільшення попиту на продукт 3. Прискорення виробництва

Тому пропонується система, яка дозволяє контролювати точності виміру кута при різних умовах експлуатації, який дозволить конкурувати з існуючим. Далі аналізуємо потенційні техніко-економічні переваги ідеї у порівнянні з пропозиціями конкурентів:

- визначаємо перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї;

- визначаємо попереднє коло конкурентів (проектів-конкурентів) або товарів-замінників чи товарів-аналогів, що вже існують на ринку, та проводимо збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів відповідно до визначеного вище переліку;

- проводимо порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначено показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні) (табл. 3.2).

Таблиця 3.2

Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї

№ п/п	*Техніко-економічні характеристики ідеї*	*(потенційні) товари/концепції конкурентів*				*IV (слабка сторона)*	*N (нейтральна сторона)*	*5 (сильна сторона)*
		Мійпроект	Конкурент Hardy HI-803	Конкурент Техноконн 230.1A	Конкурент MEGGIT 7828			
1	Торгівельна марка	Немає	є	є	є	+		
2	Показники скорочення часу	Висока	Середня	Низька	Середня			+
3	Показники оптимізованого використання	Висока	Висока	Середня	Низька			+

	робочих							
4	Патенти на продукти	Немає	є	є	є		+	
5	Економічність	Середняціна	Висока ціна	Середняціна	Висока ціна		+	

Після порівняння характеристик проекту з конкурентами був визначений перелік слабких, сильних та нейтральних характеристик і властивостей ідеї потенційного товару, що є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності.

3.2 Технологічний аудит ідеї проекту.

В межах даного підрозділу проводимо аудит технології (методики розрахунків), за допомогою якої можна реалізувати ідею створення проекту.

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз складових які вказані в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3.

Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	*Ідея проекту*	*Технології її реалізації*	*Наявність технологій*	*Доступність технологій*

1	Оптимізація роботи робочих	Технологія планування виробництва	Наявні	не доступні
2	Швидка змінна пріоритетів	Технологія планування виробництва	Наявні	не доступні
3	Легка адаптивність до зміни виробів	Технологія планування виробництва	Наявні	не доступні

Проаналізувавши таблицю можна зробити висновок, що наш проект можна реалізувати тому що всі необхідні технології реалізації даних ідей наявні, але не має можливості їх реалізувати через те що необхідна велика сума коштів. Тому необхідно залучати інвесторів для реалізації даного проекту.

3.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту.

Визначимо ринкові можливості, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкові загрози, які можутьперешкодити його реалізації.

Це дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Спочатку проведемо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (таблиця 3.4).

Таблиця 3.4.

Попередня характеристика потенційного ринку стартап проекту

№ п/п	*Показники етапу ринку (найменування)*	*Характеристика*
1	Кількість головних гравців, од	7
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	2 000 000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Конкуренція як вітчизняних так і зарубіжних фірм
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Відсутні
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	33%

За попереднім оцінюванням ринок має зростаючу динаміку і хорошийпопит на запропонований нами продукт, тому робим висновок, що ринок єпривабливим для входження, хоча на ньому вже існують і іноземні фірми, якіпрацюють багато років і роблять продукцію хорошої якості, але за рахунокнової технологи і переваг, які вона надає продукт є конкурентоспроможними.

Надалі визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 4.5).

Таблиця 3.5.

Характеристика потенційних клієнтів стартап- проекту

№ п/п	*Потреба,що формує ринок*	*Цільова аудиторія*	*Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів*	*Вимоги споживачів до товару*
1	Гнучке виробництво товарів	Заводи,фірми з великою кількістю	Підприємства з великим асортиментом	Скорочення часу задіяння всіх робочих

		робочих центрів і з великою кількістю замовлень	можливостей виготовлення будь-яких виробів	центрів, швидкий перехід до виготовлення іншого виробу

Отже, потенційною групою клієнтів продукту мають стати заводи,фірми з великою кількістю робочих центрів і з великою кількістю замовлень,які побачать економічну вигоду у виготовленні виробів за новою методикою. При застосуванні даної технології існують певні загрози.Для попередження таких ситуацій необхідно якісне обладнання, а також працювати з такими програмами повинні висококваліфіковані фахівці.

Також,повинно своєчасне технічне обслуговування даного продукту(таблиця 3.6).

Таблиця 3.6.

Фактори загроз

№ п/п	*Фактор*	*Зміст загрози*	*Можлива реакція компанії*
1	Конкуренція	Широкий асортимент продукції конкурентів	Доведення на практиці, що буде економічно вигіднішою, аніж у конкурентів.
2	Старіння	Поява модернізованої продукції	Моніторинг трендів, постійна модернізація
3	Відсутність попиту на ринку	Не бажання споживачів переходити на нову продукцію	Реклама. Проведення аргументованих доказів, що зміна технології приведе до збільшення попиту

4	Обслуговування	Ймовірність збоїв при роботі програми	Своєчасна підтримка у мережі інтернет
5	Технічний	Мало спеціалістів в даній області	Впровадження постійної підтримки кваліфікованих техніків

У таблиці 3.6 ми визначили фактори загроз, які перешкоджають ринковому впровадженню нашого проекту, а також можливу реакцію на фактор щоб звести до мінімуму його вплив.

Але поряд із колом загроз існують і певні можливості (таблиця 3.7).

Таблиця 3.7.

Фактори можливостей

№ п/п	*Фактор*	*Зміст можливості*	*Можлива реакція компанії*
1	Науково-технічні	Зміниться технологія виготовлення товару	Впровадить технологію і змінить вартість товару
2	Можливість створення сайту з реалізації товару	Можливість придбати продук на віддаленій відстані	Зробити акцент на якості продукції
3	Попит	Потреба вчасне вдосконалення продукту	Модернізація продукту, розробка нових ідей
4.	Політико правові	Може вплинути на купівлю/продаж товару.	Зміна напрямків імпорту
5	Економічні	Політика протекціонізму; підтримка інноваційного виробництва.	Підвищення/пониження ціни на продукт; зменшення податкового тиску

В таблиці 3.7 ми визначили фактори можливостей які сприяють ринковому впровадженню нашого продукту, а вигоди які компанія може отримати відповідно від реакції на той чи інший фактор.

Таблиця 3.8.

Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	*В чому проявляється дана характеристика*	*Вплив на діяльність підприємства(можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)*
1. Монополія	В галузі домінує одна фірма	Виготовлення вдосконаленого товару
2. Національний	Конкуренція фірм на міжнародномурівні	Реклама продукції. Створеннясайту на різних мовах
3. Міжгалузева	Виробники виготовляють продукти,які задовольняють різні потребу	Виготовлення товару відмінного вякості, ціні.
4. Товарно-видова	Різноманітні товари для задоволення конкретної потреби	Розробка нових технологій
5. Цінова	Використання ціни як засіб кращихумов збуту	Підвищення якості продукту, затакою ж ціною, що і у конкурентів
6. Марочна	Вказує, яке підприємство відповідальне за готовий продукт	Створення власної марки

В даній таблиці ми проаналізували ринок збуту нашого продукту і визначили загальні риси конкуренції на ньому.

Отже, відповідно до наведеного вище аналізу головними силами, які діють на конкуренцію в галузі є постачальники і споживачі. Також все більшого значення набуває інтенсивність конкуренції між існуючими конкурентами.

Таким чином в межах структурного підходу до аналізу конкуренції тип конкуренції - монополістична конкуренція. Після всіх аналізів визначається та обґрунтовуєтеся перелік факторів конкурентоспроможності. Поки проект не впроваджено в життя, це важко зробити точно, можна дати лише попередню оцінку конкурентоспроможності.

Таблиця 3.9.

Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	*Фактор конкурентоспроможності*	*Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)*
1	Надійність	Більша надійність продукту, ніж у конкурентів
2	Швидка зміна виробництва	За рахунок великої БД з великою кількістю технологічних операцій
3	Якість	Вище перечисленні фактори покращують якість продукту, а це один із головних критеріїв у клієнтів
4	Ціновий	Опрацювання відгуків клієнтів, вдосконалення відповідно до їх пропозицій та за можливості
5	Новизна	Нова технологія дозволяє продукту стати конкурентоспроможними на ринку

Таблиця 3.10.

Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «Нульові напруження»

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з КСК						
			3	2	1	0	+1	+2	+3
1	Надійність	14						+	
2	Швидка зміна виробництва	16						+	
3	Якість	15					+		
4	Ціна	12				+			
5	Новизна	16					+		

Порівняльний аналіз сильних і слабких сторін показав, що надійність, довговічність і час роботи, за таку ж саму ціну на продукт, дає перевагу над іншими продуктами і тому проект може стати конкурентоспроможним на ринку.

Таблиця 3.11.

SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: - більший оптимізована програма, ніж уконкурентів; - краща продуктивність; краща якістьпродукту; - ціна така ж як і у конкурентів; наявність патентів дозволяє споживачу бути впевненим у якості продукту.	Слабкі сторони: - продукт який ще не зарекомендував себена ринку; - так як на ринку багато постачальників, уклієнтів багатий вибір продукту, компанії необхідно проводити рекламу свого продукту і збільшувати кількість його

	постачальників.
Можливості: - потреба у збільшення надійності і довговічності інструменту, тим самим витіснити застарілий продукт із ринку; - забрати собі клієнтів у вже існуючих фірм за рахунок створення нової мережі постачання; - отримання нових замовлень на продукт; - збільшення продаж; - отримання державних замовлень на отримання послуг;	Загрози: - широкий асортимент продукції конкурентів; - поява якісніших технологій у конкурентів; - не бажання споживачів - зменшення продажів через несвоєчасне виконання замовлень; - втрата клієнтів через недостатню технічну підтримку.

У таблиці 3.11 проводимо перелік сильних та слабких сторін проекту. А також ринкових загроз та ринкових можливостей який складаємо на основі факторів загроз і можливостей який ми складали раніше. Ринкові загрози та можливості на відміну від факторів ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення.

На основі SWOT-аналізу розробляємо альтернативи ринкової поведінки для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок.

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів.

Таблиця 3.12.

Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Стратегія нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу	Висока	8 місяців
2	Стратегія компенсації слабких сторін стартапу	Висока	1,5 рік

Проводимо аналіз розроблених нами альтернатив ринкового впровадження і з зазначених альтернатив обираємо ту яка має найбільшу ймовірність отримання ресурсів, а також є найшвидшою в реалізації. Отже обираємо стратегію нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу наявними ринковими можливостями.

3.4 Розробка ринкової стратегії проекту.

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів.

Які цільові групи обрано: державні та приватні підприємства. Використовується стратегія диференційованого маркетингу. За результатами аналізу потенційних груп споживачів ми обрали цільові групи, для яких будемо пропонувати свою програму для оптимізації робочих центрів та визначили стратегію охоплення ринку: стратегію диференційованого маркетингу, тому що працюємо із конкретним сегментом, розробляючи для нього програму ринкового впливу. Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку.

За базову стратегію розвитку було взято стратегію диференціації, що передбачає надання товару важливих з точки зору споживача відмінних властивостей, які роблять товар відмінним від конкурентів. Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 3.13).

Таблиця 3.13.

Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	*Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?*	*Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?*	*Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?*	*Стратегія конкурентної поведінки **
1	Проект не є «першопрохідцем»	Компанія буде забирати існуючих у конкурентів	Не буде копіювати основні характеристики програми конкурента	Стратегія заняття конкурентної ніші

За базову стратегію конкурентної поведінки була прийнята стратегія зайняття конкурентної ніші, коли компанія в якості цільового ринку вибирає один або декілька ринкових сегментів малого розміру. Головне завдання компанії при цьому - це постійна турбота про підтримку і розвиток своєї конкурентної переваги, формування лояльності і прихильності споживачів, підтримка вхідних бар’єрів.

На основі вимог споживачів з обраного сегменту до постачальника і продукту, а також в залежності від стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробляємо стратегію позиціювання яка визначається у формування ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати проект.

Таблиця 3.14.

Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	*Вимоги до товару цільової аудиторії*	*Базова стратегія розвитку*	*Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту*	*Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три*
1	Висока оптимізація і вчасне виготовлення	Стратегія диференціації	Краща якість ніж у конкурентів за такою ж ціною	Надійність Стабільність Точність

Компанія за стратегію розвитку обрала диференціацію, і за цільові групи було обрано державні та приватні підприємства, хоча у них вже є постачальники, але за рахунок нової технології компанія буде забирати клієнтів у конкурентів, і проводити підтримку та реалізовувати розвиток своєї конкурентної переваги.

3.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.

Під час розроблення маркетингової програми першим кроком є розробка маркетингової концепції товару, який отримає споживач. У таблиці 3.15 підсумовуємо результати аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 3.15.
Визначення ключових переваг виробу

№ п / п	*Потреба*	*Вигода, яку пропонує товар*	*Ключові переваги перед конкурентами (існуючі аботакі, що потрібно створити)*
1	Потреба в програмному забезпеченні для оптимізації робочих центрів, і виконання виготовлення виробів у термін.	Задіяння всіх робочих центрів, виконання всіх поставлених задачв термін, швидке переналагодження системи виробництва.	Постійна технічна підтримка та оновлення. Вдосконалення алгоритму розрахунків та його вдосконалення. Вдосконалення програмишляхом додавання нових можливостей і методів розрахунків.

За рахунок ключових переваг товару і стратегії диференціації, що передбачає надання товару важливих з точки зору споживача відмінних властивостей за такою ж ціною як і у конкурентів буде розроблено маркетингову програму стартап-проекту.

Таблиця 3.16.

Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	*Сутність та складові*		
I. Товар за задумом	Програма для розрахунку напруження в різальному інструменті Можна виділити наступні вигоди використання: забезпечення оптимізації робочих центрів; виконання виготовлення виробів в термін; швидке переналагодження виробів деталі; підвищена якості продукції.		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Економічні	Нм	Вр
	2. Призначення	Нм	Тх
	3. Надійність	М	Тл
	4. Технологічні	М	Тх
	5. Транспортабельності	М	Тх
	6. Безпеки	М	Тх
	Якість: Відповідає нормам ГОСТ 2.307-2011 «Виготовлення і складання виробів»		
	Пакування: Картонна коробка із торгівельною маркою, назвою продукту і технічними характеристиками		
	Марка: назва організації-розробника		
III. Товар із підкріпленням	Розповсюдження реклами		
	Акція, яка передбачає придбати кілька товарів за зниженою ціною		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: Захист інтелектуальної власності, патент на винахід.			

У таблиці 3.16 ми створюємо трьохрівневу модель нашого товару, що включає задум товару та його вигоди, основі характеристики готового товару, спосіб його пакування та захисту від копіювання та плагіату. Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватися при встановленні ціни на потенційний товар, це передбачає аналіз цін товарів конкурентів, та доходів споживачів продукту (табл. 3.17).

Таблиця 3.17.

Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	*Рівень цін на товари-замінники*	*Рівень цін на товари-аналоги*	*Рівень доходів цільової групи споживачів*	*Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу*
1	150000 Грн	100000	Середній	100000 - 250000 грн

У таблиці проаналізовано ринкові ціни на товари аналоги та замінники, а також середній рівень доходів споживачів. За отриманими даними буде встановлена верхня та нижня межа на нашу програму.

Таблиця 3.18.

Формування системи збуту

№ п/п	*Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів*	*Функції збуту, які має виконувати постачальник*	*Глибина каналу збуту*	*Оптимальна система збуту*
	Звична купівля з деяким змінами, або модифікована закупівля. Вона передбачає дещо змінених товарів(послуг), або зміну ціни на товар (послугу), або зміну кількості постачання).	Доставка товару покупцю, його встановлення та налаштування.	Канал нульового рівня	Власна система збуту. Виробник безпосередньо продає товар клієнту і використовує три способи прямого продажу : - Торгівля через - Посилкова торгівля - Торгівля в роздріб

Спираючись на специфіку закупівельної поведінки цільових клієнтів було обрано власну систему збуту, коли виробник безпосередньо продає товар клієнту через торгівлю в магазинах, посилками чи в роздріб. Також заглибину каналу збуту було обрано канал нульового рівня, тому що компанія хоче мати тісні контакти із споживачами на обмеженому цільовому каналі.

Таблиця 3.19.

Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	*Специфіка поведінки цільових клієнтів*	*Канали комунікацій, якими*	*Ключові позиції, обрані для позиціонування*	*Завдання рекламного повідомлення*	*Концепція рекламного звернення*
1	Перегляд інформаційних ресурсів із потрібним якісним товаром за доступною ціною.	Інтернет ресурси, виставки, рекламні статті.	Послідовність у реалізації обраної позиції. Доступність та об'єктивність інформації про фірму та товар. Послідовність при прийнятті.	Інформаційне завдання про новий товар, та формування знань про марку та виробника.	Висока якість і швидке виготовлення виробів.

Висока якість і швидке виготовлення виробів є головною концепцією товару, за рахунок яких він є конкурентоспроможним на ринку. Спираючись на специфіку закупівельної поведінки цільових клієнтів було обрано власну систему збуту, коли виробник безпосередньо продає товар клієнту. Ціноутворення відбувається на основі аналізу товарів - аналогів і відбувається під час фінансово-економічного аналізу проекту з залученням експертів. За ринкову поведінку буде прийнята стратегія зайняття конкурентної ніші, коли компанія в якості цільового ринку вибирає один або декілька ринкових сегментів малого розміру. Головне завдання компанії при цьому - це постійна турбота про підтримку і розвиток своєї конкурентної переваги, формування лояльності і прихильності споживачів, підтримка вхідних бар'єрів.

3.6 Висновки до розділу.

Ринкова комерціалізація проекту опирається на наявний попит, динаміку ринку та рентабельність роботи на ринку. Клієнти на даному ринку зазвичай займаються звичною купівлею з деякими змінами, яка передбачає придбання дещо змінених товарів, або зміну ціни на товар, саме на це і розрахований даний стартап, так як за рахунок розробленої програми відбудеться покращення характеристик інструменту, він матиме кращі властивості при роботі порівняно із товарами конкурентів.

Спираючись на специфіку закупівельної поведінки цільових клієнтів і розробивши власну систему збуту є хороші перспективи впровадження даного продукту на ринок. Бар'єром входження на ринок є велика кількість товарів-аналогів, але порівняно із ними дана програма оптимізує робочі центри, має велику БД, виготовлення виробів в заданий термін і швидкепереналагодження системи за рахунок чого він може стати конкурентоспроможним на ринку.

Впровадження на ринок розроблена на основі стратегії зайняття конкурентної ніші, коли компанія в якості цільового ринку вибирає один або декілька ринкових сегментів малого розміру.

Отже, подальша імплементація продукту є доцільною за рахунок сильних сторін продукту і наявного попиту на ринку.

Висновки

У даній магістерській дисертації проведено огляд і аналіз цифрових інклінометрів, проведено порівняння принципів роботи приладів різного типу. На відміну від вімомих приладів, запропоновано для вимірювання значення кута ухилу використовувати датчик з вбудованим мікропроцесором. Розроблено конструкцію і приведено схеми роботи датчика.

У розділі розроблення стартап – проєкту було оцінено ринкову комерціалізацію проекту, динаміку ринку та рентабельність роботи на ринку. Аналіз показав, що запропонованих прилад матиме кращі властивості при роботі порівняно із товарами конкурентів. Встановлено, що подальша імплементація продукту є доцільною за рахунок сильних сторін продукту і наявного попиту на ринку.

Література:

1. Сєрий І.С., Паніна В.В., В'юник О.В. Взаємозамінність, стандартизація та технічні вимірювання. Методичні вказівки до роботи на тему: «ВИМІРЮВАННЯ КУТІВ І КОНУСІВ».

2. Колчков В.І. МЕТРОЛОГІЯ, СТАНДАРТИЗАЦІЯ І СЕРТИФІКАЦІЯ. М.: Навчальний посібник.

3. Професійно-освітній портал. Електронній ресурс. Режим доступу: http://turner2.pto.org.ua/index.php/turner2-tema8/turner2-modul-8-6

4. Професійно-освітній портал. Електронній ресурс. Режим доступу: https://www.posital.com/en/products/inclinometers/mems/MEMS-Technology.php

5. Інструменти. Електронній ресурс. Режим доступу: https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/inclinometer

6. Голуб В. Датчики прискорень та кутових швидкостей: нові ІМС та модулі фірми Analog Devices // Електронні компоненти — Україна. 2009. № 5–6. 2.

7. Голуб В. Інерційні датчики типу IMU фірми Analog Devices // Електронні компоненти - Україна.2010. № 9–10.

8. Власенко А. Нові інерційні датчики IMU сімейства iSensor // Компоненти та технології. 2010. № 3.

9. Голуб В. Інерційні датчики фірми Analog Devices // Електронні компоненти - Україна.2011. № 3.

10. Професійно-освітній портал. Електронній ресурс. Режим доступу: https://www.electronicsforu.com/technology-trends/learn-electronics/accelerometer-tilt-sensor

11. Бояринова К.О., Копішинська К. О. Півот як інструмент забезпечення успішності реалізації стартапу. Ефективна економіка. 2019.

12. Гавриш, О. А. Розробка стартап-проектів. Конспект лекцій

13. Менеджмент стартап проектів: підручник / О. А. Гавриш, В. В. Дергачова, М. О. Кравченко та ін. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка». 2019. 344 с

14. «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології» та 152 – «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» / О. А. Гавриш, К. О.

15. Бояринова, К. О.Копішинська ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: 2,88 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. –188 с.

16. Прогресивні технології в машинобудуванні: збірник наукових праць IX-ої Міжнародної науково-технічної конференції, 03-07 лютого 2020 року, Львів-Плай, Львів. – 2020. – С. 130–132.

17. Meyer, Y., 1992. Wavelet and Operators. Cambridge University Press, Cambridge

18. STMicroelectronics., 2019– iNEMO inertial module: always-on 3D accelerometer and 3D gyroscope