

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ

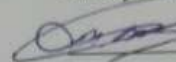
ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Приладобудівний факультет Кафедра

виробництва приладів

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

 Михайло БЕЗУГЛИЙ

« 08 » 12 2022 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

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

на тему: «Автоматизований модуль керування підвіскою велосипеда»

Виконав:

Студент VI курсу, групи ПБ-11мп
Панкратов Євген Володимирович

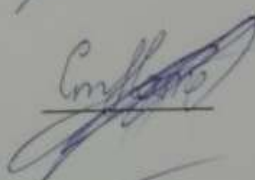
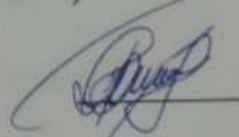
Науковий керівник:

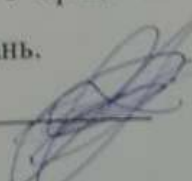
к.т.н., доцент
Стельмах Наталія Володимирівна

Консультант з розробки стартапу:

Завідувач кафедри економічної кібернетики, д.е.н., проф.
Бояринова Катерина Олександрівна

Рецензент:




Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент 

Київ – 2022 року

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

Приладобудівний факультет
Кафедра виробництва приладів

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



Михайло БЕЗУГЛИЙ

«15» вересня 2022 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

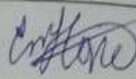
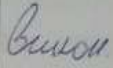
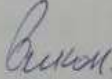
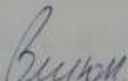
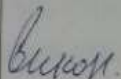
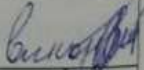
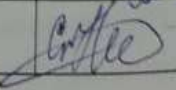
Панкратов Євген Володимирович

1. Тема дисертації «Автоматизований модуль керування підвіскою велосипеда», науковий керівник дисертації Стельмах Наталія Володимирівна, к.т.н., доцент, затверджені наказом по університету від «9» листопада 2022 р. № 4110-с
2. Термін подання студентом дисертації 05 грудня 2022 року
3. Об'єкт дослідження процесу функціонування підвіски велосипеда
4. Вихідні дані : хід передньої підвіски, хід задньої підвіски, діапазон роботи, максимальне динамічне навантаження підвіски, максимальна вага системи до 20 кг, мінімальний час автономної роботи модуля ...20 год, максимальна швидкість велосипеда 120 км/год. Мінімальний інтервал сервісного обслуговування не частіше ніж 1 раз на місяць.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити. 1. Розробити блок - схему модулю автоматизованого керування підвіскою. 2. Визначити вхідні та вихідні параметри, для роботи. 3. Визначити перелік та обґрунтувати периферійних пристроїв модулю. 4. Створити математичну модель керування підвіскою. 5. Створити попередні налаштування конфігурації для подальшого створення ПЗ. 6. Розробити програмне забезпечення для роботи модуля автоматизованого керування підвіскою. 7. Розробка стартап-проекту.
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу. 1. Складальний кресленик підвіски велосипеда. 2. Пневмо-гідравлічна схема роботи підвіски. 3. Алгоритм керування підвіскою велосипеда. 4. Принципова схема керування підвіскою велосипеда. 5. Загальна схема керування підвіскою велосипеда.
7. Орієнтовний перелік публікацій. Наукова стаття у міжнародному науково-технічному журналі «Системні дослідження та інформаційні технології»
Матеріали доповіді конференції «Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні 2022».
8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Стартап-проекти	Завідувач кафедраю економічної кібернетики, д.е.н., проф. Бояринова К.О.		

9. Дата видачі завдання 15 вересня 2022 р.

Календарний план

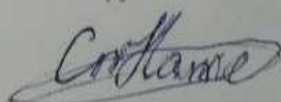
№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Аналіз досліджень існуючих рішень автоматизованого керування підвіскою велосипеда.	26.09.2022	
2	Визначення конструктивних особливостей та проектування підвіски велосипеда.	07.10.2022	
3	Проектування модульної схеми підвіски велосипеда.	17.10.2022	
4	Розробка програмного алгоритму керування підвіскою велосипеда.	23.10.2022	
5	Розробка методики реалізації програмного алгоритму керування підвіскою велосипеда.	29.10.2022	
6	Проектування загальної схеми керування підвіскою велосипеда	04.11.2022	
7	Практичне застосування програмного алгоритму керування підвіскою велосипеда.	08.11.2022	
8	Розроблення стартап-проекту.	14.11.2022	
9	Оформлення магістерської дисертації	28.11.2022	

Студент



Євген Панкратов

Науковий керівник



Наталія СТЕЛЬМАХ

Пояснювальна записка
до магістерської дисертації
на тему: «Автоматизований модуль керування підвіскою велосипеда»

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація присвячена розробці модулю автоматизованого керування підвіскою, що є частиною системи автоматизованого керування підвіскою, і конкретно являє собою електронний блок керування. Магістерська дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, містить 99 стр. У вступі було сформульовано мету магістерської дисертації, визначено об'єкт та предмет дослідження, а також сформульовано задачі, які необхідно вирішити та наведено практичну цінність дисертаційного дослідження.

У першому розділі було описано огляд і аналіз існуючих велосипедів та їх підвіски, поставлено задачі з проектування, визначено концепцію роботи системи автоматизованого керування підвіскою, та описано її цілі та аудиторію людей та користувачів, що будуть зацікавлені в подібній розробці, описано роботи ідеальної підвіски та методи обробки сигналу та генерування реакцій, які дозволять максимально наблизитись до бажаного рівня якості роботи.

У другому розділі магістерської дисертації було виконано проектування електронного блоку керування, створено блок-схему електронного центрального блоку, обрано центральний обчислювальний елемент, творено та обґрунтовано перелік необхідної периферії, визначено параметри контролю та параметри керування, спроектовано принципову схему модулю автоматизованого керування підвіскою велосипеда, створено математичну модель керування.

У третьому розділі розроблено програмне забезпечення, що буде використовуватись для керування, а саме, конфігуровано периферію мікроконтролера в спеціалізованому програмному забезпеченні та створено програмний код, що успішно компілюється в двійковий, для програмування МК.

У четвертому розділі виконано розробку стартап-проекту проведено опис проєкту, технологічний аудит ідеї проєкту, аналіз ринкових можливостей запуску стартап - проєкту та розроблення ринкової стратегії проєкту.

ABSTRACT

The master's thesis is devoted to the development of an automated suspension control system module, which is part of an automated suspension control system, and is specifically an electronic control unit. The master's thesis consists of an introduction, four chapters, conclusions, contains 99 pages. The purpose of the master's thesis was formulated in the introduction, the object and subject of the research were defined, as well as the tasks to be solved were formulated and the practical value of the dissertation research was given.

In the first chapter, an overview and analysis of existing bicycles and their suspensions was described, design tasks were set, the concept of the automated suspension control system was defined, and its goals and audience of people and users who would be interested in such a development were described, the ideal suspension works and methods were described. signal processing and generating reactions that will allow you to get as close as possible to the desired level of work quality.

In the second chapter of the master's thesis, the design of the electronic control unit was carried out, the block diagram of the electronic central unit was created, the central computing element was selected, the list of necessary peripherals was created and substantiated, control parameters and control parameters were determined, the schematic diagram of the module for automated control of the bicycle suspension was designed, a mathematical model was created management model.

In the third section, the software that will be used for control is developed, namely, the microcontroller peripherals are configured in specialized software and the software code that is successfully compiled into binary is created to program the MCU.

In the fourth chapter, the development of the startup project was carried out, a description of the project was carried out, a technological audit of the project idea, an analysis of market opportunities for launching a startup project and the development of a market strategy for the project were carried out.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	11
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ПІДВІСОК ДВОКОЛІСНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ	13
1.1 Еволюція підвісок двоколісного транспортного засобу	13
1.2 Постановка задачі.....	15
1.3 Класифікація двоколісних транспортних засобів за функціональним призначенням та вагою.....	15
1.3.1 Класифікація двоколісних транспортних засобів за функціональним призначенням.....	16
1.3.2 Класифікація двоколісних транспортних засобів за вагою	19
1.4 Функціональне призначення підвіски в конструкції двоколісного транспортного засобу.....	20
1.5 Опис функціональних можливостей “ідеальної” підвіски та пошуки шляхів реалізації її функціоналу	20
1.5.1 Адаптація підвіски до зовнішніх факторів впливу.....	22
1.5.2 Предикція для корекції реакції підвіски на основі статистичної бази знань	23
Висновки до розділу	24
Розділ 2. Проектування електронного блоку модуля автоматизованого керування підвіскою.	25
2.1 Загальні відомості про електронний центральний блок.	25

2.2 Постановка завдання проектування електронного блоку модуля автоматизованого керування підвіскою.....	26
2.3 Проектування центрального обчислювального модуля.....	30
2.4 Вибір мікроконтролера для центрального обчислювального модуля.....	30
2.5 Обґрунтування та вибір периферійних елементів для системи автоматизованого керування підвіскою.	34
2.5.1 Визначення параметрів контролю.....	35
2.5.2 Визначення та розташування датчиків.	37
2.5.3 Вибір та обґрунтування датчиків.	40
2.5.4 Визначення параметрів керування.	43
2.5.5 Визначення механізмів та методів керування підвіскою.....	44
2.5.6 Вибір та обґрунтування моделей виконавчих механізмів.....	45
2.6 Проектування схем та алгоритму роботи модуля автоматизованого керування підвіскою.....	47
2.6.1 Проектування принципової схеми модуля автоматизованого керування підвіскою.....	48
2.7 Розробка математичної моделі керування підвіскою.....	50
Висновки до розділу	54
Розділ 3. Програмування центрального блоку керування.	55
3.1 Вибір програмного забезпечення	55
3.2 Середовище попереднього конфігурування периферії мікроконтролера.....	57
3.3 Вибір та обґрунтування компілятора коду.....	61
3.4 Створення програмного коду керування підвіскою	63

3.5 Перевірка отриманої математичної моделі керування підвіскою двоколісного транспортного засобу.....	65
Висновки до розділу	68
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ	69
4.1. Опис ідеї проекту	69
4.2. Технічний аудит ідеї проекту	71
4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту	73
4.4. Розробка ринкової та маркетингової програми стратегії проекту.....	81
Висновки до розділу	87
ВИСНОВКИ.....	88
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	90

ВСТУП

Двоколісний транспортний засіб, з моменту його створення продовжує активний розвиток. Маючи значні переваги перед іншим транспортом, він міцно закріпився в житті сучасного людства. Маючи такі переваги як: мала вага, компактність, керованість, вантажопідйомність, легкість використання для новачків а також мала собівартість.

Останній пункт спричинив широке розповсюдження двоколісних транспортних засобів, а саме велосипедів, серед населення, як дешевого персонального транспорту. Недостатній розвиток технологій, а також необхідність максимального здешевлення призвели до того, що розповсюджені були дуже прості велосипеди, які підходили виключно для утилітарних цілей. Єдина підвіска, яка була на такому велосипеді, це покришки, що накачуються повітрям під тиском.

В певний момент часу, двоколісний транспортний засіб отримав відгалуження у напрямку розвитку в сторону більш важких екземплярів з двигунами різних типів. В цьому проекті йтиметься про розробку модуля автоматизованого керування підвіскою саме в контексті велосипеду. Так як велосипед є легким спорт снарядам, в який значно простіше вмонтувати модуль, а також самі виконавчі (силові) модулі є значно дешевшими та потребують меншого запасу міцності. Таким чином такий двоколісний транспортний засіб як велосипед є ідеальним для створення прототипу.

Наразі найрозповсюджений тип підвіски двоколісного транспортного засобу, а саме: пасивна підвіска, досягла свого технологічного ліміту. Подальше покращення якості роботи без зміни основних принципів призводить до геометричного росту складності підвіски. Що робить її реалізацію недоцільним. Автоматизація роботи підвіски за рахунок використання обчислювальних систем є своєчасним та необхідним шляхом розвитку сучасної підвіски.

Метою магістерської дисертації є підвищення ефективності керування підвіскою велосипеда на базі розробки автоматизованого модулю керування підвіскою велосипеда.

Об'єктом дослідження є процеси функціонування підвіски велосипеда.

Предмет дослідження: керування процесом роботи підвіски.

Перелік завдань, які потрібно розробити.

1. Розробити блок - схему модулю автоматизованого керування підвіскою.
2. Визначити вхідні та вихідні параметри, для роботи.
3. Визначити перелік та обґрунтувати периферійних пристроїв модулю.
4. Створити математичну модель керування підвіскою.
5. Створити попередні налаштування конфігурації для подальшого створення ПЗ.
6. Розробити програмне забезпечення для роботи модуля автоматизованого керування підвіскою.
7. Перевірити коректність роботи математичної моделі та налаштування периферії.
8. Розробка стартап-проєкту.

Наукова новизна полягає у тому, що вперше було отримано математичну модель управління підвіскою велосипеда з врахуванням лінійних та кутових прискорень.

Практична цінність полягає у тому, що створене програмне забезпечення керування підвіскою велосипеда на базі отриманої математичної моделі забезпечило зручне, більш якісне, швидко-дійне керування підвіскою велосипеда.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ПІДВІСОК ДВОКОЛІСНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

1.1 Еволюція підвісок двоколісного транспортного засобу

Разом з розвитком велосипедів, розвивалась і їх підвіска. З метою покращення ходових характеристик, збільшення комфорту, покращували підвіску. Формування велосипедного ринку з більш дорогими моделями велосипедів, збільшенням кількості велосипедів, а також утворення нового виду спорту також сприяли розвитку технологій у напрямку велосипед будівництва.

Самим базовим елементом підвіски велосипеда є пневматичні колеса. Представляючи з себе резинову оболонку (Рис. 1.1) з підвищеним тиском всередині, колеса все ще є одним з найважливіших елементів підвіски, так як дозволяють ефективно поглинати дрібний рельєф поверхні, значно компенсуючи вібрації та поштовхи, що негативно впливають як на людину, так і на техніку. Будучи зроблену з резини, та через свою піддатливість та схильність адаптуватися до найдрібніших нерівностей велосипедна покришка забезпечує досить гарне зчеплення з найрізноманітнішою поверхнею, по якій може пересуватись велосипед[1].

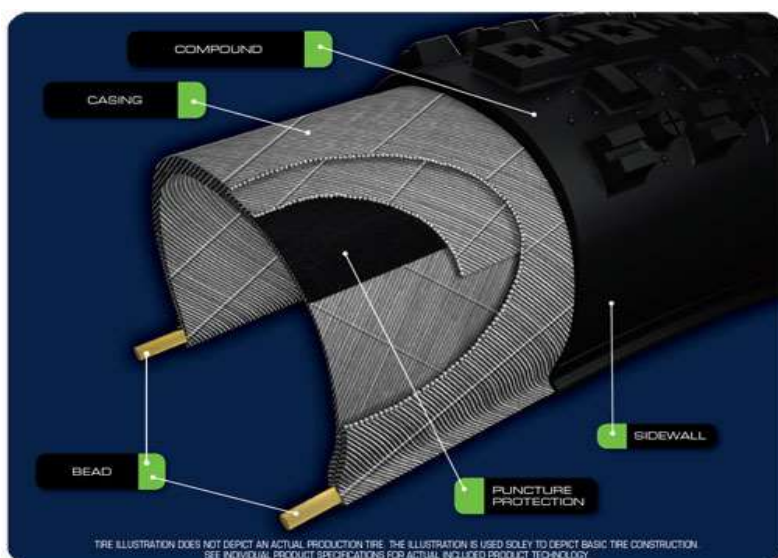


Рисунок 1.1 — Конструкція велосипедної покришки

Наступним етапом еволюції підвіски є додавання додаткових амортизуючих елементів, наймасовішим з котрих є пружинна виделка (Рис.1.2) для переднього колеса. Вона дозволяє поглинати вже набагато більш енергоємні поштовхи, що дозволяє комфортно відчувати себе навіть на дуже не рівному рель'єфі.



Рисунок 1.2 —
Велосипедна виделка

Більш просунутим є додавання на велосипед ще й задньої підвіски (Рис.1.3). Конструктивно, вона значно складніша за вилку. Для забезпечення підвішування заднього колеса, необхідно значно змінити конструкцію рами, забезпечивши її шарнірами, що дозволять задньому колесу переміщуватись. Також до цих шарнірів висувається ряд вимог, таких як висока жорсткість, ресурс, достатньо великі сервісні інтервали, надійність та інші. Рама з шарнірами має можливість передати енергію від удару в заднє колесо до амортизуючого елемента, що комбінує в собі пружину та демпфер.



Рисунок 1.3 — Задня підвіска велосипеда

1.2 Постановка задачі

Основна призначення підвіски велосипеда - покращення ходових характеристик. Це означає, що велосипед з підвіскою може їхати швидше, та долати більш складний рельєф. Також, одним з ефектів підвіски є збільшення комфорту пересування на двоколісному транспортному засобі, що дозволило з'явитися підвісці на ринку утилітарних транспортних засобів.

З плином часу, велосипеди розповсюджувалися, і все більше людей розуміло, що велосипед це не тільки транспортний засіб. Велосипеди все частіше використовувались для не утилітарних цілей, а заради спорту, відпочинку, розваг, прогулянки, змагання та іншого. Це призвело до появи другого типу велосипедів, які були спроектовано саме для не утилітарних цілей. Такі велосипеди є спорт снарядам і саме про такі велосипеди йтиметься у проекті.

Тому розробка модулю автоматизованого керування підвіскою є дуже актуальною та своєчасною задачею.

1.3 Класифікація двоколісних транспортних засобів за функціональним призначенням та вагою.

Отже, ми можемо виділити два основних типи велосипедів: утилітарні велосипеди і спортивні велосипеди. Сама поява другого типу дала мотивацію використання сучасних технологій у двоколісних транспортних засобах. Звісно, більшість велосипедів на сучасному ринку не можна чітко ділити на утилітарні та ні. На більшості можна частково застосовувати і у утилітарних і у спортивних цілях. Але велосипеди, які спроектовано саме для максимальної ефективності у спорті, скоріше за все буде зовсім неможливо або нераціонально використовувати як транспорт.

Необхідно зазначити, що модуль підвіски, що ми проектуємо є саме спортивним агрегатом, що є сенс встановлювати саме на спортивні велосипеди. Використання його у утилітарних цілях є недоцільним.

Але двоколісний транспортний засіб це не лише про велосипед, велосипеди відносяться до легких та середніх двоколісних транспортних засобів. Але до середніх та важких відносяться також такі транспортні засоби як: мопеди, моторолери та мотоцикли. Хоча зазначені ТЗ і не йтиметься у проєкті, вони є невід’ємною частиною приведених нижче класифікацій.

1.3.1 Класифікація двоколісних транспортних засобів за функціональним призначенням

Функціональна класифікація досить проста, як і було зазначено вище, на одних велосипедах катаються по справах, перевозять вантажі, доставляють товар, перевозять пасажирів та інше. На інших велосипедах ставлять рекорди, знімають неймовірні відео та виграють змагання.

Утилітарні велосипеди: в першу чергу це прості велосипеди, не обладнані високотехнологічними системами, вони є найкращим поєднанням ціни та якості (Рис. 1.4), до таких велосипедів відносяться:

- Складні велосипеди.
- Дорослі велосипеди з 20 дюймовими колесами.
- Велосипеди зі стальними рамами та різними розмірами коліс.

Характеризуються такі велосипеди низькою якістю, використанням застарілих технологій, низькою ціною, високою розповсюдженістю.



Рисунок 1.4 — Універсальний велосипед

Мультифункціональні велосипеди: Як у будь-якому напрямку, існують екземпляри, що можна віднести до тієї чи іншої категорій. Сам мультифункціональні велосипеди поєднали у собі як можливість виконувати утилітарні задачі, достатньо низьку ціну, у порівнянні з проф. моделями, та достатню сучасність що підрозумуває досить високі технології, що дозволяє таким велосипедам бути використаними у не професійному спорті. До таких велосипедів відносяться:

- Гравійні велосипеди.
- Шосейні велосипеди низького та середнього цінового сегменту.
- Двопідвісні велосипеди з малим ходом підвіски
- Велосипеди з передньою підвіскою.
- Ригідні велосипеди.

Спортивні велосипеди: це велосипеди, які були настільки перетворені інженерами, задля виконання певних специфічних завдань, що їх використання у інших задачах є неможливим, некомфортним, недоцільним або нераціональним (Рис. 1.5). До таких велосипедів відносяться:

- BMX Велосипеди.
- DirtJump Велосипеди.
- Велосипеди для тріалу.
- Велосипеди для швидкісного спуску з гори.
- Велосипеди для роздільного старту
- Надлегкі шосейні велосипеди



Рисунок 1.5 — Тріальний велосипед

1.3.2 Класифікація двоколісних транспортних засобів за вагою

Класифікація двоколісних транспортних засобів поділяється на чотири частини. Перші два класи, легкі та середні, максимально охоплюють всі велосипеди. Також можна ще виділити надлегкий клас суто спортивного призначення велосипедів. Вага яких є менше 10кг. Такі велосипеди мають надвузке використання та надпросту конструкцію, для зменшення ваги. Про якусь амортизацію, вже не кажучи про системи її контролю мова звісно не йде.

Друга половина класів, а саме важкі та надважкі транспортні засоби це територія мотоциклів, та іншої двоголосної техніки, у якої основним джерелом рушійної сили є потужний двигун.

Роздивимося категорії детальніше:

1. Легкі (10кг - 25кг)

Велосипеди, малопотужні електровелосипеди

2. Середні (26кг - 70кг)

Потужні електровелосипеди, малопотужні електромотоцикли, малопотужні мотоцикли ДВС.

3. Важкі (71кг - 120кг)

Потужні електромотоцикли, потужні мотоцикли ДВС

4. Надважкі (121кг - 200кг)

Високопотужні мотоцикли ДВС та електор

Така вагова категорія частіше зі все зустрічаються серед дорожніх мотоциклів.

1.4 Функціональне призначення підвіски в конструкції двоколісного транспортного засобу.

У підвіски є певний перелік функцій та реакцій, яким вона повинна відповідати в залежності від збуджуючого фактору. Фактично, алгоритм роботи підвіски можна представити як перелік реакцій на всі зовнішні фактори та їх комбінації.

Підвіска повинна:

1. Забезпечувати постійне зчеплення коліс з поверхнею, для підтримки високого рівня керованості.
2. Компенсувати фронтальні удари. (Від нерівностей траси)
3. Компенсувати вертикальні удари. (Від приземлень)
4. Зберігати жорсткість на вильотах та у поворотах
5. Забезпечувати гарне віброгасіння для зменшення втоми.
6. Бути передбачуваною.

Фактично, підвіска спортивного велосипеда повинна бути як зворотній клапан для сил, що передаються від поверхні до спортсмена. Всі сили, поштовхи та інші дестабілізуючі фактори повинні бути максимально поглинені. У той час як всі дії спортсмена повинні передаватись з максимальним ККД.

1.5 Опис функціональних можливостей “ідеальної” підвіски та пошуки шляхів реалізації її функціоналу

Реальна модель підвіски повинна бути максимально наближена до ідеальної. Ідеальна підвіска має точну та повну інформацію про себе, та навколишні умови у кожен момент часу, що дозволяє видавати ідеальну реакцію на кожен збудник.

Найбільш часті сценарії та ідеальна реакція:

1. Сценарій: Велосипедист проходить різкий поворот з перевантаженням.

Реакція: Підвіска просідає для зниження центру маси та покращення маневреності, зберігає жорсткість для передачі сили та м'якість для відпрацювання рельєфу.

2. Сценарій: Велосипедист приземляється зі значної висоти.

Реакція: Збереження жорсткості підвіски, для ефективного поглинання сили удару, забезпечення м'якості під час торкання коліс для компенсування удару та зменшення втоми.

3. Сценарій: Велосипедист приземляється зі значної висоти, знаходячись в небезпечному нахилі (Рис. 1.6).

Реакція: Забезпечення значної жорсткості передньої підвіски (у випадку нахилу вперед) для компенсування моменту обертання та унеможливлення перевертання велосипеда.



Рисунок 1.6 — Велосипедист у небезпечному нахилі вперед (NoseDive)

Маючи повну та достовірну інформацію про велосипед та навколишнє середовище, що може впливати на транспортний засіб, ідеальна підвіска буде завжди забезпечувати необхідну підтримку у критичний момент. Не давши вам перекинутися там, де пасивна підвіска не відпрацювала би критичну ситуацію через однобічність та не варіативність власних налаштувань. Саме швидке переключення між високою та низькою жорсткістю в залежності від зовнішніх збудників є концептуальна особливість підвіски з системою автоматизованого керування, ціль якої буде максимальне наближення реальної підвіски до ідеальної [2].

1.5.1 Адаптація підвіски до зовнішніх факторів впливу

Перераховані сценарії є найрозповсюдженими, кожен вело спортсмен хоч раз був у подібному, але існують також і менш розповсюджені сценарії, на які ідеальна підвіска має оптимальну реакцію. На жаль, для реальної підвіски неможливо описати всі сценарії та реакції. Нам доведеться будувати модель роботи підвіски, яка буде приймати в себе вхідні дані та розраховувати оптимальну реакцію.

Ми можемо розділити адаптацію на два типи:

- Адаптація до траси.
- Адаптація до спортсмена.

Рельєф траси є необхідним вхідним елементом для забезпечення оптимальної реакції підвіски. Але його точний та завчасний аналіз є складною задачею, виконання якої хоч і технологічно можливо, але призведе до значного збільшення кількості необхідних модулів, збільшення потужностей для розрахунків, збільшення споживання електроенергії, збільшення маси та збільшення ціни. Таким чином від таких способів аналізу траси як камери, ультразвукові радары та інші сучасні пристрої, які ми можемо спостерігати на сучасних автомобілях використані не будуть[3].

Зчитування рельєфу траси буде відбуватись за допомогою більш простих датчиків. Таких як датчики прискорення, датчики абсолютного та відносного нахилу, датчики деформації матеріалу та датчики тиску. Це забезпечить достатню кількість інформації, для адаптації підвіски до траси. Також важливу роль буде грати попереднє налаштування підвіски спортсменом, вибравши тип траси, агресивний чи спокійний, стрибковий чи спусковий, буде впливати на коефіцієнти в регуляторах, що дозволить швидко адаптуватись до рельєфу.

Переміщуючись по трасі, обчислювальний модуль буде у режимі реального часу аналізувати сигнали з датчиків та керувати підвіскою. Удар хоч і швидкий процес, але не миттєвий. Маючи час, від його початку, що зафіксували датчики та надали показники, обчислювальний модуль генеруватиме відповідь, загальний час реакції не повинен перевищувати декілька відсотків, від загально часу процесу, від початку удару, до кінця його впливу на велосипед[4].

1.5.2 Преди́кція для корекції реакції підвіски на основі статистичної бази знань

Модуль автоматизованого керування підвіскою має бути оснащений універсальною моделлю керування, так як змінюватись може не тільки рельєф траси, а й параметри спортсмену, такі як вага, центр мас, посадка, сила, звички. З адаптацією до спортсмена значно простіше, ніж з трасою, всі датчики для отримання необхідної інформації є досить простими та надійними, що дозволить додати їх без значного негативного впливу на систему.

В контексті нестачі та неповноцінності інформації, важливу роль в розрахунку реакції починає відігравати преди́кція, або передбачення. Аналізуючи минулу інформацію з датчиків, розраховані реакції, їх вплив, та додавши до неї актуальну інформацію, ми маємо можливість передбачати майбутній рельєф та коректувати поточні реакції в залежності від очікуваних збудників[5].

Приклад 1: Основним ресурсом підвіски є її хід. Модуль автоматизованого керування повинен завжди залишати запас для несподіваного та не очікуваного впливу, такого як сильний удар та інші. При знаходженні в нейтральному положенні, при наїзді на нерівність підвіска повинна відпрацювати його якомога краще. Але якщо таких нерівностей більше, то якість відпрацювання може поступитись пріоритетом швидкості, для того щоб підвіска встигала відновлюватись між кожним поштовхом і залишала запас на випадок черезвичайної події, як значно більш сильний удар чи більша нерівність.

Приклад 2: Гарним прикладом предикції є стрибки. Знаходячись у повітрі, очевидно, що рано чи пізно буде приземлення, маючи акселерометр, знаючи вагу та час польоту можна досить точно розрахувати силу удару, а також коректуючи реакцію іншими параметрами, наприклад кутом нахилу велосипеда, ми отримуємо точну і якісну реакцію, що базується на предикції.

Висновки до розділу

У даному розділі було розібрана концепція підвіски, історія її еволюції, та шлях, який привів до розробки сучасного модулю автоматизованого керування підвіскою. Поставивши всі задачі, визначивши цілі та з'ясувавши необхідні данні, було створено вимоги до модулю, що дозволить спроектувати максимально сучасний, гнучкий та легко модернізуємий високотехнологічний елемент сучасної спортивної підвіски.

Реалізація описаних методів максимально близько досягнути максимально близьких показників роботи до ідеальної підвіски. Що забезпечить високу ефективність велосипеда як системи вцілому. Такий глибокий аналіз впливів та точне керування підвіскою не є концептуально чимось новим. Подібні системи є реалізовані в автоспорті. Насамперед це є результат значно більших бюджетів, що витрачається на розробку нових технічних рішень. А подібні системи показали себе настільки

ефективно, що вони навіть були заборонені організаторами деяких змагань, щоб компенсувати неймовірну перевагу тих команд, які змогли собі дозволити проектування та встановлення подібних систем[6].

Розділ 2. Проектування електронного блоку модуля автоматизованого керування підвіскою.

2.1 Загальні відомості про електронний центральний блок.

Електронний центральний блок (ЕЦБ) - це обчислювальний модуль в якому централізуються та обробляється вся інформація з датчиків, генеруються реакції та створюються керуючі сигнали, що далі прямують до підсилювачів, які вже безпосередньо керують виконавчими елементами, такими як серводвигуни та інші.

ЕЦБ є модулем прийняття рішень, на базі котрих вже працює вся периферія, виконавчі модулі та підвіска в цілому. Забезпечення якісної роботи ЕЦБ є одним з обов'язкових умов для високого рівня роботи підвіски.

Для досягнення таких характеристик необхідно забезпечити всі умови, для штатного функціонування контролера та периферії.

Обчислювальна потужність у ЕЦБ забезпечується сучасним мікроконтролером. Вхідна інформація з датчиків попередньо фільтрується та проходить обробку, для того щоб надати в контролер чисту інформацію, з мінімальною необхідністю подальших дій над нею та якомога більшою кількістю саме корисного навантаження в вхідному сигналі.

2.2 Постановка завдання проектування електронного блоку модуля автоматизованого керування підвіскою.

Як було зазначено вище, центром ЕЦБ є мікроконтролер. Для стабільної, штатної та якісної роботи якого необхідно виконати ряд вимог. Також, периферія контролеру також потребує дотримання певних вимог, для забезпечення функціонування. Також до ЕЦБ, як до окремого блоку також є певні вимоги. Все це нам дозволяє сформулювати список вимог, виконання яких є необхідним для стабільної роботи мікроконтролера, периферії та ЕЦБ в цілому та комфорту використання:

- Висока стабільність напруги, незалежність від рівня заряду акумулятору.
- Захищеність від поміх та інших хвильових впливів.
- Економічність.
- Режим очікування, що не буде черезмірно використовувати акумулятор.
- Можливість підключення через сторонні прилади для оновлення ПО та налаштувань.
- Висока обчислювальна здатність.
- Компактність
- Захист від фізичного впливу.
- Захист від впливу навколишньої середовища, а саме вологості, температури, бруду та рідин.

Важливою частиною проектування ЕЦБ є побудова блок-схеми (Рис. 2.1). Беручи за основу задані вимоги та інші блоки, що будуть взаємодіяти з ЕЦБ, ми

починаємо з визначення каналів взаємодії ЕЦБ з іншими блоками. Маємо перелік взаємодій:

- З виконавчими модулями.
- З датчиками.
- З блоком взаємодії з користувачем.
- З живленням.

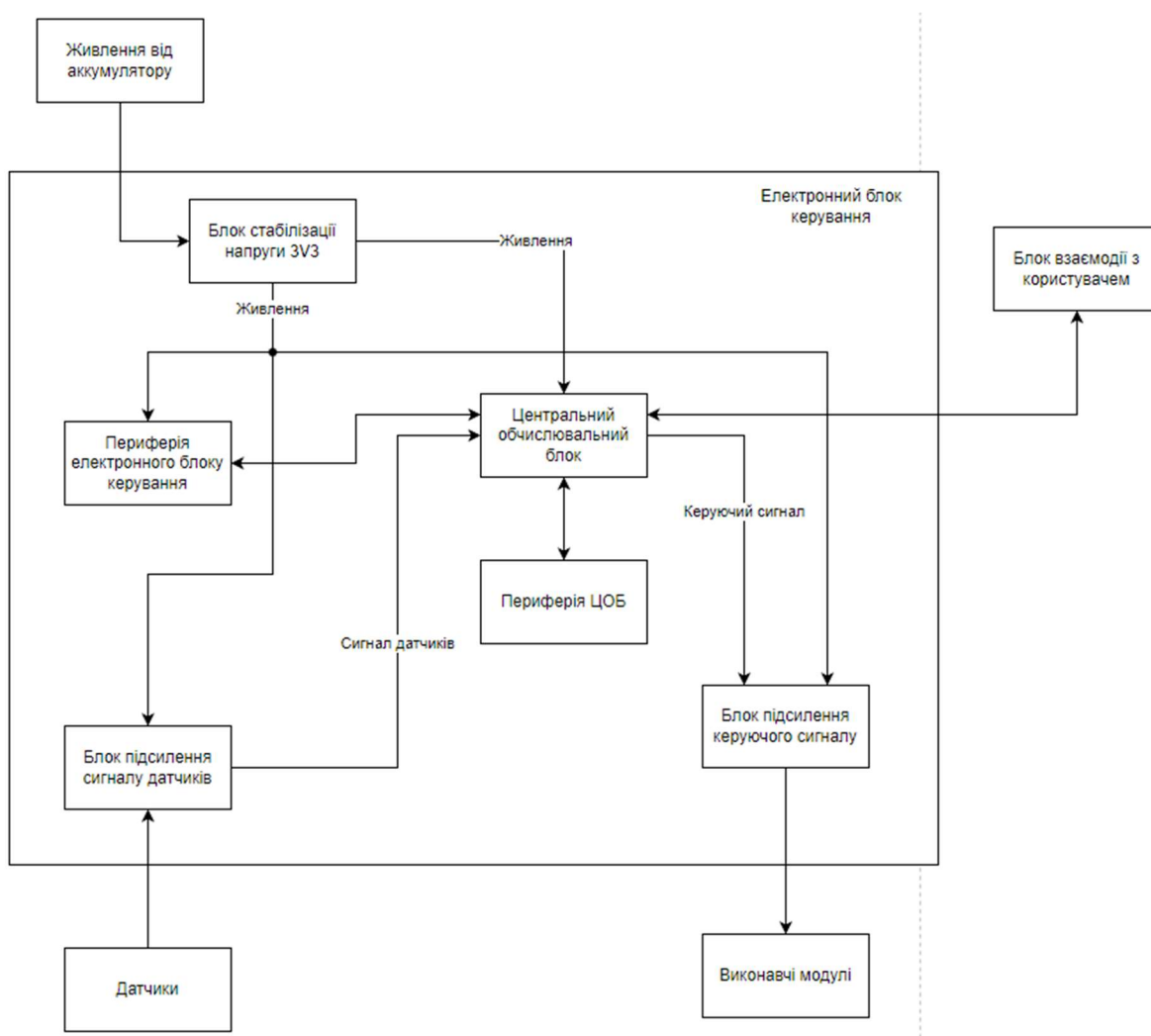


Рисунок 2.1 — Блок-схема електронного центрального блоку

Живлення.

Отримуючи напругу від акумулятору, необхідно здійснити ряд перетворень для забезпечення безпеки ЕЦБ, сам цим і займається блок стабілізації. Вхідна напруга є стабілізованою, так яка живлення здійснюється за допомогою акумулятора, напруга на зарядженому акумуляторі і на розрядженому може значно відрізнятися. Блок стабілізації стабілізує напругу, підвищуючи та понижуючи її, при необхідності. Важливим параметром є стабільність напруги, так як відхилення від номінального значення може призвести до помилок у роботі АЦП та іншої периферії, тому блок стабілізації обов'язково має фільтри, що згладжують можливі флуктуації, а також розвинену систему зворотного зв'язку та високоточної підтримки заданого значення напруги. Останньою але не менш важливою частиною блоку стабілізації живлення є захист. Під захистом розуміється комплект схемо технічних рішень, що забезпечують безпеку всього блоку, навіть якщо вхідні параметри напруги значно відрізняються від заданих, також до комплексу захисту входить захист від короткого замикання, високовольтних імпульсів та перевантаження.

Датчики.

Отриманий ЕЦБ сигнал з датчиків зазвичай далекий від того, який можна було б подати на мікроконтролер. Мікроконтролер звісно дозволяє значно спростити периферію, та організувати високоякісну цифрову обробку сигналу, але це витратить значну частину обчислювальної потужності. В нашому випадку це неприпустимо. Для цього завдання створюється блок підсилення сигналу датчиків. Одним з основних завдань якого є підвищення сигналу до логічного рівня 3V3, який використовується мікроконтролером для взаємодії, передачі та отримання логічних сигналів. Також до обов'язків цього блоку входить фільтрація сигналу, відкидання всього спектру не важливої інформації, а також, частотна та амплітудна фільтрація. Важливою частиною блоку є функція захисту. Мікроконтролер, сприймаючи логічний сигнал є дуже чутливим до перевантажень. Перебільшення напруги є

недопустимим, схемо технічні рішення по захисту також являються частиною блоку підсилення сигналу датчиків.

Виконавчі модулі

Блок підсилення керуючого сигналу створений для організації взаємодії мікроконтролера та силових виконавчих модулів. До виконавчих модулів можуть належати мотори, сервоприводи, котушки, та інші силові елементи, для роботи котрих потребується значно більша потужність, ніж може забезпечити мікроконтролер напряду. Головна задача блоку це отримання сигналу з контролера та пропорційне підсилення, для забезпечення шатної та коректної роботи силового елемента у відповідності до керуючого сигналу. Захист від перевантаження та інших не штатних режимів ротори також представлений у вигляді схемо технічних рішень блоку підсилення керуючого сигналу.

Блок взаємодії з користувачем.

Являє собою зовнішній блок, для роботи котрого напряду з контролером не потребується посередник. Так як обмін відбувається тільки даними у вигляді логічних сигналів, необхідності у обробці, підсиленні чи фільтрації не виникає. Для обміну даними використовується логічний інтерфейс RS232, що надає список правил та алгоритмів для забезпечення якісної передачі даних логічним сигналом.

RS-232 — стандарт інтерфейсу обміну даними між двома пристроями шляхом послідовної передачі даних (асинхронний зв'язок або синхронний зв'язок), знаходить використання у послідовних портах комп'ютерів та інших пристроях. Офіційна назва: «Інтерфейс між кінцевим обладнанням обробки інформації і кінцевим обладнанням каналу передачі даних, що використовує послідовний обмін двійковими даними» [7].

2.3 Проектування центрального обчислювального модуля.

Збором, обробкою та розрахуванням реакцій підвіски займається центральний обчислювальний модуль (ЦОМ). Приймаючи великий об'єм інформації, ЦОМ повинен мати достатню швидкодійність для забезпечення всіх необхідних функцій, таких як:

- Отримання та реєстрація всіх показник датчиків.
- Чистова фільтрація всіх вхідних сигналів.
- Розрахунок оптимальних керуючих сигналів
- Формування керуючого сигналу в необхідному форматі для кожного каналу керування.
- Перевірка та логування всіх розрахунків.
- Взаємодія з периферійними приладами, такими як модуль блютуз, екран, та інші.

Центральний обчислювальний модуль являє собою мікроконтролер, який повинен мати достатню потужність для виконання всіх вищеперечислених задач, а також повинен мати мінімально необхідно периферію для взаємодії з іншими блоками та розвантаження основного обчислювального потоку шляхом переносу однотипних операції, наприклад по фільтрації або генерації ШІМ сигналу на периферійні модулі.

2.4 Вибір мікроконтролера для центрального обчислювального модуля.

Перед центральним обчислювальним модулем буде стояти задача обробки великої кількості інформації. Для забезпечення достатньої швидкодії роботи, необхідно забезпечити запас по тактовій частоті основного процесора. Для цього

максимальну кількість однотипних операцій необхідно перенести на периферію мікроконтролера, в свою чергу, вона повинна бути гарно розвиненою у конкретній моделі контролера.

Архітектура контролера обрана ARM.

Архітектура ARM (Advanced RISC Machine — поліпшена RISC машина, попередник Acorn RISC Machine) — 32-бітна RISC архітектура процесорів, яку розробила компанія ARM Limited. Широко застосовується у розробці портативних пристроїв. Головною причиною цього є використання енергоощадних технологій. Саме тому ця архітектура суттєво переважає у пристроях, головними ідеями яких є енергоощадність та мобільність[8].

Станом на 2004 рік сімейство ARM займало приблизно 75 % всіх 32-бітних RISC процесорів для мобільних і вбудовуваних застосувань,[9] що робить його найчастіш використовуваним серед усіх 32-бітних архітектур. Процесори ARM знайшли своє застосування у таких пристроях, як (мобільні телефони і смартфони, планшети, кишенькові персональні комп'ютери, цифрові аудіоплеєри, калькулятори, ігрові консолі тощо), комп'ютерній периферії: маршрутизатори, NAS-сервери, апаратні брандмауери[10].

Згідно з написаним вище, ARM архітектура є найсучаснішою, забезпечує найкращі характеристики обчислювальних систем та є оптимальним варіантом для використання у системі автоматизованого керування підвіскою.

Найрозповсюдженішим виробником мікроконтролерів на базі ARM архітектури є компанія STMicroelectronics з їх лінійкою високоефективних контролерів STM32. Найпродвинутішою підгрупою мікроконтролерів STM32 є контролери STM32H7. Маючи найрозвиненішу периферію, найвищі тактові частоти та навіть мульти-ядерність, ці контролери ідеально підходять для використання у

системах, де необхідна розвинена периферія контролера та великі обчислювальні потужності, як у поставленій задачі.

Для подальшої роботи з контролерами серії H7, необхідно детальніше вивчити їх архітектуру та периферію (Рис. 2.2). Ми можемо бачити декілька блоків, в кожному з яких зображено технології що потримуються, а також їх базові характеристики.

- 2шт. 16-ти бітних синхронних таймера з функцією генерації ШІМ для контролю моторів.

- 10шт 16-ти бітних таймера

- 2шт високоточних 32-х бітних таймера, 5шт таймерів низького споживання

- Розвинена система налаштування тактування.

- 4 Канали швидкого доступу до флеш пам'яті.

- 128 – Kbyte флеш пам'яті.

- Підтримка SPI, I2C, UART, USART

Та ще багато менш важливих, але необхідних периферійних елементів, доступних для конфігурування та використання.



Рисунок 2.2 — Блок – схема периферії контролерів STM32H7

Лінійка контролерів STM32H7 також має певну кількість підмоделей. З них варто виділити STM32H743VGT6 (Рис. 2.3). Мікроконтролер здобув високу популярність, так як являється не першою ітерацією лінійки контролерів, і в ньому були виправлені всі значні недоліки. На даний час, ця модель контролера є найрозповсюдженішою серед високо потужних контролерів. Це дозволяє знати його в наявності у місцевих дилерів та формує на нього конкурентну ціну.



Рисунок 2.3 — Мікроконтролер STM32H743VGT6

2.5 Обґрунтування та вибір периферійних елементів для системи автоматизованого керування підвіскою.

Периферійні елементи системи автоматизованого керування підвіскою напрямку впливають на стабільність та якість роботи, яка визначається багатьма параметрами. Правильний вибір периферії САКП є важливою частиною проектування САКП двоколісного транспортного засобу в цілому. До периферії входить два типи модулів:

- Виконавчі модулі
- Датчики

Вказані модулі також діляться за призначенням, так як у різних частинах САКП до модулів висуваються різні вимоги роботи. Представити це необхідно а наступному вигляді:

- Виконавчі модулі
 - o Серво - привід керування низько швидкісною компресією
 - o Електромагнітний актуатор керування високошвидкісною компресією.
- Датчики
 - o Датчик кутового прискорення
 - o Датчик лінійного прискорення

Маючи певний набір вимог, що висувають конструктивні рішення САКП, необхідно підібрати оптимальні варіанти елементів, що забезпечать виконання вимог та гарантують стабільну та безперебійно роботу з достатньою точністю. Це є необхідним елементом для забезпечення роботи САКП.

2.5.1 Визначення параметрів контролю.

Параметри контролю є одним з найважливіших факторів, що визначатимуть точність та якість розрахунку реакцій. Для якісної роботи підвіски необхідно надати якнайбільше, якомога більш точної інформації, для побудови максимально точної та реальної моделі. Всі параметри діляться на необхідні та уточнюючі. Без необхідних параметрів робота системи буде неможлива, в той час як уточнюючі є бажаними, але не компрометуючими роботу.

Необхідні параметри:

- Положення підвіски (Процент спрацювання).

- Прискорення невідпружованої маси підвіски.
- Швидкість невідпружованої маси підвіски.
- Прискорення велосипеда.
- Швидкість велосипеда.
- Кутове прискорення велосипеда.
- Кутова швидкість велосипеда.

Даний перелік параметрів дозволяє здійснювати керування підвіскою. Але є недостатнім для створення повної моделі та здійснення якомога більш якісного керування.

Уточнюючі параметри:

- Вага системи.
- Тиск в колесах.
- Вектор сили поштовху.
- Вектор сили взаємодії між спортсменом та трасою.
- Центр мас
- Каденс
- Потужність

Уточнюючі параметри дозволяють системи працювати в режимі автоматичної адаптації до середовища та спортсмена. Наприклад, базуючись на такому параметрі як Каденс (Швидкість обертів педалей) та Потужність (що передається від

спортсмена до заднього колеса), САКП має можливість збільшувати жорсткість підвіски для компенсування розхитування та збільшення ККД.

Такий параметр як “Вектор сили взаємодії між спортсменом та трасою” дозволить визначити дуже важливий елемент керування підвіскою. А саме напрям сили впливу, що кардинально впливає на реакцію підвіски. Взаємодія між спортсменом та трасою це двосторонній процес. Як нерівності траси впливають на спортсмена, так і спортсмен має можливість відштовхнутись від траси, для отримання різних ефектів, таких як тимчасове розвантаження підвіски, збільшення швидкості в повороті, або збільшення амплітуди та висоти стрибка. Підвіска повинна якомога краще поглинати вплив траси, будучи достатньо м'якою в момент поштовху, у той самий час, сила спортсмена повинна передаватись максимально ефективно, для цього підвіска повинна бути максимально жорсткою.

Для реалізації даного функціоналу нам необхідно використовувати велосипед як торсіон. Маючи датчики на двох кінцях торсіону, ми маємо можливість виміряти затримку між силою, входить та виходить. Маючи цю інформацію, визначається напрям сили взаємодії та створюється відповідна реакція підвіски. Що дозволяє перетворити велосипед на аналог діоду. Що замість струму пропускає силу тільки в одному напрямку.

2.5.2 Визначення та розташування датчиків.

Визначення датчиків є важливою частиною проектування. Обираючи конкретну модель, необхідно переконатися, що всі характеристики ідеально підходять та виконують поставлену задачу. До таких характеристик відносяться:

- Точність
- Робоча напруга
- Діапазон робочої температури

- Діапазон допустимої вологи повітря.
- Споживання електроенергії у режимі очікування
- Споживання електроенергії під час роботи.
- Вага
- Форм-фактор
- Фізичний розмір

Але це не всі чинники, що впливають на вибір компонента, дуже важливими є:

- Доступність моделі на ринку
- Адекватність ціноутворення
- Гарантія від виробника
- Можливість забезпечити виробничі потреби
- Наявність технічної підтримки

Визначення датчиків. Акселерометри та гіроскопи.

Мікроелектромеханічні системи, МЕМС (англ. MEMS) — технології і пристрої, що поєднують в собі мікроелектронні і мікромеханічні компоненти. МЕМС-пристрої зазвичай виготовляють на кремнієвій підкладці за допомогою технології мікрообробки, аналогічно технології виготовлення однокристальних інтегральних мікросхем. Типові розміри мікро механічних елементів лежать в діапазоні від 1 мікрметра до 100 мікрметрів, тоді як розміри кристала МЕМС мікросхеми мають розміри від 20 мікрметрів до одного міліметра.[11]

Триосьовий MEMS-акселерометр-Використовує для кожної осі окрему пробну масу, яка зміщується у разі прискорення вздовж даної осі (фіксуються ємнісними датчиками). При розташуванні пристрою на плоскій поверхні воно виміряє 0g по X і Y осях і 1g Z-осі. Масштабний коефіцієнт (scale factor — відношення зміни вихідного сигналу до зміни вихідного сигналу, що вимірюється) калібрується на заводі і не залежить від напруги живлення. Кожен сенсор забезпечений індивідуальним сигма-дельта АЦП (складається з модулятора і цифрового фільтра низьких частот), вихідний цифровий сигнал якого має діапазон вимірювань, який можна змінювати.[12]

MEMS-гіроскоп - складається з трьох незалежних одновісних вібраційних датчиків кутової швидкості (MEMS гіроскопів), які реагують на обертання навколо X-, Y-, Z-осей. Дві підвішені маси чинять коливання по протилежним осям. З появою кутової швидкості ефект Коріоліса викликає зміну напрямку вібрації ($\vec{F}_K = -2m[\vec{\omega} \times \vec{v}_r]$), що фіксується ємнісним датчиком. Вимірювана диференціальна ємнісна складова пропорційна куту переміщення. Вихідний сигнал посилюється, демодулюється і фільтрується, даючи в результаті напругу, пропорційну кутової швидкості обертання. Цей сигнал оцифровується за допомогою вбудованого в плату 16-бітного АЦП. Швидкість оцифровки (sample rate) може програмно варіюватися від 3.9 до 8000 вибірок в секунду (samples per second, SPS), а фільтри низьких частот (LPF), що задаються користувачем, надають широкий діапазон можливих частот зрізу.

Акселерометри і гіроскопи закривають потребу системи у вимірювання лінійного та кутового прискорення та швидкості.

Розташування датчиків є принципово важливим. Розташування впливає на якість та достовірність даних з сенсорів. А також положення датчиків впливає на кількість похибок та швидкість отримання інформації, а значить і її актуальність.

Розташування Акселерометрів та гіроскопів. (Рис. 2.4)



Рисунок 2.4 — Велосипед з схематичним зображенням розташування Акселерометрів (зелена стрілка) та Гіроскопів (синя стрілка)

2.5.3 Вибір та обґрунтування датчиків.

Зняття показань кутового та лінійного прискорення є типовими задачами, що часто зустрічаються разом у приладах, де необхідно здійснювати аналіз руху приладу у просторі.[13] Саме тому ми маємо можливість знайти поєднання цих двох датчиків в одному корпусі, що збільшує компактність та зручність використання.

До датчиків відповідного типу відноситься гіроскоп-акселерометр MPU-6050 (Рис. 2.5). Роздивимося його характеристики та порівняємо з необхідними.

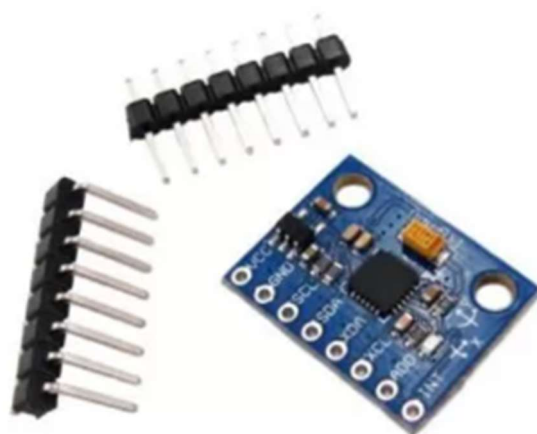


Рисунок 2.5 — Гіроскоп – акселерометр MPU – 6050 3-х вісьовий

Характеристики:

- 3 вісі вимірювання.
- Робоча напруга 3В. – 5В.
- Цифровий високошвидкісний протокол для зв'язу I2C.
- Діапазон вимірів гіроскопа ± 2000 °/с
- Діапазон вимірів акселерометра $\pm 16g$
- Діапазон робочої температури -20° $+50^{\circ}$

Відповідно до поставленої задачі, акселерометр є 3-х вісьовий, діапазон робочої напруги підходить до заданої. MEMS обладнано системою обміну інформацією за допомогою високошвидкісного протоколу I2C. Діапазон вимірів акселерометра та гіроскопа трохи перевищує необхідні, що дозволить системі не працювати на лімітах можливого. MEMS має широкий температурний діапазон, що позбавить від проблем з використанням приладу у будь-яких умовах. Також чіп. Вже розташовано на платі з необхідною електричною розв'язкою, що полегшує проектування.

Отримання недостовірної інформації з датчиків фізичної системи може призвести до помилок системи прийняття рішень та збоєм у технічній системі аналізу, що призведе до виходу системи з штатного режиму функціонування, з подальшим переходом до аварії та катастрофи. З вказаного випливає актуальність розробки методів оцінювання достовірності отриманих даних з сенсорів різної природи [14].

Для перевірки показань датчиків, що можуть приймати будь-які значення з деякого проміжку, можна застосовувати лінії Болінджера [15]. При їх використанні, збоєм датчика вважається виконання умови $|\tilde{y}_i[t_k] - \bar{\tilde{y}}_i[t_k]| > \alpha \sigma_i[t_k]$ ($\bar{\tilde{y}}_i[t_k]$ – середнє значення $\tilde{y}_i[t_k]$ в інтервалі $[t_k - \Delta, t_k + \Delta]$, Δ – період ковзної середньої, $\sigma_i[t_k]$ – середньоквадратичне відхилення $\tilde{y}_i[t_k]$ від ковзної середньої), α – коефіцієнт кількості середньоквадратичних відхилень. Даний підхід має декілька суттєвих недоліків: не може бути застосований до сенсорів, що приймають скінченну кількість станів, оскільки при сталих показаннях сенсора на інтервалі $[t_k - \Delta, t_k + \Delta]$ середньоквадратичне відхилення буде дорівнювати 0; не враховує роботу всієї системи, а аналізує показання кожного сенсора окремо.

Пропонується комбінація використання ліній Болінджера з прогнозуванням показань окремих сенсорів на основі даних, що отримані при відтворенні функціональних залежностей системи у вигляді $y_k = f_k(x_1, x_2, x_3)$, де компонентами векторів x_s $s=1,2,3$ є внутрішні параметри виробу, контрольовані зовнішні параметри, неконтрольовані параметри зовнішнього впливу відповідно [16].

Комбінуючи лінії Болінджера та прогнозування показань сенсорів на основі відтворення функціональних залежностей, перевіряються показання не окремого сенсора, а окремого функціонального ланцюга системи, що дає змогу виявляти хибні дані в тих випадках, коли лінії Болінджера вказують на коректність отриманих даних.[17]

2.5.4 Визначення параметрів керування.

Після збору та обробки вхідних сигналів, центральний обчислювальний блок має можливість згенерувати реакцію, яка в свою чергу представляє собою набір параметрів керування, що найкраще підходять до конкретної ситуації. Набір параметрів керування, це список всіх параметрів, якими може керувати центральний блок, при проектуванні набору, необхідно брати до уваги конструктивні можливості по реалізації керування конкретним параметром, та необхідність керувати цим параметром в цілому. Керуючись цими правилами, отримуємо список параметрів керування:

- Високошвидкісна компресія переднього амортизатора
- Низькошвидкісна компресія переднього амортизатора
- Високошвидкісний відскок переднього амортизатора
- Низькошвидкісний відскок переднього амортизатора
- Тиск позитивної камери переднього амортизатора
- Тиск негативної камери переднього амортизатора
- Високошвидкісна компресія заднього амортизатора
- Низькошвидкісна компресія заднього амортизатора
- Високошвидкісний відскок заднього амортизатора
- Низькошвидкісний відскок заднього амортизатора
- Тиск позитивної камери заднього амортизатора
- Тиск негативної камери заднього амортизатора

Компресія - це здатність демпферної частини амортизатора безповоротно (на відміну від пружини) поглинати енергію поштовху.

Низькошвидкісна компресія - це підтип компресії, особливістю котрої є квадратичність залежності сили поштовху та поглинаємої сили. Тобто чим сильніше її штовхають, тим сильніше вона чинить опір.

Високошвидкісна компресія - це підтип компресії, особливістю котрої є лінійна залежність сили поштовху та поглинаємої сили. Тобто незалежно від сили поштовху, вона поглине сталий об'єм енергії.

Відскок - це здатність демпферної частини амортизатора поглинати енергію пружини, що після спрацювання прагне повернутися до початкового положення. Високошвидкісний та низькошвидкісний відскок працюють аналогічно до компресії, за тим виключенням, що поглинають не енергію поштовху, а енергію пружини.

2.5.5 Визначення механізмів та методів керування підвіскою.

Всі вищеперераховані параметри повинні мати власний механізм для керування. Низькошвидкісна компресія та відскок представляють собою гідравлічний канал, через який відбувається перепускання гідравлічної рідини. Зміна перепускного січення цього каналу і здійснює регулювання. Зміна січення відбуватиметься голкою, що будучи встановленою на різьбі, при обертанні здійснює лінійне переміщення, закриваючи або відкриваючи канал. Обертання голки буде здійснюватися високошвидкісним сервоприводом, який в свою чергу отримує керуючий сигнал з центрального блоку.

Таке система дасть дуже великий діапазон регулювання, але вона є досить низькошвидкісною, і дозволить здійснювати 10 регулювань на повний хід голки в секунду, або близько 100 дрібних регулювань в секунду, що недостатньо для миттєвого відпрацювання ударів, а підходить для приблизного налаштування.

Точним регулюванням роботи підвіски буде займатися високошвидкісна компресія. Конструктивно вона являє собою шимстек. Шимстек - це набір шайб, у перепускному каналі, що створюють супротив проходженню через них гідравлічної

рідини, шайби додатково притискаються пружинами. За рахунок деформування шайб та зтиснення пружини при проходженні через шайби гідравлічної рідини під тиском, отримується лінійна характеристика супротиву високошвидкісної компресії, навіть при сильних ударах. Для забезпечення високої швидкості реакції, на пружину шимстеку буде тиснути електромагнітне поле катушки, що буде керуватися центральним блоком. Відсутність рухомих мас забезпечить високу швидкість реакції, до тисяч змін в секунду. Даний механізм регулювання будет реалізовано у вигляді електромагнітного актуатора.

2.5.6 Вибір та обґрунтування моделей виконавчих механізмів.

Було обрано серво-привід для керування низько швидкісної компресією моделі TowerPro MG995 (Рис. 2.6), що має наступні характеристики:

- Вага: 55гр.
- Розміри: 40.7 x 19.7 x 42.9.
- Швидкість: при 4.8В - 0.2сек/60°, при 6В – 0.162сек/60°.
- Кут повороту: 180 градусів.
- Крутний момент: 8.5кг/см при 4.8В, 10кг/см при 6В.
- Робоча напруга: 4.8В. – 7В.
- Робоча температура: від 0° до 55°



Рисунок 2.6 — Серво-привод TowerPro MG995

Даний сервопривід повністю відповідає заданим характеристикам, кут повороту відповідає заданим, 180° . Крутний момент задано 4кг на важілі 2см. Перахувавши на важіль довжиною 1см це буде 8кг. Маючи 8.5кг/см при 4.8В цей параметр влаштовує. Напруга живлення входить до діапазону робочої напруги сервоприводу.

Розглянемо наступний актуатор. Актуатор двухпроводний Р2 (Рис. 2.7)

Характеристики:

- Робоча напруга 4В – 7В.
- Хід поршня 22мм.
- Максимальне навантаження 6кг.



Рисунок 2.7 — Двухпровідний актуатор Р2.

Актуатор має запас по ходу поршня та максимальному навантаженню, що дозволить йому працювати не на максимальних режимах, що позитивно вплине на надійність та стабільність роботи. Напруга живлення входить в діапазон робочої напруги актуатора.

2.6 Проектування схем та алгоритму роботи модуля автоматизованого керування підвіскою

В цьому розділі буде спроектовано схеми та алгоритми керування для модуля автоматизованого керування підвіскою. Для проектування будуть використані вхідні параметри, що були визначені раніше. А також буде визначено тип та формат вихідного керуючого сигналу для виконавчих модулів. Алгоритм роботи є одним з визначених факторів роботи системи автоматизованого керування підвіскою і являє собою комплексну систему, яку можна буде налаштовувати і після закінчення проектування. Система автоматизованого керування підвіскою велосипеда представляє собою інструмент для налаштування та відпрацювання алгоритму роботи, тому він не прив'язується до конкретного алгоритму, а надає обчислювальні

потужності для реалізації будь-якого алгоритму, в якому ми можемо використовувати данні з датчики та керувати виконавчими модулями.

Для обробки великої кількості постійно оновлюємої інформації необхідно побудувати математичну модель велосипеду. У якій будуть власні параметри, що є сталими при відсутності зовнішніх впливів. При зміні параметрів моделі, ми будемо отримувати результат у вигляді сил реакції підвісок, які будуть перераховані в конкретні керуючі сигнали.

При цьому, маючи модель велосипеду та розраховуючи необхідні параметри, ми можемо очікувати від підвіски різних результатів, в залежності від налаштувань, які були попередньо задані спортсменом. Дехто більш любить жорсткий велосипед, що менш поглинає нерівності, але відчувається більш жорстким та збитим. Звісно, одним з головних задач системи автоматизованого керування підвіскою це розширити діапазон роботи підвіски з одним налаштуванням, що б велосипед був більш жорсткий там, де необхідна жорсткість, та більш м'яким, де необхідно ефективно поглинати нерівності.

2.6.1 Проектування принципової схеми модуля автоматизованого керування підвіскою.

Принципова схема модулю (Рис. 2.8) складається з його базових частин з частковою деталізацією внутрішніх елементів, що взаємодіють з іншими блоками модулю. Модуль необхідно поділити на 3 головні частини. Дві з котрих є виконавчими блоками, а саме: блок задньої підвіски та блок передньої підвіски. А також керуючий блок: Центральний блок керування.

Отримуючи напругу живлення, центральний блок отримує показники датчиків від блоку задньої підвіски та показники датчиків від блоку передньої підвіски. Після обробки та аналізу сигналів з датчиків формується необхідна реакція підвіски, на базі котрої формується керуючий сигнал для блоку передньої та блоку задньої підвіски.

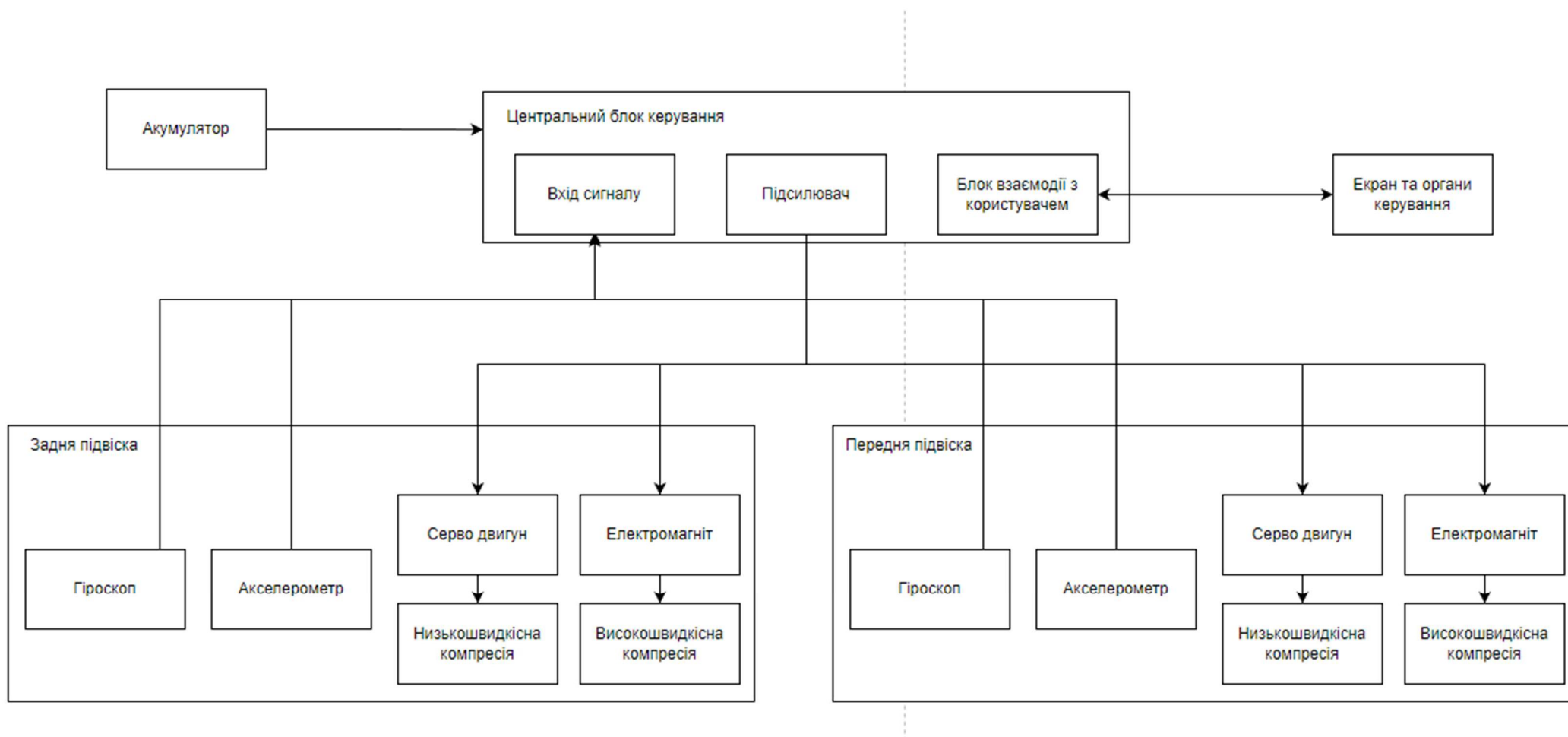


Рисунок 2.8 — Принципова схема модулю автоматизованого керування підвіскою велосипеда

2.7 Розробка математичної моделі керування підвіскою.

Модель велосипеда буде представляти з себе три набори параметрів.

Два набори вхідних параметрів:

- Інформація з датчиків
- Попередні налаштування

Та один набір вихідних параметрів:

- Керуюча інформація на виконавчі системи.

Таку систему необхідно представити у вигляді схеми (Рис. 2.9).

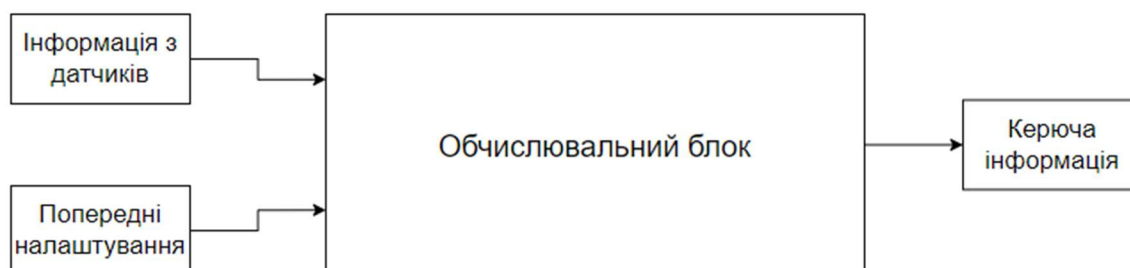


Рисунок 2.9 — Схема системи взаємодії обчислювального блоку в даними.

Отримавши інформацію з датчиків ми маємо можливість побудувати модель реального велосипеда. Для того щоб визначити об'єм та вектор необхідних регулювань, нам необхідна бажана модель велосипеда, з якою ми будемо

порівнювати реальну модель та визначити які параметри потрібно змінювати та з якою швидкістю це робити.

Попередні налаштування включають в себе два блоки параметрів, які впливають на реакцію обчислювального блоку:

- Що впливають на дії, які приводять реальну модель до бажаної.
- Що змінюють саме бажану модель.

Перша група впливають на перехідні процеси, що відбуваються з велосипедом, та те, як вони відбуваються. Одним з прикладів є відбій підвіски, що визначає швидкість повернення реальної моделі велосипеда до бажаної після удару та стиснення підвіски.

Вхідні параметри:

$K_1 \dots K_x$ - Коефіцієнти що реалізують попередні налаштування.

T - Час.

$A_{x,y,z}$ - Задане значення лінійного прискорення

$E_{x,y,z}$ - Задане значення лінійного прискорення.

a_x - Лінійне прискорення по вісі X.

a_y - Лінійне прискорення по вісі Y.

a_z - Лінійне прискорення по вісі Z.

ε_x - Кутове прискорення по вісі X.

ε_y - Кутове прискорення по вісі Y.

ε_z - Кутове прискорення по вісі Z.

Вихідні параметри:

$N_{\text{серв.}} = \frac{T}{t_{\text{імп.}}}$ - Прогаленість сигналу керування сервоприводом.

$N_{\text{акт.}} = \frac{T}{t_{\text{імп.}}}$ - Прогаленість сигналу керування актуатором.

Прогальність — одна з класифікаційних ознак імпульсних систем, безрозмірний коефіцієнт, який характеризує періодичний імпульсний процес і чисельно дорівнює відношенню періоду повторення імпульсу до його ефективної тривалості.

Для керування прогаленістю буде використовуватись PID регулятор.

Одним з основних компонентів розрахунку яка використовується в розрахунках кожної ланки регулятор є помилка сигналу. (Формула 2.1-2.3). Віднявши реальний сигнал від цільового отримуємо помилку по кожній вісі.

$$(A_x - a_x) - \text{Помилка по вісі X} \quad (2.1)$$

$$(A_y - a_y) - \text{Помилка по вісі Y} \quad (2.2)$$

$$(A_z - a_z) - \text{Помилка по вісі Z} \quad (2.3)$$

Далі необхідно розрахувати керуючі сигнали, підставивши в кожну ланку отриману помилку. (Формула 2.4-2.9) Всього PID регулятор складається з трьох ланок. Пропорційна, інтегральна та диференційна.

Пропорційна ланка перемножує помилку на коефіцієнт. Інтегральна ланка накопичує помилку з часом. Диференційна ланка корегує загальний сигнал базуючись на різниці з помилкою минулого обчислення.

$$u(t)_{ax} = \left(K_{px} (A_x - a_x)(t) \right) + \\ + K_{ix} \int_0^t (A_x - a_x)(\tau) d\tau + K_{dx} \frac{d(A_x - a_x)}{dt} \quad (2.4)$$

$$u(t)_{ay} = \left(K_{py} (A_y - a_y)(t) \right) + \\ + K_{iy} \int_0^t (A_y - a_y)(\tau) d\tau + K_{dy} \frac{d(A_y - a_y)}{dt} \quad (2.5)$$

$$u(t)_{az} = \left(K_{pz} (A_z - a_z)(t) \right) + \\ + K_{iz} \int_0^t (A_z - a_z)(\tau) d\tau + K_{dz} \frac{d(A_z - a_z)}{dt} \quad (2.6)$$

$$u(t)_{\varepsilon x} = \left(K_{px} (E_x - \varepsilon_x)(t) \right) + \\ + K_{ix} \int_0^t (E_x - \varepsilon_x)(\tau) d\tau + K_{dx} \frac{d(E_x - \varepsilon_x)}{dt} \quad (2.7)$$

$$u(t)_{\varepsilon y} = \left(K_{py} (E_y - \varepsilon_y)(t) \right) + \\ + K_{iy} \int_0^t (E_y - \varepsilon_y)(\tau) d\tau + K_{dy} \frac{d(E_y - \varepsilon_y)}{dt} \quad (2.8)$$

$$u(t)_{\varepsilon z} = \left(K_{pz} (E_z - \varepsilon_z)(t) \right) + \\ + K_{iz} \int_0^t (E_z - \varepsilon_z)(\tau) d\tau + K_{dz} \frac{d(E_z - \varepsilon_z)}{dt} \quad (2.9)$$

Залишається перетворити сигнал у прогаленість (Формула 2.10), для керування периферійними пристроями і відправити сигнал на підсилювач, для подальшої роботи у виконавчих механізмах.

$$H_{x,y,z} = \frac{u(t)_{ax,ay,az}}{100\%} \cdot \frac{u(t)_{\varepsilon x,\varepsilon y,\varepsilon z}}{100\%} \quad (2.10)$$

Кожну секунду відбувається декілька сотень ітерацій розрахунку керуючих сигналів для всіх вісей, кутових та лінійних прискорень. Важливо щоб у обчислювального модуля вистачало обчислювальних потужностей, у іншому випадку може втрачатися частота дискретизації сигналу або навіть повний відказ роботи системи.

Висновки до розділу

Система автоматизованого керування підвіскою, це комплексна система, електронний модуль якої було спроектовано у даному розділі. У результаті було отримано математичну модель, котру необхідно реалізувати на практиці у коді мікроконтролеру обчислювального блоку. Саме це буде реалізовано у наступному розділі. Математична модель передбачає велику кількість обчислень, для реалізації оптимального керування підвіскою велосипеда. Тому необхідно забезпечити все можливе повного забезпечення центрального блоку всім необхідним. Вхідні сигнали повинні проходити гарну фільтрацію, щоб зменшити загальну кількість інформації,

залишити лише корисну інформацію і цим розгрузити контролер, позбавивши його необхідності робити обчислення сигналу, що не несе інформації. Обрані периферійні пристрої забезпечать оптимальні параметри регулювання підвіскою. Маючи запас по потужності, буде досягнуто якісного регулювання всіх параметрів підвіски, а також надійна та стабільна робота. Обрана периферія є широко розповсюдженою та перевіреною часом та використанням в великій кількості приладів, тому можна бути впевненим, що не доведеться займатися вирішенням питань, що можуть виникнути по причині неякісної периферії. Також дані виконавчі прилади мають конкурентні ціни, що дозволить не переплачувати при створенні прототипу та оптимізувати фінансові витрати при реалізації проекту.

Розділ 3. Програмування центрального блоку керування.

3.1 Вибір програмного забезпечення

Однією з найважливіших частин створення модулю системи автоматизованого керування підвіски є програмування мікроконтролера. Адже стабільна та ефективна робота контролера є ключовими факторами в штатному функціонуванні цілого модуля. За допомогою візуалізаторів, автоматичних перевірок та аналізу проробленої роботи, шаблонного патерну роботи, програмне забезпечення здатне значно спростити та прискорити розробку алгоритму роботи та конфігурацію периферії контролера. Використання відповідного програмного забезпечення, ліцензованого виробником є важливою частиною гарантії відсутності критичних проблем у майбутній розробці.

Існує багато підходів до створення програмного забезпечення для мікроконтролерів. Значу частину роботи займає саме конфігурація обширної периферії контролера. Необхідно налаштувати самі базові речі, такі як тактування контролера, дільники, визначити тактові частоти для широкого переліку тактових шин, від яких живляться різні периферії. Вибрати режими роботи для всіх периферійних модулів, таких як: аналогово-цифрові перетворювачі, генератори ШІМ сигналу, необхідно конфігурувати роботу кожної ноги мікроконтролеру, а у обраному контролері їх більше сотні. І все це повинно бути конфігуровано відповідно до документації, помилки у конфігуруванні приведуть до некоректної роботи або відказу контролера взагалі. У найгірших випадках, це може призвести до помилок та відказів на робочих зразках. Саме тому, фірмою - виробником контролерів STMicroelectronics, було розроблено спеціальне програмне забезпечення для конфігурації контролера. Маючи графічний інтерфейс, програмне забезпечення значно полегшує та пришвидшує процес конфігурування, а влаштовані алгоритми перевірки конфігурації на відповідність програмному забезпеченню дозволяє відловити на не допустити 99% помилок ще на етапі конфігурування.

3.2 Середовище попереднього конфігурування периферії мікроконтролера

Мікроконтролер складається з великої кількості периферійних систем, що в значній мірі впливають на якість та швидкодію роботи контролера. Для коректної конфігурації всієї периферії мікроконтролеру необхідно використовувати спеціалізоване програмне забезпечення, яке надає виробник мікроконтролерів STM32CubeMX (Рис. 3.1)

Після встановлення, переходимо до створення нового проекту і попадаємо у вікно вибору необхідного контролеру (Рис.3.2). Програма влаштована так, що користувач має швидкий доступ до характеристик контролеру, його вартості, швидкого пошуку по характеристикам, назві, родині, серії, лінійці, так іншим характеристикам. Даний функціонал дозволяє не тільки швидко знайти необхідний контролер, а також підібрати необхідну модель базуючись на потребах конкретного проекту. Також маємо доступ до повної та скороченої документації та іншого необхідного матеріалу, що може знадобитися при виборі та аналізу контролера і надалі у розробці програмного забезпечення.



Рисунок 3.1 — STM32CubeMX by STMicroelectronics

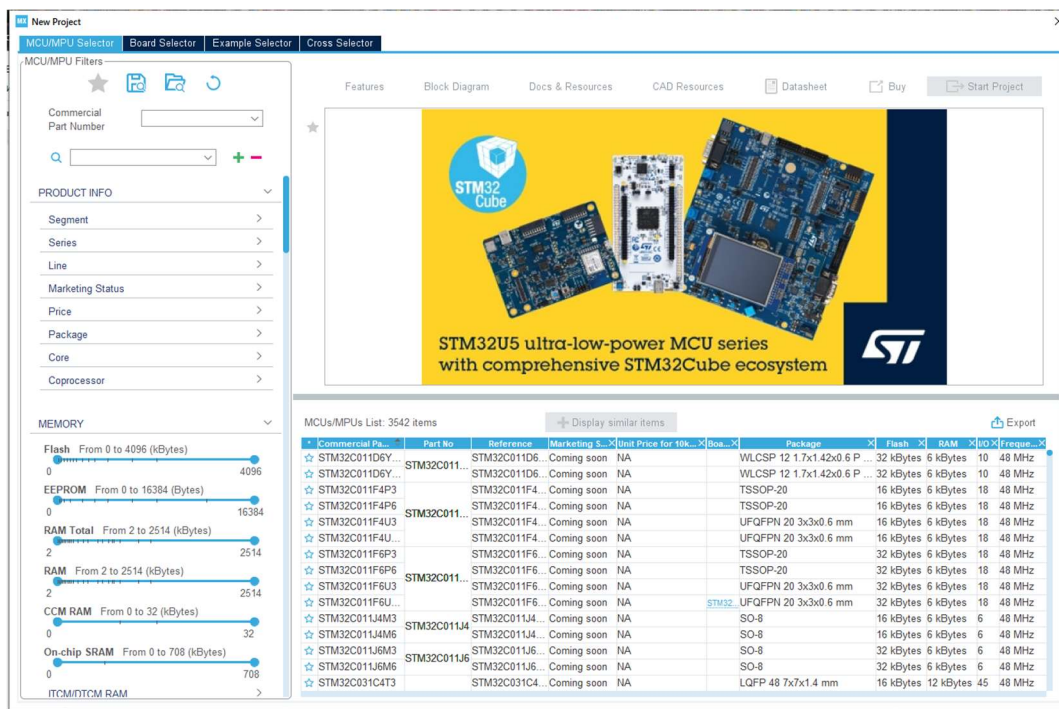


Рисунок. 3.2 — Вікно вибору контролера програми STM32CubeMX

Далі необхідно знайти наш мікроконтролер STM32H743VGT6 (Рис. 3.3). У той же час маємо можливість ознайомитись з короткою інформацією про контролер, перейти до даташиту, або створити новий проект на базі обраного контролера.

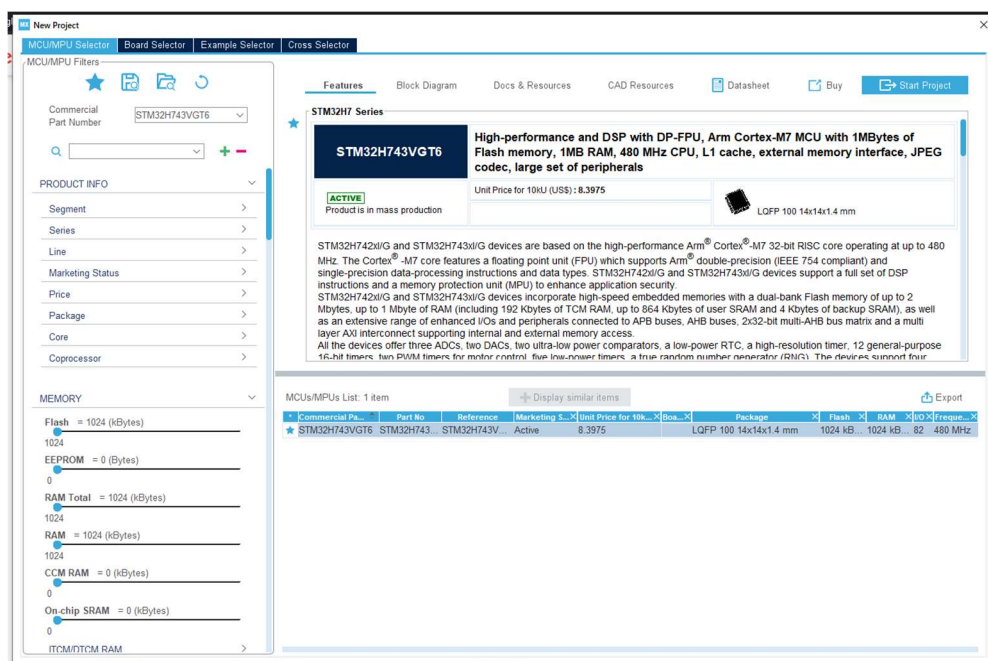


Рисунок. 3.3 — Обрано контролер STM32H7VGT6

Після створення проекту, потрапляємо у головне вікно конфігурації контролера (Рис. 3.4). Можна переходити до конфігурації контролера. Зліва ми можемо бачити перелік доступної периферії, по центру схематичне зображення контролеру з можливістю швидкого конфігурування окремих ніжок контролера. Зверху знаходять не менш важливі вкладки, налаштування проекту (Project Manager) та (Tools) є важливими для коректної роботи проекту та його сумісності з компілятором, який буде використовуватись для генерації двійкового коду та програмування контролеру, але напряму не відноситься до конфігурування контролеру, тому їх налаштування залишаємо поза увагою. Значно більше важливим є конфігурування тактових частот для всього контролеру та його периферії.

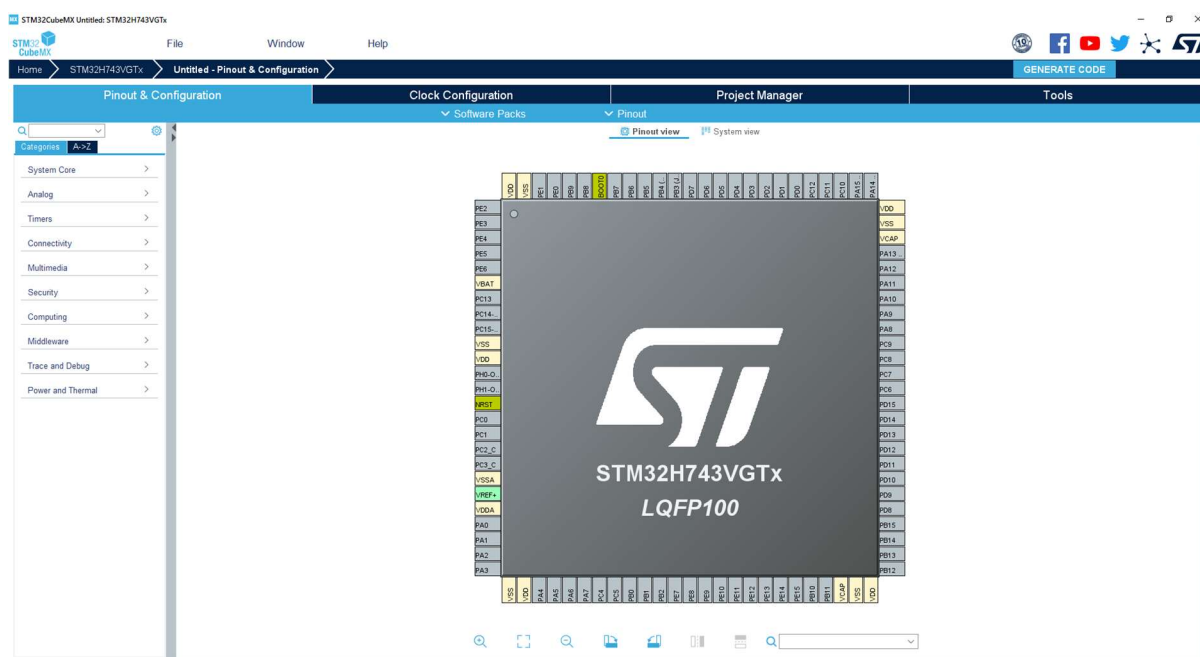


Рисунок. 3.4 — Початкова сторінка конфігуратора з зображенням обраного контролера.

Можемо приступати до конфігурування тактування контролеру. Не дивлячись на досить складну схему тактування, більшість розрахунків буде здійснено скриптами, власне для цього і використовується середа попереднього конфігурування. Для початку потрібно перейти на зовнішнє джерело тактового сигналу, так як у налаштування по замовчання тактування йде від внутрішнього джерела. Зовнішнє джерело є більш надійним та точним джерелом



Рисунок — 3.5. Кварцовий резонатор на 8MHz

тактового сигналу. У нашому випадку буде використовуватись кварцовий резонатор з робочою частотою 8MHz (Рис 3.5). Далі, конфігуруванням вбудованих дільників та мультиплаєрів необхідно досягти максимальних підтримуємих частот для кожної лінії тактування. Максимальна частота тактування головної шини контролера складає 480MHz. Саме стільки разів в секунду будуть відбуватися виконання операції в головному циклі програми. Інші периферії мають менші тактові частоти. 120MHz – 240MHz для всіх таймерів та іншої периферії. На рисунку 3.6 можемо бачити готовий варіант конфігурації усіх тактових частот контролера.

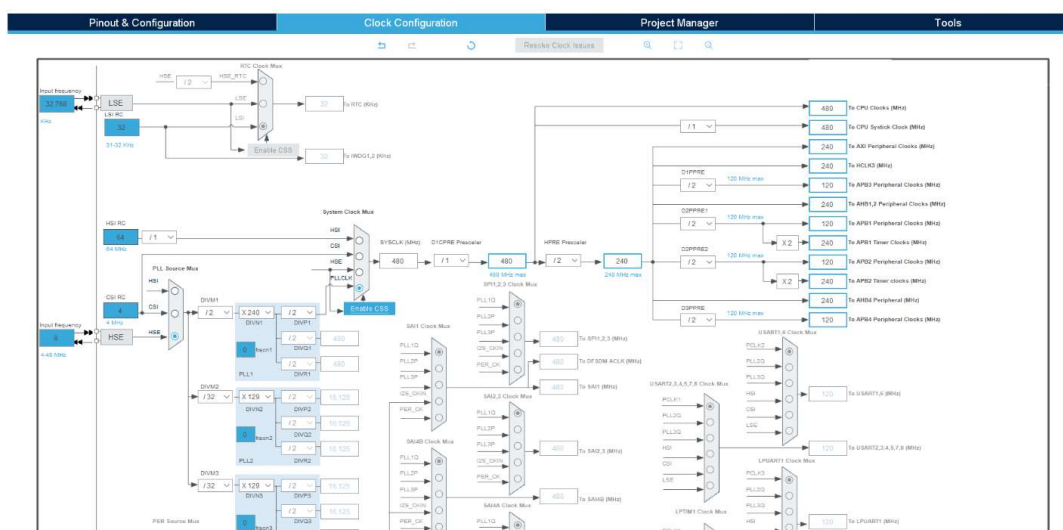


Рисунок. 3.6 — Вікно налаштувань тактування контролера.

Наступним кроком є конфігурування всієї використовуємо периферії. Нам знадобиться два канали I2C, Генератори ШІМ сигналу – 2шт., АЦП – 3 канали. Кожен з пунктів має широкий спектр налаштувань, який ми конфігуруємо відповідно до потреб проекту, на виході маємо наступні налаштування(Рис.3.7).

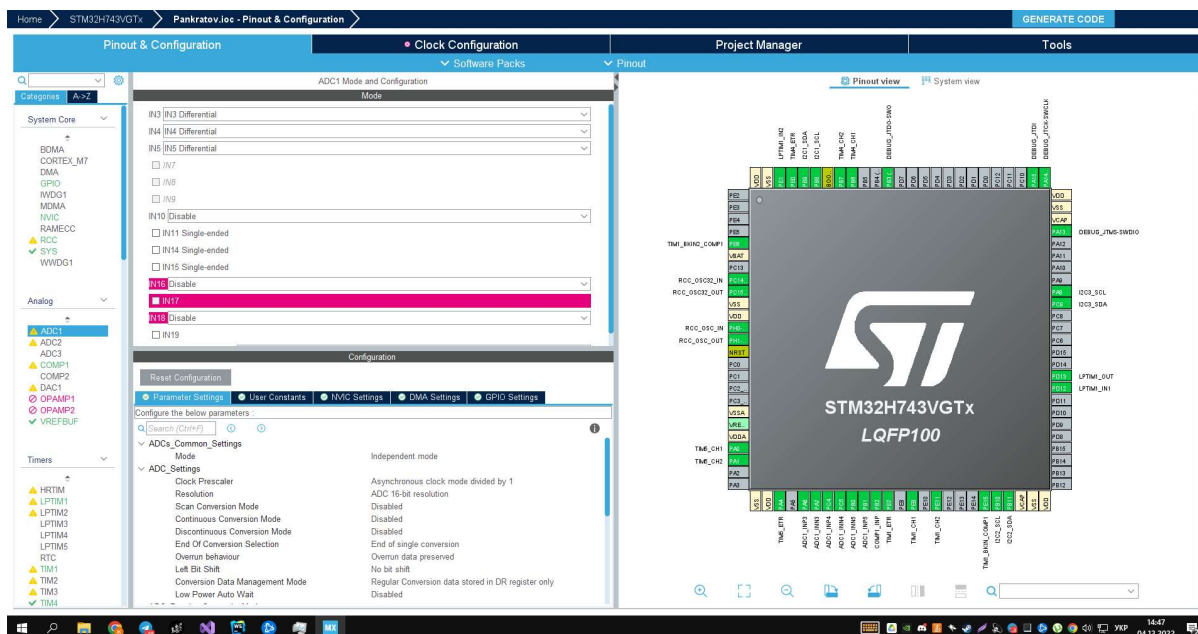


Рисунок. 3.7 — Налаштований проект, готовий до генерації коду.

3.3 Вибір та обґрунтування компілятора коду

Завершивши з генеруванням коду, ми маємо на виході готовий проект. STM32CubeMX Має досить обширний список компіляторів коду, які він підтримує. Ми будемо використовувати один з списку підтримуємих, а саме ARM MDK Keil uVision 5 (Рис. 3.8). Дане програмне забезпечення дозволить відкритий попередньо створений проект у середі попереднього конфігурування. Після необхідно завантажити всі пакети та бібліотеки, що необхідні для роботи отриманого проекту. І

нарешті маємо можливість перейти до створення програмного коду, який забезпечить роботу системи автоматизованого керування.



Рисунок. 3.8 — ARM MDK Keil uVision 5.

Отримуємо наступну структуру проекту (Рис 3.9). Зліва зображено дерево проекту, в якому можна виділити дві основні папки. Папка користувача та папка бібліотеки HAL. Саме ця бібліотека реалізовує всі конфігурації, що було реалізовано в програмі попередньої конфігурації. Файл `main.c`, що відкрито на скріншоті зображеному на рисунку 3.9, є головним файлом, з якого починається робота програми. А саме конфігурація периферії та початок роботи безкінечної функції `while`, в якій буде виконуватись основний код. Отримання значень з датчиків, розрахунки, та встановлення необхідного сигналу на вихідних каналах контролера.

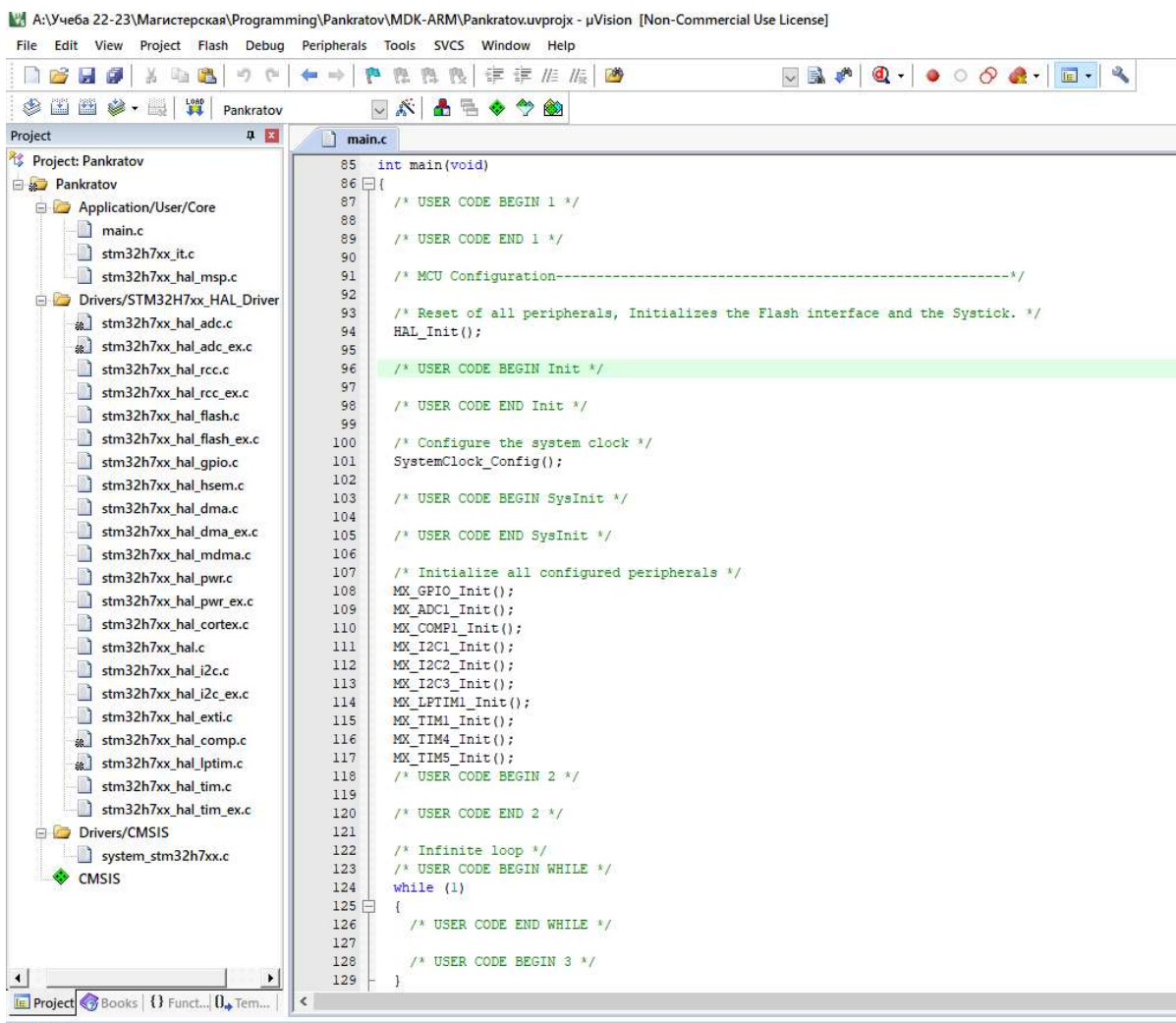


Рисунок. 3.9 — Середовище для написання коду.

3.4 Створення програмного коду керування підвіскою

Завершивши з попереднім налаштуванням та конфігуруванням програмного забезпечення, тепер маємо змогу перейти до безпосередньо створення програмного коду, що буде реалізовувати алгоритми керування. Реалізовуємо аналогічно розрахунки, що були приведені у створенні математичної моделі керування. Отримуємо наступний код (Рис. 3.9).

```

main.c*
184 double Y_Acceleration_Front = getYAccFront();
185 double X_Acceleration_Front = getXAccFront();
186 double Z_Acceleration_Front = getZAccFront();
187
188 double Y_Acceleration_Rear = getYAccRear();
189 double X_Acceleration_Rear = getXAccRear();
190 double Z_Acceleration_Rear = getZAccRear();
191
192 double Y_Angel_Acceleration_Front = getAngYAccFront();
193 double X_Angel_Acceleration_Front = getAngXAccFront();
194 double Z_Angel_Acceleration_Front = getAngZAccFront();
195
196 double Y_Angel_Acceleration_Rear = getAngYAccRear();
197 double X_Angel_Acceleration_Rear = getAngXAccRear();
198 double Z_Angel_Acceleration_Rear = getAngZAccRear();
199
200 //Creating variables for calculated data
201 double U_Acc_X;
202 double U_Acc_Y;
203 double U_Acc_Z;
204
205 double U_Acc_Ang_X;
206 double U_Acc_Ang_Y;
207 double U_Acc_Ang_Z;
208
209 //Calculating all data for PID
210 U_Acc_X = calc_P(X_Acceleration_Front, X_Acceleration_Rear) + calc_I(X_Acceleration_Front, X_Acceleration_Rear) + calc_D(X_Acceleration_Front, X_Acceleration_Rear);
211 U_Acc_Y = calc_P(Y_Acceleration_Front, Y_Acceleration_Rear) + calc_I(Y_Acceleration_Front, Y_Acceleration_Rear) + calc_D(Y_Acceleration_Front, Y_Acceleration_Rear);
212 U_Acc_Z = calc_P(Z_Acceleration_Front, Z_Acceleration_Rear) + calc_I(Z_Acceleration_Front, Z_Acceleration_Rear) + calc_D(Z_Acceleration_Front, Z_Acceleration_Rear);
213
214 U_Acc_Ang_Z = calc_P(Z_Angel_Acceleration_Front, Z_Angel_Acceleration_Rear) + calc_I(Z_Angel_Acceleration_Front, Z_Angel_Acceleration_Rear) + calc_D(Z_Angel_Acceleration_Front, Z_Angel_Acceleration_Rear);
215 U_Acc_Ang_Y = calc_P(Y_Angel_Acceleration_Front, Y_Angel_Acceleration_Rear) + calc_I(Y_Angel_Acceleration_Front, Y_Angel_Acceleration_Rear) + calc_D(Y_Angel_Acceleration_Front, Y_Angel_Acceleration_Rear);
216 U_Acc_Ang_X = calc_P(X_Angel_Acceleration_Front, X_Angel_Acceleration_Rear) + calc_I(X_Angel_Acceleration_Front, X_Angel_Acceleration_Rear) + calc_D(X_Angel_Acceleration_Front, X_Angel_Acceleration_Rear);
217
218 //Installing all data to adopt output parametrs
219 Update_Front_ServoData_X(U_Acc_X);
220 Update_Front_ServoData_Y(U_Acc_Y);
221 Update_Front_ServoData_Z(U_Acc_Z);
222
223 Update_Rear_ServoData_X(U_Acc_X);
224 Update_Rear_ServoData_Y(U_Acc_Y);
225 Update_Rear_ServoData_Z(U_Acc_Z);
226
227 Update_Front_InductorData_X(U_Acc_Ang_X);
228 Update_Front_InductorData_Y(U_Acc_Ang_Y);
229 Update_Front_InductorData_Z(U_Acc_Ang_Z);
230
231 Update_Rear_InductorData_X(U_Acc_Ang_X);
232 Update_Rear_InductorData_Y(U_Acc_Ang_Y);
233 Update_Rear_InductorData_Z(U_Acc_Ang_Z);
234
235

```

Рисунок 3.9 — Програмний код керування підвіскою

3.5 Перевірка отриманої математичної моделі керування підвіскою двоколісного транспортного засобу.

Отриману математично модель необхідно перевірити на коректність роботи. Це можна зробити, завантаживши отриману прошивку у контролер, доданий до схеми у середовищі створення електричних схем Proteus. Таким чином буде протестовано роботу прошивки в цілому, а також реалізованої в прошивці математичної моделі.

По результату проведення тестування отримаємо два графіки (Рис. 3.10) та (Рис. 3.11). На першому графіку зображено вхідний сигнал з однією різкою зміною сигналу, а на другому з двома. Синій графік – вхідний сигнал, помаранчевий графік – вихідний сигнал математичної моделі.

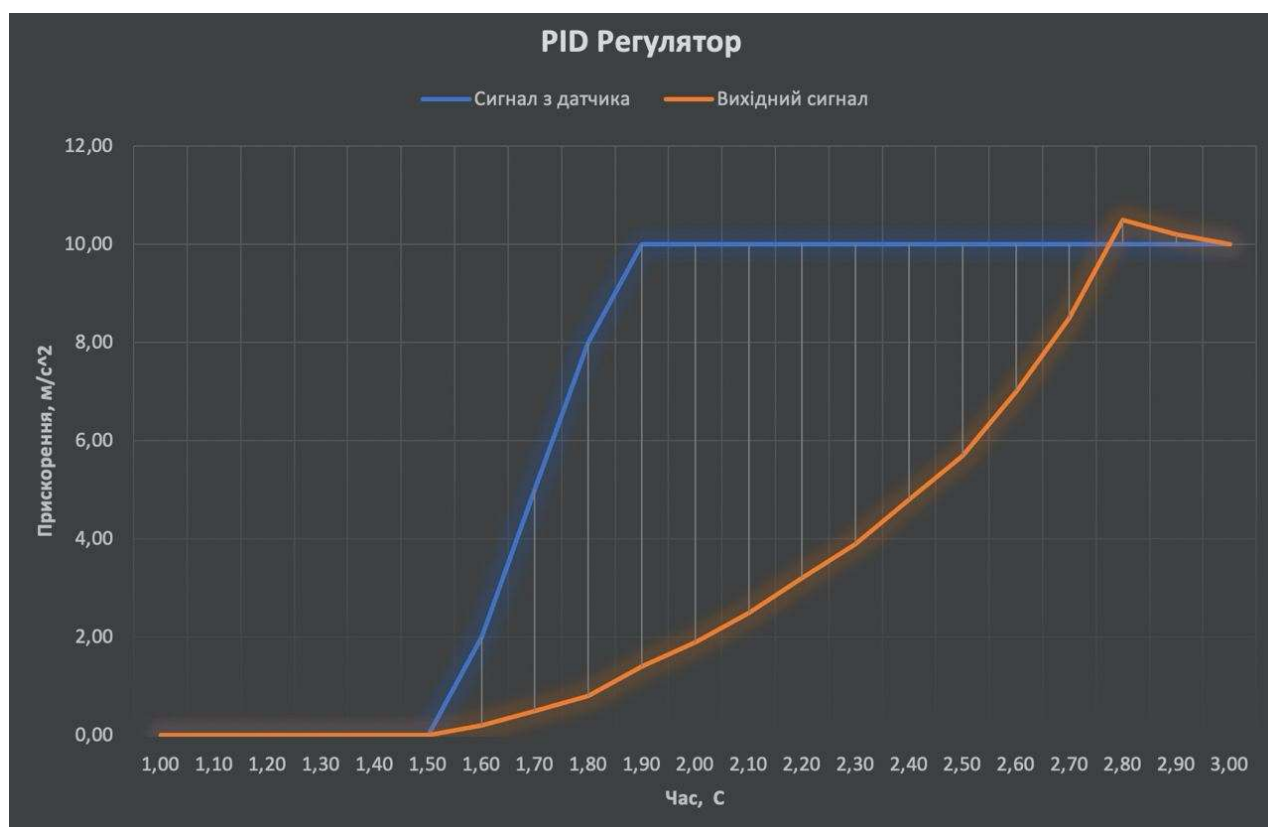


Рисунок 3.10 — Графік першого тесту математичної моделі.

Розглянемо перший експеримент (Рис. 3.10). Після збільшення вхідного сигналу, одразу бачимо реакцію вихідного сигналу, що починає плавно слідувати графіку вхідного сигналу, здійснюючи регулювання сигналу.

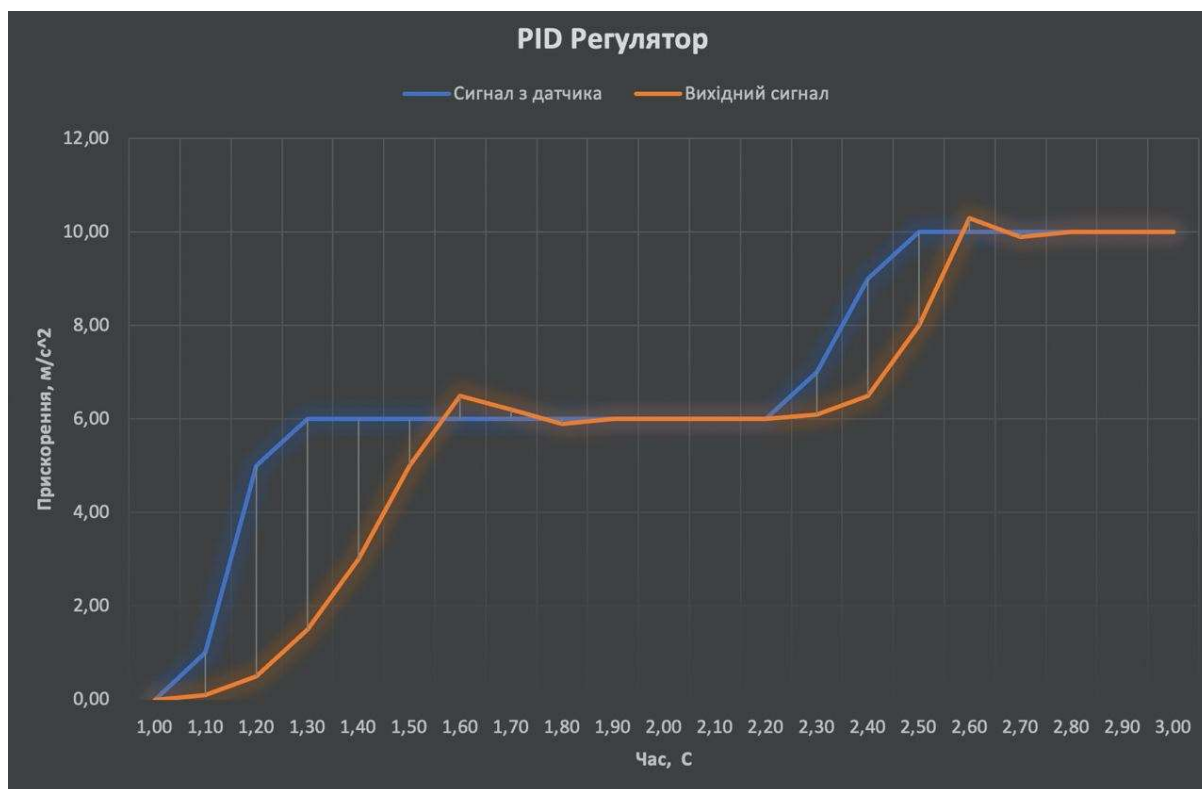


Рисунок 3.11 — Графік другого тесту математичної моделі.

На другому експерименті (Рис. 3.11), після стабілізації сигналу в результаті першого стрибку, слідує ще один стрибок. На нього йде аналогічно реакція з плавним слідуванням сигналу. Можемо бачити незначне пере-регулювання сигналу при досягненні вихідним сигналом рівня вхідного, дане явище є нормою і є показником оптимальних налаштувань коефіцієнтів. Завищені коефіцієнти забезпечили б швидше слідування вихідного графіку вхідному, але спричинило би значне пере-регулювання та осциляції, у той час як занижені коефіцієнти позбавили б від пере-регулювання, але значно збільшили б загальний час реакції регулятора на вхідний сигнал.

Необхідно переконатись у коректності вихідного сигналу, для цього порівняємо його з графіком вихідного сигналу регулятора, коректна робота якого є доведеною (Рис 3.11).

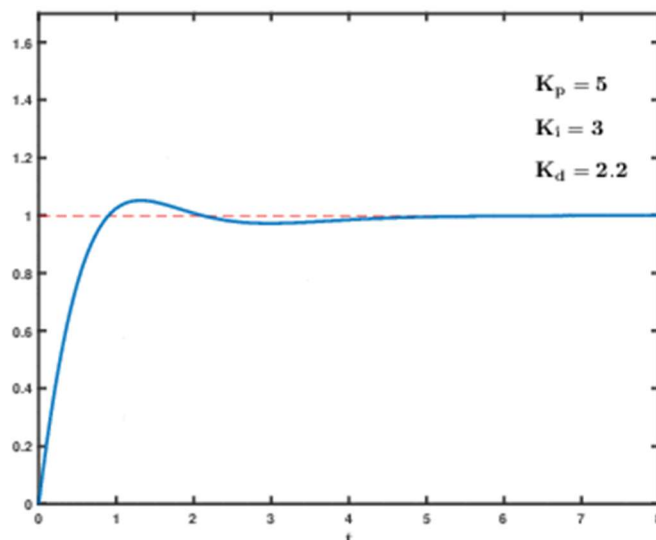


Рисунок 3.11 — Зразковий графік роботи під регулятора.

Порівнюючи отримані графіки з зразковим, можна переконатись в коректності роботи математичної моделі. Але помітна не ідеальність налаштування коефіцієнтів, що дасть невелику похибку відносно оптимального режиму роботи.

У математичної моделі є деякі обмеження, які необхідно брати до уваги, при роботі з нею. Робота з цифровим форматом забезпечує досить невелику кількість обмежень, але необхідно пам'ятати, що математична модель працює в умовах обмеженої обчислювальної здатності мікроконтролера, тому необхідно слідкувати, щоб частота дискретизації дозволяла виконувати всі необхідні розрахунки. Чим з більшим порядком чисел доводиться працювати, ти більш значущу частину часу займають математичні розрахунки моделі, що зменшує частоту дискретизації, що може привести до не коректної роботи або припиненню роботи системи в цілому.

Висновки до розділу

У розділі було обрано програмне забезпечення для попереднього конфігурування проекту програмного забезпечення. Обране програмне забезпечення є продуктом компанії виробника контролера який використовується та гарантує високу якість роботи. Також це забезпечує повну сумісність проектів що будуть створені, забезпечує можливість подальшого до конфігурування в графічному редакторі. Це забезпечується спец коментарями, створеними скриптом програми попереднього конфігурування. При зміні налаштувань, весь код що було написано у назначеному місці буде збережено. Компіляція проекту пройшла успішно, помилок не знайдено, створено двійковий код для програмування контролера. Подальша розробка проекту передбачає живу дебагінг на існуючому екземплярі. Під час написання коду було використано структурування елементів за парадигмами Об'єктно Орієнтованого Програмування, що дозволило зберегти високу чистоту та читаємість коду, а також дозволить легко його модифікувати та підтримувати, що необхідно буде робити на етапі налагодження та покращення.

Подальше тестування отриманого коду в програмному забезпеченні показало, що код є працездатним, основні периферії контролеру працюють коректно, а запрограмована математична модель дає на виході очікуваний та коректний результат.

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ

4.1. Опис ідеї проекту

Спроектуювавши модуль системи автоматизованого керування підвіскою двоколісного транспортного засобу, має можливість перейти до створення стартап проекту.

Ідея проекту полягає у створенні системи автоматизованого керування підвіскою велосипеда та продаж її для встановлення на велосипед.

У таблиці 4.1.1 показано зміст ідеї, а також можливі потенційні ринки, на яких варто шукати потенційних клієнтів.

Таблиця 4.1.1. Опис ідеї стартап проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Розробка системи автоматизованого керування підвіскою велосипеда та її універсалізація для встановлення в будь який велосипед.	Автоматизація систем керування процесом	Значне збільшення якості роботи підвіски, та покращення досвіду користування технікою
	Адаптація системи під всі можливі види велосипедів	Зручність встановлення на будь який велосипед
	Гнучкість системи керування	Відсутність необхідності додаткового налаштування системи, система працює «з коробки»

До розробки пропонується система автоматизованого керування підвіскою велосипеда, що завдяки своїй універсальній конструкції, може бути встановлена на будь який велосипед.

У таблиці 4.1.2 приведено аналіз слабких та сильних сторін проекту порівняно з тим, що пропонують конкуренти.

Таблиця 4.1.2. Порівняльний аналіз слабких, нейтральних та сильних сторін проекту

№	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/послуги конкурентів			W (слабк а сторон а)	N (нейтр а-льна сторон а)	S (сильн а сторон а)
		Мій проект	FOX Live	RS Wizard			
1	Вартість конструкції	висока	середн я	середн я	+	—	—
2	Вартість програмного забезпечення	середн я	низька	низька	+	—	—
3	Простота установки	середн я	середн я	низька	—	+	—
4	Якість роботи	висока	низька	низька	—	—	+
5	Адаптивність до конкретного користувача	висока	низька	середн я	—	—	+

6	Простота використання	висока	низька	середня	—	+	—
7	Надійність	висока	висока	низька		+	—
8	Високі показники впливу на спортивні результати	висока	низька	низька	—	—	+
9	Якість гарантійного. Обслуговування.	висока	середня	середня	—	—	+
10	Простота ремонту	висока	середня	низька	—	—	+

Як ми можемо бачити у таблиці 4.1.2, у більшості пунктів розроблювана система має сильні сторони. Проект базується на наданні феноменальної якості роботи, нехтуючи деякими параметрами, такими як простота конструкції або вартість розробки ПО та загалом. Аналогів даної конструкції не існує у світі, конкуренти пропонують лише низько технологічні рішення за високу вартість.

4.2. Технічний аудит ідеї проекту

Проведено технічний аудит для запропонованого проекту (Таблиця 4.2.1), у якому проаналізовано технології, що необхідно використовувати у проекті та визначена їх доступність.

Таблиця 4.2.1. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технології	Доступність технології
---	--------------	--------------------------	----------------------	------------------------

1	Аналіз сигналу з датчиків навантаження	Використання аналогових підсилювачів сигналу	Наявна	Доступна
2		Використання аналогових фільтрів сигналу	Наявна	Доступна
3		Зчитування сигналу за допомогою Аналого-цифрового перетворювача периферії контролера	Наявна	Доступна
4	Комунікація з цифровим інтерфейсом датчика прискорення	Фільтрація та забезпечення відсутності втрат сигналу на відповідній ділянці провідника	Наявна	Доступна
5		Використання необхідних протоколів цифрового обміну даними	Наявна	Доступна
6	Створення програмного коду	Використання програми попереднього конфігурування проекту	Наявна	Програмне забезпечення у відкритому доступі
7		Використання компілятора коду та конфігурації у	Наявна	Програмне забезпечення у

		двійковий машинний код		відкритому доступі
8		Програмування контролеру за допомогу спец програматору та відповідного програмного забезпечення	Наявна	Програмне забезпечення у відкритому доступі, програматори у відкритій продажі та легко купуємі.

Як видно з в таблиці, всі необхідні технології наявні, а всю документацію можна знайти в інтернеті. Також купівля необхідного обладнання та запчастин не складає проблеми. Таким чином проект використовує наявні та перевірені методи, що забезпечує легке проходження технічного аудиту.

4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту

Ринкові можливості проекту є важливою частиною його розробки, також необхідно проаналізувати всі складності, які можуть виникнути при запуску проекту. Такий аналіз зробить можливим коректування ідей проекту заздалегідь, що забезпечить більший комерційний успіх. проекту.

З цією метою проведено аналіз попиту, а саме його наявність, обсяг і розвиток ринку і результати занесено у таблицю 4.3.1:

Таблиця 4.3.1. Попередня характеристика ринку розробленого проекту

№	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість головних гравців, шт	2
2	Загальний обсяг продаж, грн/од	100 000

3	Динаміка ринку	Зростання
4	Наявність обмежень для входу	Необхідна велика кількість рекламних матеріалів та демонстраційні зразки
5	Специфічні вимоги до сертифікації та стандартизації	Відсутні
6	Середня норма рентабельності в галузі	30%

Аналізуючи таблицю 4.3.1, можна сказати, що ринок постійно росте, а з досить високою середньою рентабельністю, можна розраховувати на швидку можливість проекту повернути вкладені кошти.

Визначено групи потенційних клієнтів, а також їх характеристики. Сформовані вимоги у перелік до товару/послуги показано у таблиці 4.3.2:

Таблиця 4.3.2. Характеристика потенційних клієнтів проекту

№	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці	Вимога споживачів
1	Покращення спортивних результатів та досвіду використання двоколісного транспортного засобу	Професійні спортсмени	Звертають увагу тільки на сухі результати.	Покращення спортивного результату – головна ціль.
		Спортсмени аматори	Звертають увагу як на результати, так я на власний досвід використання.	До головної цілі відноситься як покращення спортивних результатів, так і покращення

				досвіду використання.
		Люди, що займаються VELO. спортом	Мало звертають уваги на покращення спортивних моментів, більше зосереджені на власному комфорті.	Для даної категорії головним є досвід використання та збільшення комфорту використання техніки

Як видно з таблиці 4.3.2, Все переслідують різні цілі, а деякі категорії покупців звертають увагу на всі переваги проекту одразу. При цьому середня та остання категорія є найчисленнішими, але вони слідує у довіряють вибору першої категорії. Тому необхідно досягти високої якості в усіх параметрах проекту.

При впровадженні даної технології існують певні фактори загроз. Їх занесено до таблиці 4.3.3:

Таблиця 4.3.3. Фактори загроз проекту

№	Фактор загрози	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Збільшення кількості конкурентів	Через зростання ринку, кількість конкурентів може зростати	Підтримка належної якості продукції дозволить бути кращими серед конкурентів.
2	Програмні проблеми	Проект є досить навантаженим в частині	Збільшення штату персоналу та їх кваліфікації дозволить пришвидшити

		програмного забезпечення, можуть виникати проблеми та глюки.	вирішення технічних проблем або передбачити їх утворення заздалегідь
3	Технічні проблеми	У випадку помилки проектування силових елементів та появи масових поломок	Відкликання бракованої партії та повторне проектування силових елементів більш кваліфікованим персоналом.
4	Поява альтернативного методу керування підвіскою	З часом всі рішення застарівають	Якомога швидше вивчення нових методів керування та впровадження їх в проект.

Роздивимось коло можливостей, що занесено до таблиці 4.3.4:

Таблиця 4.3.4. Фактори можливостей проекту

№	Фактор можливості	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Зменшення конкурентів	Технологічні рішення проекту приваблять велику кількість клієнтів, що значно підвищить рівень конкуренції	Надання пропозиції потенціальному клієнтам про всі переваги взаємодії з нами.

2	Домінація на ринку	Револьюційність технології призводить до монополізації ринку	Надалі покращення надаваних послуг та товару. Розширення ринку, в тому числі у іншу країну.
3	Розвиток	Запропонована технологія має високий потенціал розвитку	Розробка нових моделей та повторна конверсія вже існуючих клієнтів компанії
4	Власне виробництво	При достатньому товарному обороті, власне виробництво	Власне виробництво може значно зменшити собівартість проекту та збільшити прибуток

Роблячи висновок з факторів загроз та можливостей, необхідно зазначити, що швидке реагування на ринок, рішення проблемних ситуацій та використання з'явившись можливостей є важливою частиною стратегії розвитку.

Результати ступеневого аналізу конкуренції на ринку було занесено до таблиці 4.3.5:

Таблиця 4.3.5. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється характеристика	Вплив на діяльність підприємства
Олігополія	Мало компаній конкурентів	Достатня кількість клієнтів для забезпечення існування всіх компаній на ринку
Міжнародна	Продукти компанії актуальні і будуть продаватись в різних країнах	Значне збільшення кількості клієнтів.

Внутрішньогалузева	Використовується рознічним покупцем	Збільшення прибутку за рахунок відсутності ретеїлерів.
Товарно-видова	Конкуренція між видами підвісок транспортного засобу	Знаючи вид продукції, можна розробити стратегію конкурування
Нецінова	Конкуренція за рахунок використання інших методів і технологій	Приділення більшого кількості уваги якості.
Марочна	Бренд має велике значення.	Необхідно покращувати якість бренду в очах клієнтів.

Ступеневий аналіз ринку показав, що важливо підтримувати високу якість продукту та заробляти гарне ім'я бренду для підтримки високого рівня продаж та повторної конверсії клієнтів.

Фактори конкурентоспроможності досліджено та їх обґрунтування, і результати можна побачити у таблиці таблиці 4.3.6:

Таблиця 4.3.6. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності.

№	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1	Якість роботи	Якість роботи пропонуємої системи є на порядок вищою за ті, що пропонують конкуренти.
2	Інноваційна ідея	Ідея і методи що використовуються є інноваційними і не використовуються конкурентами через легасі.

3	Реклама	Дана галузь передбачує видовищне використання приладу, що спрощує створення реклами та покращує її ефект.
4	Адаптація	Система здатна адаптуватися під будь які умови
5	Покращення результатів	Використовуючи продукцію проекту, можна гарантувати кінцевому користувачу покращення спортивних результатів.
6	Досвід використання	Високий рівень якості забезпечує набагато кращий досвід користування продуктом проекту для людей, котрі не вважають результати найважливішою частиною.

Після дослідження факторів конкурентоспроможності можна зробити висновки про сильні та слабкі сторони, які занесено в таблицю 4.3.7:

Таблиця 4.3.7. Порівняльний аналіз сильних і слабких сторін

№	Фактор конкурентоспроможності	Бали	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з проектом						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Якість роботи	20	+						
2	Інноваційна ідея	18				+			
3	Реклама	10			+				
4	Адаптація	18					+		
5	Покращення результатів	18		+					
6	Досвід використання	16			+				

Після дослідження сильних та слабких сторін, можна зробити висновок, що проект цілком конкурентоспроможний завдяки тому, що він покращує роботу того, для чого

був створений, що важливо для спортсменів, а також покращує досвід використання, що важливо для всіх, таким чином покривши повністю всі цільові аудиторії.

На основі даних з таблиць: 4.1.2, 4.3.3, 4.3.4 та 4.3.7, було проведено SWOT-аналіз стартап проекту. Результати показано в таблиці 4.3.8:

Таблиця 4.3.8. SWOT-аналіз стартап проекту

(S) Сильні сторони:	(W) Слабкі сторони:
1. Якість 2. Покращення спортивних результатів 3. Покращення досвіду використання 4. Висока адаптивність 5. Гарантія	1. Вартість 2. Вартість програмного забезпечення 3. Більша складність системи

(O) Можливості:	(T) Загрози:
1. Монополізація ринку 3. Розвиток технологій 5. Відкриття зарубіжного ринку	1. Збільшення конкурентів 2. Конструктивні прорахунки 4. Необхідність швидкої адаптації до ринку та сучасних технологій.

SWOT-аналіз, що приведено вище показав, проект має багато переваг, що значно перекривають всі недоліки, а перспективи розвитку значніші за загрози. При відповідному підході впевнений розвиток та стабільність будуть досягнуті.

На основі таблиці 4.3.8. Результати альтернативного ринкового впровадження проекту можна побачити у таблиці 4.3.9:

Таблиця 4.3.9. Альтернативи ринкового впровадження проекту

№	Альтернатива ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Стратегія покращення сильних сторін	Низька ймовірність, так як проект і так значно випереджає конкурентів	4 – 7 місяців
2	Стратегія розвитку альтернативних напрямків	Ймовірність є високою, бо велосипедистам потрібна не лише підвіска.	7 – 13 місяців
3	Стратегія продажу технології	Є середньою, буде втрачено унікальність проекту	5 – 9 місяців

Із зазначених альтернатив треба обрати стратегію розвитку альтернативних напрямків, так як це сприятиме глобалізації компанії, її розповсюдження та збільшення кількості клієнтів.

4.4. Розробка ринкової та маркетингової програми стратегії проекту

Для максимізації прибутку та пришвидшення розвитку важливо максимально охопити споживчий ринок, забезпечивши його всім необхідним. Виходячи з таблиці 4.3.2, цільовою групою потенційних користувачів є Спортсмени, що займаються велоспортом, в першу чергу це аматори.

Розробка базової стратегії ринку з метою охоплення цільової групи споживачів приведено у таблиці 4.4.1:

Таблиця 4.4.1. Визначення базової стратегії ринку

Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
Стратегія розвитку альтернативних напрямків	Завдяки збільшенню спектра виготовляєм деталей, запчастин та аксесуарів буде охоплено більшу частину ринку.	1. Довіра до бренду 2. Конкурентоспроможна ціна 3. Гарантія 4. Тех підтримка	Стратегія лідерства по якості продукту

Нам базі визначеної стратегії розвитку, було обрано стратегію конкурентної поведінки(Таблиця 4.4.2).

Таблиця 4.4.2. Визначення стратегії конкурентної поведінки

Проект – це першопроходець на ринку?	Шукати нових споживачів чи забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати х-ки товарів конкурентів?	Стратегія конкурентної поведінки
Ні, але впроваджує інноваційні рішення	Поєднання, двох варіантів, рекламна компанія спрямована	Іноді, і засуджувати	Диктування високого

	як на пошук нових клієнтів так і на перехоплення клієнтів конкурентів.	копіювання конкурентами.	стандарту якості продукту.
--	--	--------------------------	----------------------------

Так як запропонована технологія не використовується конкурентами, висока якість товару дозволить стати лідером, що буде диктувати стандарт якості товару.

Розроблено стратегію позиціонування(таблиця 4.4.3).

Таблиця 4.4.3. Визначення стратегії позиціонування

Вимоги до товару	Базова стратегія розвитку	Ключові позиції конкурентоспроможності	Асоціація
Якісна система, що дозволить покращити спортивні результати та досвід користування.	Стратегія лідерства по якості	Високотехнологічна та сучасна система.	Стандарт якості систем автоматизованого керування підвіскою

Проаналізувавши таблиці вище, маємо можливість визначити, що буде ключовими перевагами проекту. Підсумовано результати розрахунків та аналізу конкурентоспроможності товару (Таблиця 4.4.4).

Таблиця 4.4.4. Ключові переваги концепції потенційного товару

Потреба	Вигода, яку пропонує товар/послуга	Ключові переваги над конкурентами
----------------	---	--

Якісна система, що дозволить покращити спортивні результати та досвід користування.	Висока якість, досягнута за рахунок відповідального використання найостанніших технологій.	Неповторна якість роботи, покращення результату на змаганнях, збільшення безпеки та задоволення від використання.
---	--	---

Маючи результати попередніх розрахунків, можна зробити висновок, що основним напрямом проекту буде забезпечення користувача сучасним товаром найвищої якості та закриття в першу чергу потреб ринку спортсменів та аматорів, що бажають покращити свої результати, досвід використання та збільшити безпеку використання велосипеда.

На базі проведених досліджень рівня моделі товару/послуг було заповнено таблицю 4.4.5:

Таблиця 4.4.5. Рівні моделі товару/послуги

Рівні товару	Сутність і складові		
I. Товар за задумом	Система автоматизованого керування підвіскою велосипеда, що забезпечує високий рівень якості роботи підвіски.		
II. Товар у реальному виконанні	Характеристики / властивості	М/Нм*	Вр/Тх/Тл/Ек/Ор**
	1. Висока якість	М	Вр
	2. Покращення спортивних результатів	Нм	Тх, Тл
	3. Збільшення рівня безпеки	Нм	Тх, Тл
	4. Покращення досвіду використання	Нм	Ор
	5. Гарантія		

	Якість: відповідає ДСТУ 3993-2000
	Пакування: повне пакування у коробку з пінопластом відповідно ДСТУ 2887-94
	Марка: BSEC V1.2 від ТОВ «Pankratov Technologies»
III. Товар з підкріпленням	До продажу: допомога в аналізі потребностей та визначенні необхідності встановлення системи.
	Після продажу: Технічна підтримка та гарантійний ремонт в межах гарантійного строку та правил.
Товар буде повністю запатентовано, так як розробка є унікальною	

* М – матеріальна, Нм – не матеріальна характеристика. ** Вр – виробнича, Тх – технічна, Тл – технологічна, Ор – організаційна характеристика.

Аналізуючи досліджених рівнів моделі товару, робимо висновок, що проект у задуму значною частиною співпадає з реальною картиною. Але перед реалізацією необхідно занести деякі зміни, для збільшення обсягу потенційного ринку і як результату, максимізації рентабельності проекту.

Після визначення рівнів моделі товару, було визначення цінові межі, які варто використовувати для встановлення цін на товар. Аналіз цін конкурентних та доходів користувачів продукту і його результати занесено до таблиці 4.4.6:

Таблиця 4.4.6. Аналіз меж встановлення цін

Ціни на товари-замінники	Ціни на товари-аналоги	Доходи групи споживачів	Межі встановлення цін
5 000 грн/од – 200 000 грн/од	10 000 грн/од – 100 000 грн/од	240 000 грн/рік – 2 000 000 грн/рік	50 000 грн/од – 200 000 грн/од

Було визначено діапазон реальної ціни. Так як ми надаємо значні переваги у порівнянні з конкурентами, то ми можемо ставити більші ціни, за конкурентів.

Системи збуту сформовано та приведено у таблиці 4.4.7:

Таблиця 4.4.7. Формування системи збуту

Закупівельна поведінка цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
Покупка товару у роздрібних магазинах та на сайтах	Дроп-шипінг, реалізація та пряма продаж	Україна та інші країни в межах можливої доставки.	Роздрібна торгівля, оптова торгівля.

Роздрібна торгівля є найвигіднішою, бо має найвищі проценти доходу, але необхідно забезпечувати можливість оптової торгівлі для збільшення ринку та розповсюдження ім'я компанії а також точок, де люди можуть придбати товар.

Проведено розробку концепції маркетингових комунікацій (таблиця 4.4.8):

Таблиця 4.4.8. Розробка концепції маркетингових комунікацій

Специфіка поведінки клієнтів	Канали комунікації	Ключові позицій позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Можуть цікавитись товар по необхідності або заради покращення	Інтернет, реклама, роздрібні точки, ліній підтрмки	Найвища якість на ринку, флагман.	Заявити про унікальність і широкий перелік переваг	«Єдиний правильний вибір для досягнення найкращих результаті у всьому, від змагань до безпеки та відпочинку»

			користування продуктом	
--	--	--	---------------------------	--

Найправильнішою стратегією маркетингової комунікації, виходячи з проведеного дослідження є поєднання усіх аспектів, від реклами у точках роздрібної торгівлі і на плакатах, до реклами товару у соціальних мережах та персональних пропозицій для потенційних клієнтів..

Висновки до розділу

У четвертому розділі було розроблено стартап-проект на базі спроектованої системи автоматичного керування підвіскою велосипеда. Завдяки цьому є можливість виведення проекту на ринок то його довгостроково підтримувати. Комерціалізація проекту повинна принести високі прибутки за рахунок гарної націнки на товарі що складає в середньому 30%. Динаміка ринку позитивна, конкуренція досить низька а ринок достатньо великий навіть у Україні, також присутня перспектива подальшого розширення на інші країни. Гарна перспектива впровадження забезпечена легким входом, що забезпечена концепцією проекту.

Також в. обраній сфері наявні альтернативні напрямки, які можуть принести значний дохід а також допомогти в просуванні основного товару. Стратегія розвитку альтернативних напрямків дозволить наповнити ринок популярними позиціями товару, що забезпечить популяризацію бренду та форсування розвитку, або підтримку у важкий час.

Подальше імплементація є доцільною, так як. Висока перспектива проекту, його технологічна новизна є значною перевагою перед конкурентами. Подальший розвиток проекту призведе до збільшення ринку, розвитку нових технологій і подальшому закріпленні статусу компанії як лідеру ринку, виготовляємо товару, як флагману.

ВИСНОВКИ

У дипломному проекті було спроектовано модуль системи автоматизованого керування підвіскою велосипеда. Розглянуто конструктив двоколісного транспортного засобу в цілому, визначено різницю між типами двоколісних транспортних засобів та прийняте рішення розробляти систему автоматизованого керування підвіскою саме на базі велосипеда, через певні переваги, а саме: мала вага, значно менші енергії роботи підвіски, менша ціна на виготовлення прототипу. Було сформовано задачі, які необхідно вирішити та визначено концепцію ідеальної підвіски, до якої необхідно наблизитись.

Було спроектовано центральний обчислювальний блок, вибрано та обґрунтовано центральний обчислювальний модуль, а саме мікроконтролер STM32H7VGT6, сервоприводи та електромагнітні актуатори, що будуть керувати компресіями підвіски, безпосередньо впливаючи на характеристики її роботи. Зворотній зв'язок буде братись з MEMS датчиків, а саме акселерометру та гіроскопу у одному корпусі MPU6050. Інформація з них буде потрапляти у мікроконтролер, та оброблятися за допомогою спроектованої математичної моделі керування підвіскою. Вихідний сигнал буде підсилюватись та потрапляти на вищезазначені виконавчі модулі. Спроектowana математична модель являє собою сукупність ПІД регуляторів для кожної вісі. Приймаючи вхідні параметри, які являють собою інформацію з датчиків, дозволяє отримати вихідний керуючий сигнал, який використовується для встановлення значень відповідних регістрів контролера, що впливають на ШІМ сигнал, яким відбувається керування периферійних виконавчих модулів.

Для керування всім модулем необхідно запрограмувати контролер. Для цього було обрано та обґрунтовано спеціалізоване програмне забезпечення. Спочатку створюється проект в попередній конфігуруванням контролера: всіх шин тактування,

периферії, живлення та програмування. Після конфігурування та генерації проекту можна перейти до розробки коду та реалізації розробленої раніше математичної моделі в відповідному спеціалізованому програмному забезпеченні. Результатом є двійковий код для програмування контролера. Контролер має можливість зв'язуватись з цифровими інтерфейсами обраних датчиків, отримувати данні та відправляти в обробку з використанням математичної моделі, далі йде коригування вихідних сигналів для максимально ефективного керування підвіскою.

Створену математичну модель, що було запрограмовано в контролер необхідно перевірити на адекватність. Для цього у спеціалізованому програмному забезпеченні Proteus було створено схему з контролером, що використовується, а також завантажено в нього відповідний двійковий код, що реалізовує налаштування периферії та математичну модель. В результаті з отриманих даних було побудовано графіки, проаналізувавши які було зроблено висновок про адекватність математичної моделі та коректність налаштування периферії контролера. Додатково отримані графіки було порівняно з графіком перевіреного ПД регулятора, що наглядно показало адекватність вихідних даних, відповідно до вхідних.

Було створено стартап – проект, у якому описана ідея, проведено аналіз ринкових можливостей проекту, розроблено ринкову стратегію та маркетингову стратегію. Проведено SWOT – аналіз який показав життєздатність стартапу, так як переваг та перспектив більше за неділки та небезпеки. Зроблено висновок, що проект є комерційно вигідним та рентабельним у разі його реальної реалізації.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Doria Alberto, Tognazzo Mauro, Cusimano Gianmaria, Bulsink Vera, Cooke Adrian, Koopman Bart, «*Identification of the mechanical properties of bicycle tyres for modelling of bicycle dynamics*», *Vehicle System Dynamics*, Volume 51, Issue 3, 2013, pp.405-420.
- [2] I. Martins, J. Esteves, F. P. da Silva, P. Verdelho, «*Electromagnetics hybrid active-passive vehicle suspension system*», Technical University of Lisbon, Lisbon, Portugal (2015).
- [3] M. Mohammed Bello, A. Y. Babawuro, S. Fatai, «*Active suspension force control with electro-hydraulic actuator dynamics*», *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 10, 23, pp.17327 –17331 (2015).
- [4] B. L. J. Gysen, J. L.G. Janssen, «*Active Electromagnetic Suspension System for Improved Vehicle Dynamics*», *IEEE Transactions On Vehicular Technology*, 59, 3, pp.1156 –1163 (2016).
- [5] R. Rosli, M. Mailah, G. Priyandoko, «*Active Suspension System for Passenger Vehicle using Active Force Control with Iterative Learning Algorithm*», *WSEAS Transactions on Systems and Control*, 9, 2, pp.120 –127 (2014).
- [6] M. Shafie, M. Bellob, R. M. Khan, «*Active Vehicle Suspension Control using Electro Hydraulic Actuator on Rough Road Terrain*», *Journal of Advanced Research in Applied Mechanics*, 9, 1, pp.15 –30 (2015).
- [7] Dawoud Shenouda, Peter Dawoud, «*Serial Communication Protocols and Standards RS232/485, UART/USART, SPI, USB, INSTEON, Wi-Fi and WiMAX*», Conference: Design, Test, Integration & Packaging of MEMS/MOEMS, 2015. MEMS/MOEMS '09.
- [8] C. Lowrie, M.P.Y. Desmulliez, Lars Hoff, Ole Jakob Elle, Erik Fosse, «*MEMS three-axis accelerometer: Design, fabrication and application of measuring heart wall motion*», Conference: Design, Test, Integration & Packaging of MEMS/MOEMS, 2013.

MEMS/MOEMS '09.

- [9] M.M. Moheyldein, A.M.A. El-Tawwab, K.A.A. El-gwwad, M.M.M. Salem, «*An analytical study of the performance indices of air spring suspensions over the passive suspension*», Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences (to be published).
- [10] K. Sim, H. Lee, J.W. Yoon, C. Choi, S.H. Hwang, «*Effectiveness evaluation of hydro-pneumatic and semi-active cab suspension for the improvement of ride comfort of agricultural tractors*», Journal of Terramechanics, 69, pp. 23 –32 (2017)
- [11] В. М. Теслюк, Р. З. Кривий, М. Р. Мельник, «*Автоматизація проектування МЕМС з використанням системи COMSOL : навчальний посібник*», М-во освіти і науки України, Нац. ун-т "Львів. політехніка". – Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2016.
- [12] Локазюк В. М., Савченко Ю. Г., «*Надійність, контроль, діагностика і модернізація периферії: Посібник.*», Видавничий центр «Академія», 2004р.
- [13] Панкратов Є. В, «*Оцінка достовірності інформації з датчиків при функціонуванні системи автоматизованого керування підвіскою*», Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем (МПЗІС-2022).
- [14] Pankratova, N.D., «*Creation of Physical Models for Cyber-Physical Systems. Lecture Notes in Networks and Systems*», 2020. P.68-77. DOI: 10.1007/978-3-030-34983-7.
- [15] Pankratova N.D., Pankratov V.A. «*Evaluation of information reliability sensors of cyber-physical system* », 15 міжнародна науково-практична конференція "Математичне та імітаційне моделювання систем. МОДС '2020 " 29 червня - 01 липня, м Чернігів 2020 р Україна. С.256-260.
- [16] Ulf Kulau, Johannes van Balen, Sebastian Schildt, Felix Busching and Lars Wolf. «*Dynamic Sample Rate Adaptation for Long-Term IoT Sensing Applications*», Institute of Operating Systems and Computer Networks, 2016.
- [17] Pankratova N.D., «*System strategy for guaranteed safety of complex engineering systems* », Cybernetics and System Analysis, 2010, 2(46), 243-251.