

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

Навчально-науковий інститут аерокосмічних технологій

Кафедра авіа- та ракетобудування

«На правах рукопису»
УДК 629.735.33

До захисту допущено:
В. о. завідувача кафедри
_____ Петро ЛУК'ЯНОВ
«__» _____ 2024 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

за освітньо-професійною програмою «Літаки і вертольоти»

зі спеціальності 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»

**на тему: «Система скидання вантажу квадрокоптера спеціального
призначення»**

Виконав:

студент II курсу другого (магістерського) рівня, групи АЛ-21мп
Радченко Сергій Валерійович _____

Керівник:

старший викладач кафедри АРБ, к.т.н.
Конотоп Дмитро Ігорович _____

Рецензент:

доцент кафедри СКЛА, к.т.н., доцент
Бобков Юрій Володимирович _____

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

Київ – 2024 року

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Навчально-науковий інститут аерокосмічних технологій
Кафедра авіа- та ракетобудування

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – **134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»**

Освітньо-професійна програма «**Літаки і вертольоти**»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. завідувача кафедри

_____ Петро ЛУК'ЯНОВ

«___» _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Радченку Сергію Валерійовичу

1. Тема дисертації «Система скидання вантажу квадрокоптера спеціального призначення», науковий керівник дисертації старший викладач кафедри Конотоп Дмитро Ігорович, к.т.н., затверджені наказом по університету від «___» _____ 2023 р. № _____
2. Термін подання студентом дисертації 26 грудня 2023 р.
3. Об'єкт дослідження: Система скидання вантажу за заданим координатами
4. Вихідні дані: Вага скидальної системи – 84,57 г.
Розмір скидальної системи – 107х100 х93 мм.
Максимальне навантаження – до 8 кг.
Швидкість квадрокоптера – 25 км/год
5. Перелік завдань, які потрібно розробити:
 - 5.1. Огляд сучасних квадрокоптерів спеціального призначення
 - 5.2. Розробка експериментальної моделі скидального механізму
 - 5.3. Вимоги до надійності та експлуатаційної якості скидального механізму
 - 5.4. Розробка і установка датчиків положення літального апарату
 - 5.5. Способи керування квадрокоптером та механізмом скидання
 - 5.6. Опис технічного обслуговування скидального механізму
 - 5.7. Розробка стартап-проекту

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

6.1. Вибір аналогу скидального механізму квадрокоптера

6.2. Система контролю положення літального апарату та навантаження

6.3. Результати розрахунку надійності системи

6.4. Порівняння розробленої системи з існуючими аналогами

6.5. Система скидання спеціального навантаження квадрокоптера (Складальний кресленик)

6.6. Стартап проект

7. Орієнтовний перелік публікацій:

7.1. Стаття у фаховому виданні

7.2. Доповідь на науково-технічній конференції з публікацією тез

8. Дата видачі завдання 08.11. 2022 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Огляд сучасних квадрокоптерів спеціального призначення	до 15.12.2022 р.	
2.	Розробка експериментальної моделі скидального механізму	до 01.02.2023 р.	
3.	Вимоги до надійності та експлуатаційної якості скидального механізму	до 21.03.2023 р.	
4.	Розробка і установка датчиків положення літального апарату	до 03.06.2023 р.	
5.	Опис способів керування квадрокоптером та механізмом скидання	до 20.10.2023 р.	
6.	Опис технічного обслуговування скидального механізму	до 27.11.2023 р.	
7.	Розробка стартап-проекту	до 15.12.2023 р.	
8.	Оформлення пояснювальної записки та ілюстративного матеріалу. Попередній захист	до 26.12.2023 р.	
9.	Доопрацювання матеріалів дисертації. Перевірка на плагіат	до 10.01.2024 р.	

Студент _____

Сергій РАДЧЕНКО

Науковий керівник _____

Дмитро КОНОТОП

Реферат

Актуальність обраної теми.

Після початку повномасштабного вторгнення російської федерації на територію України велику популярності набула розвідка, доставка вантажу та знищення техніки та особового складу ворога за допомогою FPV дронів. Разом з розвитком FPV дронів активно почали розвиватись механізми скидання.

Метою магістерської роботи була розробка механізму скидання для квадрокоптера який поєднає в собі простоту, широкі можливості до модернізації, легкість обслуговування, доволі значну вагу корисного навантаження та що саме головне низьку вартість виготовлення установки та її універсальність.

Об'єкт дослідження: Квадрокоптер спеціально призначення. Предмет дослідження: система скидання вантажу квадрокоптера спеціального призначення.

Відповідного для найліпшого сприйняття та розуміння розробки механізму скидання було проаналізовано наявні аналоги скидальних механізмів, цінову політику для готових варіантів квадрокоптерів спеціального призначення та додаткових компонентів необхідних для виконання проекту.

В даній роботі було проведено розрахунок міцності розробленого механізму скидання, представлено 3 D модель проекту та відповідно до даної моделі було виготовлено експериментальний зразок скидального механізму для квадрокоптера спеціального призначення. Відповідно тема роботи пов'язана з численними науковими програмами, планами та темами що розробляються на кафедрі.

Для повної реалізації проекту та його мети було виконано ретельний аналіз аналогів скидальних механізмів квадрокоптерів спеціального призначення, аналіз сервоприводів які використовуються в скидальних

механізмах подібного типу та аналіз керуючих систем. Було розроблено 3D модель скидального механізму з обраного матеріалу-пластику, було проведено графічний розрахунок міцності конструкції з різною вагою корисних навантажень.

Також було визначено основне призначення скидального механізму, по його форм-фактор. Об'єктом дослідження магістерської дисертації є розробка скидального механізму який буде повністю відповідати всім зазначеним вище критеріям.

Особливим внеском здобувача є розроблена модель скидального механізму який буде доступний кожному бажаючому, матиме тривалий час використання та буде зручним для обслуговування та модернізації.

Магістерська дисертація » включає в себе: 129 сторінки, 71 ілюстрацій, 20 таблиць, 42 використаних джерел та 2 додатків.

Представлення отриманих результатів магістерської роботи були викладені в наукових конференціях, таких як:

- “INTELLIGENCE. INTEGRATION. RELIABILITY”
- так само наразі робота знаходиться в стадії друку в журналі “Механіка гіроскопічних систем”

Ключові слова в роботі: квадрокоптер, скидальний механізм, корисне навантаження та 3D модель.

Abstract

Relevance of the chosen topic.

After the beginning of the full-scale invasion of the Russian Federation on the territory of Ukraine, cargo delivery and destruction of enemy equipment and personnel with the help of FPV drones became very popular. Along with the development of FPV drones, reset mechanisms began to be actively developed. The goal of the master's thesis was the development of a reset mechanism for a quadcopter that combines simplicity, wide possibilities for modernization, ease of maintenance, a fairly significant weight of the payload and, most importantly, the low cost of manufacturing the installation and its versatility.

Accordingly, for the best perception and understanding of the development of the reset mechanism, the existing analogues of the reset mechanisms, the price policy for ready-made versions of special-purpose quadcopters and additional components necessary for the implementation of the project were analyzed.

Object of research: Special purpose quadcopter. The subject of the research: the system of unloading cargo of a special-purpose quadcopter.

In this work, an analysis of the strength of the developed reset mechanism was carried out, a 3D model of the project was presented, and an experimental sample of the reset mechanism for a special purpose quadcopter was made according to this model. Accordingly, the topic of the work is related to numerous scientific programs, plans and topics developed at the department.

For the full implementation of the project and its purpose, a thorough analysis of analogues of special-purpose quadcopter reset mechanisms, an analysis of servo drives used in similar pit reset mechanisms, and an analysis of control systems were performed.

A 3D model of the reset mechanism was developed from the selected plastic material, a graphic calculation of the strength of the structure with different weights of payloads was carried out.

Also, the main purpose of the reset mechanism, according to its form factor, was determined. The object of research of the master's thesis is the development of a reset mechanism that will fully meet all the above criteria.

The special contribution of the acquirer is the developed model of the reset mechanism that will be available to everyone, will have a long time of use and will be convenient for maintenance and modernization.

Master's thesis » includes: 129 pages, 71 illustrations, 20 tables, 42 used sources and 2 appendices.

Presentations of the obtained results of the master's work were presented at scientific conferences, such as:

- "INTELLIGENCE. INTEGRATION. RELIABILITY"
- also, the work is currently being published in the journal "Mechanics of Gyroscopic Systems"

Key words in the work: quadcopter, reset mechanism, payload and 3D model.

Зміст

Вступ	10
1.Огляд сучасних квадрокоптерів спеціального призначення.....	19
1.1. Загальний огляд моделей квадрокоптерів	19
1.2. Огляд характеристик квадрокоптерів спеціального призначення	22
Висновок по розділу	34
2. Розробка експериментальної моделі скидального механізму.....	35
2.1. Вибір сервоприводу для установки	36
2.2. Вибір матеріалу для виготовлення скидального механізму	38
2.3. Графічний розрахунок надійності системи	40
2.4. Приклади 3D моделей розробленого механізму скидання	44
2.5. Підготовка до 3D друку моделі	46
2.6. Результати 3D друку	50
Висновок по розділу	54
3. Вимоги до надійності та експлуатаційної якості механізму.....	55
3.1 Загальна інформація щодо надійності та експлуатаційної якості	55
Висновки по розділу	58
4. Розробка і установка датчиків положення літального апарату.....	59
4.1. Огляд представлених гіроскопів	59

4.2. Огляд представлених акселерометрів	66
4.3. Огляд представлених магнітометрів	70
4.4. Вибір датчиків положення ЛА для реалізації проекту	79
Висновок по розділу	81
5. Способи керування квадрокоптером та скидальним механізмом .	82
5.1. Загальна інформація щодо способів керування	82
5.2. Порівняння аналогових та цифрових систем керування	83
Висновки по розділу	97
6. Опис технічного обслуговування скидального механізму	98
6.1. Основні принципи обслуговування скидального механізму	98
6.2. Опис процесу обслуговування	99
Висновок по розділу	101
7. Розробка стартап-проекту	102
7.1. Опис стартапу та його ідеї	103
7.2. Технологічний аудит ідеї розробленого проекту	104
7.3 Аналіз ринкових можливостей реалізації та запуску проекту	107
7.4 SWOT-АНАЛІЗУ проекту	113
7.5. Розробка стратегії для виведення механізму на ринок збуту	116
7.6. Розробка рекламної компанії та маркетингової складової стартапу	119
Висновок по розділу	122
ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ	123
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	124

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А..... 128

ДОДАТОК Б..... 129

Вступ

Квадрокоптери спеціального призначення з механізмом скидання – це один з найпопулярніших видів літальних апаратів (надалі ЛА), який зазвичай є вузькоспеціалізованим та призначених для доставки різноманітних вантажів до важкодоступних місць.[1]

За основу даного сегменту ЛА було взято спеціально-призначений механізм скидання, одною з найперших завдань якого є скидання вантажів в заздалегідь визначених або встановлених місцях згідно з координатами або ж у відповідних точках скидання що знаходяться у візуальній їх видимості

Загалом квадрокоптери з механізмом скидання використовуються в наступних сферах[5]:

- Доставка різних вантажів: ЛА з механізмом скидання можуть виконувати доставку продуктів харчування, медикаментів, військового обладнання та ін. Квадрокоптери можуть бути оснащені різними типами механізмів які будуть описані далі.- Доставка обладнання будь-якого призначення: ЛА з механізмом скидання впевнено можуть виконувати доставку дронів меншого розміру, камер та будь-якого обладнання що не перевищує вантажопідйомність зазначеного ЛА.
- Знешкодження пожеж в важкодоступних місцях розповсюдження вогню: ЛА з механізмом скидання виконують доставку матеріалів для усунення пожежі таких як вода, піна, порошок для гасіння та ін.

ЛА можуть бути оснащені спеціальним механізмом скидання що дозволить так само гасити пожежі методом безпосереднього розпилення пожежогасних матеріалів.

- Медична допомога: ЛА з механізмом скидання виконують доставку медичних препаратів, таких як вакцини, кров та ін. Також ЛА можуть бути оснащені спеціальними скидальними механізмами, метою яких є безпечна та швидка доставка лікарського обладнання в важкодоступні місця в яких відсутній доступ до медичної допомоги.

ЛА з механізмом скидання складаються з наступних конструктивних елементів:

- Корпус (рама квадрокоптера): забезпечує міцність ЛА і стійкість до навантажень під час польоту. (Приклади корпусів квадрокоптерів відображені на рис. 1-3)



Рис.1 Приклад рами квадрокоптера



Рис.2 Приклад рами квадрокоптера



Рис. 3 Приклад рами квадрокоптера

- Пропелери: Дана частина ЛА забезпечує його підйомну силу. (Показник підйомної сили може змінюватись в залежності від характеристик пропелера. Приклади відображені на рис. 4-5)

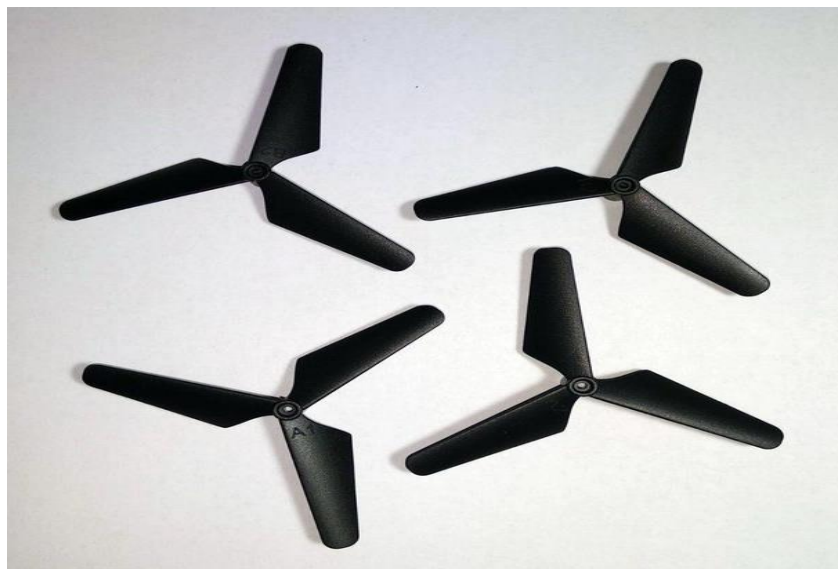


Рис 4. Приклад пропелерів для квадрокоптера



Рис 5. Приклад пропелерів для квадрокоптера

- Система управління ЛА: Забезпечує керування квадрокоптером та складається з контролера, датчиків та двигунів.

Контролер – один з головних компонентів системи управління, відповідає за обробку отриманої від датчиків інформації. (приклади контролерів зображені на рис. 6-8)



Рис. 6 Приклад контролера від компанії Betaflight



Рис. 7 Приклад контролера від компанії Matek



Рис. 8 Приклад контролер від компанії Pixhawk®

Датчики [19] – пристрої призначені для визначення стану квадрокоптера, таких як його положення, швидкості та прискорення. Основними датчиками ЛА є гіроскоп, акселерометр, магнітний компас, барометр та GPS- приймач. Сукупність даних датчиків дозволяє успішно виконувати план польоту.

Двигуни – пристрої за допомогою яких забезпечується рух ЛА.

Зазвичай на ЛА встановлюють двигуни двох типів, а саме бензинові або електричні.

Електричні двигуни є одними з найпоширеніших двигунів які встановлюються на квадрокоптери. Вони живляться від літєвих батарей які забезпечують достатню потужність для польоту на невеликі відстані.

Бензинові двигуни забезпечують більшу потужність ніж електричні однак дані двигуни більш гучні та потребують складнішого обслуговування.

В сукупності всі ці три елементи системи управління забезпечують безвідмовний політ ЛА, а саме на основі отриманої інформації від датчиків та пульту керування, польотний контролер обчислює потрібні команди для двигунів.

В залежності від отриманих команд двигуни можуть обертатись в різні боки, що дозволить ЛА рухатись в необхідному напрямку.

Система управління квадрокоптером наразі є складною та високоточною системою, що дозволяє виконувати складні маневри, такі як зависання в повітрі, політ в необхідному напрямку та посадка.

Основними функціями системи управління та датчиків ЛА є:

- Затримка квадрокоптера в положенні рівноваги: Система управління в сукупності з датчиками постійно контролює положення ЛА та в разі необхідності вносить коригування в його положення для запобігання звалювання.

- Коригування та управління рухом квадрокоптера: Система управління ЛА дозволяє квадрокоптеру рухатись в заданому напрямку та запобігає його відхиленню.

- Контроль швидкості квадрокоптера: Система управління ЛА дозволяє контролювати швидкість квадрокоптера та змінювати її за необхідністю.

- Контроль висоти квадрокоптера: Система управління ЛА дозволяє контролювати висоту польота квадрокоптера та змінювати її за необхідністю.

Коригування кутів повороту квадрокоптера: Система управління ЛА дозволяє контролювати кути повороту квадрокоптера та змінювати їх за необхідністю.

Наразі є два основних види систем управління ЛА:

- Аналогові системи – використовую аналогові датчики та контролери. Вони є менш точними та складними за цифрові системи управління.

- Цифрові системи - використовую аналогові датчики та контролери. Вони є більш точними та складними за аналогові системи управління.

Система електроживлення: Система живлення ЛА забезпечує живлення необхідних систем квадрокоптера для реалізації його польота.

Скидальний механізм квадрокоптера: Сукупність механізмів призначених для скидання визначеного вантажу та забезпечують безпечне та ефективне його скидання.

Існує декілька типів скидальних механізмів, такі як механічні, пневматичні та гідравлічні.

- Механічні механізми скидання є найпростішими та найпоширенішими механізмами та працюють за рахунок механічного зусилля що використовується для відкриття люльки, в якій знаходиться вантаж або обладнання.

- Пневматичні механізми скидання функціонують за рахунок стиснення повітря після чого слідує відкриття люльки та скидання відповідного вантажу. Дані системи вважаються більш надійними та точними за механічні системи скидання.

- Гідравлічні системи скидання – функціонують шляхом використання гідравлічної рідини для відкриття люльки. Вважається що дані системи є найбільш надійними та ефективними однак встановлення даних систем є найдорожчим з огляду на обслуговування та саму вартість системи.

ЛА з механізмом скидання мають велику кількість переваг над іншими видами квадрокоптерів які використовуються для доставки вантажів.

Ось деякі з них:

- Виконання доставки вантажу в важкодоступні місця
- Більша швидкість виконання доставки в порівнянні з ЛА які не мають скидального механізму.

- Економічна складова – з фінансового боку обслуговування механізму скидання на ЛА є більш економічним за обслуговування квадрокоптерів без скидального механізму.

Однак ЛА з механізмом скидання також мають ряд недоліків:

- Велика вартість механізму – розробка подібного виду скидального механізму та перехід до його конвеєрного виготовлення займає велику кількість часу та відповідно ще більшу фінансових ресурсів.

- Використання скидальних механізмів в ЛА потребує постійного технічного обслуговування для збереження характеристик установки.

- Можливі ризики при використанні механізму – оскільки при використанні ЛА з механізмом скидання необхідні відповідні знання та вміння при керуванні ЛА за їх відсутності значно збільшується кількість нещасних випадків.

З огляду на всі недоліки та переваги можна зазначити що ЛА з механізмом скидання широко використовуються в різних сферах.

Через стрімкий ріст популярності ЛА з механізмів скидання було визначено відповідну класифікацію даних.

Квадрокоптери з механізмом скидання класифікують за наступними параметрами:

- Вантажопідйомність: Наразі було визначено декілька видів ЛА в залежності від вантажопідйомності, а саме квадрокоптери з невеликою вантажопідйомністю (до 5 кг), квадрокоптери з середньою вантажопідйомністю (від 5 до 50 кг) та квадрокоптери з великою вантажопідйомністю (понад 50 кг).

- Точність скидання вантажу: Наразі було визначено декілька видів ЛА в залежності від точності скидання вантажу, а саме ЛА з високою точністю скидання (до кількох метрів), з середньою точністю скидання (від кількох метрів до декількох десятків метрів) та квадрокоптери з низькою точністю скидання (понад декілька десятків метрів).

- Швидкість спрацювання механізму або швидкість скидання вантажу: Наразі було визначено декілька видів ЛА в залежності від швидкості скидання вантажу, а саме ЛА з високою швидкістю скидання (до 10 секунд), з середньою швидкістю скидання (від 10 секунд до 30 секунд) та з низькою швидкістю скидання (понад 30 секунд).

- Також квадрокоптери з механізмом скидання класифікують відповідно до типу скидального механізму: ЛА з механічним типом скидального механізму, ЛА з пневматичним типом скидального механізму, ЛА з гідравлічним типом скидального механізму.

Відповідно до зазначеної вище класифікації ЛА з механізмом скидання було визначено конструктивні особливості побудови квадрокоптерів.

Основними конструктивними особливостями ЛА з механізмом скидання є:

- Особливість в побудові ЛА в залежності від розміру та форми: даний параметр конструкції на пряму впливає на польотні характеристики квадрокоптера, такі як їх вантажопідйомність, точність скидання та відповідно швидкість спрацювання механізму.

- Особливість в кількості двигунів в ЛА: квадрокоптери з механізмом скидання можуть мати 4, 6 або 8 двигунів, що безпосередньо впливає на маневреність та надійність квадрокоптера.

- Особливість в побудові ЛА в залежності від матеріалу їх виготовлення: квадрокоптери з механізмом скидання наразі виготовляють з різних матеріалів, таких як пластик, алюміній або композитні матеріали, матеріал з якого виготовляють ЛА безпосередньо впливає на його міцність та вагу.

- Особливість в побудові ЛА в залежності від технологій на основі яких побудований квадрокоптер, а саме системи позиціонування, система спостереження та система управління.

- Квадрокоптери з механізмом скидання зазвичай оснащують двома системами позиціонування такими як GPS або ГЛОНАСС, дані системи визначають точне положення та місцезнаходження ЛА.

- Квадрокоптери з механізмом скидання оснащують такими системами спостереження як камери або радары, що дозволяє ЛА отримувати інформацію щодо навколишнього середовища під час польоту або в стані спокою.

- Квадрокоптери з механізмом скидання оснащують наступними системами управління. Вони можуть бути ручними, автоматичними або комбінованими.

- Ручні системи управління побудовані на основі управління ЛА безпосередньо пілотом та пультом керування.

Висновок по розділу: Відповідно до вищезазначеної інформації можемо зробити висновок що квадрокоптери з механізмом скидання мають велику кількість модифікацій та їх застосувань, що дозволяє даному ЛА впевнено займати місце в ніші необхідних квадрокоптерів.

1. Огляд сучасних квадрокоптерів з спеціального призначення.

Зі збільшенням користувацьких потреб в доставці вантажів та збільшенням військових конфліктів в світі набули популярність цивільні та військові квадрокоптери з механізмом скидання. На сучасному ринку ЛА спостерігається широкий спектр квадрокоптерів.

Одними з передових компаній по серійному виготовленню ЛА з механізмом скидання є компанії DJI, 3DR та Autel Robotics.

1.1. Загальний огляд моделей квадрокоптерів

DJI [6] – це китайська компанія, світовий літер в розробці та серійному виготовленні квадрокоптерів як цивільних, так і спеціального призначення. Одними з найпрогресивніших моделей компанії є Mavic 3 Enterprise (рис. 1.1), Matrice 300 RTL (рис. 1.2) та Inspire 2 (рис. 1.3).



Рис. 1.1 Mavic 3 Enterprise



Рис. 1.2 Matrice 300 RTL



Рис. 1.3 Inspire 2

3DR[26] – це американська компанія стоїть на початку історії виготовлення ЛА з механізмом скидання. Найпопулярніші моделі квадрокоптерів з механізмом скидання SOLO(рис. 1.4) та X-4(рис. 1.5).



Рис. 1.4 SOLO



Рис. 1.5 X-4

Autel Robotics [2]– це китайська компанія, один з найбільших конкурентів компанії DJI у сфері серійного виробництва квадрокоптерів(включаючи

квадрокоптери з механізмом скидання). Найпрогресивніші моделі ЛА з механізмом скидання є Autel Evo II(рис. 1.6) та Autel Dragonfish(рис. 1.7).



Рис. 1.6 Autel Evo II



Рис. 1.7 Autel Dragonfish

Не зважаючи на зазначені вище моделі передових компаній по серійному виготовленню квадрокоптерів з механізмом скидання існують моделі ЛА з механізмом скидання які мають більшу кількість переваг над моделями відомих компаній. Такими моделями ЛА є DJI Matrice 210 RTK(рис. 1.8), Autel Robotics EVO II(рис. 1.10), Parrot Anafi Ai (рис. 1.12), Skydio 2 (рис. 1.16), Yuneec H520(рис. 1.14). Нижче наведена характеристика даних моделей.

1.2. Огляд характеристик квадрокоптерів спеціального призначення

DJI Matrice 210 RTK [6]– один з найпопулярніших ЛА з механізмом скидання який входить в сегмент професійних. Призначений для виконання складних задач. Основними завданнями даного ЛА є гасіння пожеж в

важкодоступних місцях, доставка вантажів, медична допомога та розвідка місцевості.

Характеристики ЛА :

- Скидальний механізм квадрокоптера включає в себе механічний скидальний механізм з пневматичним гальмом (запобіжником).

Максимально вантажопідйомність ЛА – 6 кг що перевищує вантажопідйомність деяких професійних моделей.

- При повному заряді акумуляторів максимальний час польоту складає до 40 хвилин в режимі повного навантаження.

- На жаль через велику вартість ЛА його популярність зменшується – наразі вартість даного квадрокоптера становить від 20 000 \$ в базовій комплектації.



Рис. 1.8 - DJI Matrice 210 RTK

Скидальний механізм DJI Matrice 210 RTK (рис. 1.9) являє собою корпус який виготовлений з міцного пластику та має особистий захист від чинників які можуть пошкодити корисне навантаження яке транспортує ЛА з механізмом скидання. Наразі максимальна вага корисного навантаження яке має транспортувати даний квадрокоптер становить до 10 кг.

Пневматичний привід скидального механізму побудований таким чином щоб забезпечити плавне його відвантаження та точне його скидання.

Також даний механізм обладнаний відповідними методами безпеки для запобігання випадкового скидання вантажу, весь перелік запобіжних дій описаний в керівництві керування ЛА, який йде в комплекті до квадрокоптера.

Оскільки даний ЛА входить в перелік квадрокоптерів з найвищим ціновим сегментом розроблений механізм скидання має ряд особливостей та переваг над конкурентами, а саме

- Однією з особливостей скидального механізму даного ЛА є його електричний привід який забезпечує плавне відвантаження вантажу та його точне скидання.
- Також компанія DJI розробила безвідмовні механізми безпеки які запобігали випадковому спрацюванню механізму.
- Також особливістю даного механізму є доволі велика вантажопідйомність яка становить до 10 кг, однак її можна обумовити доволі великою ціною на ЛА в базовій комплектації.



Рис.1.9 DJI Matrice 210 RTK разом зі скидальним механізмом

Autel Robotics EVO II [2]– один з найвисокопродуктивніших ЛА з механізмом скидання який так само входить в сегмент професійних як і минула модель. Призначений для виконання складних задач. Основними завданнями даного ЛА є відеозйомка в важкодоступних місцях та відвантаження відео апаратури, доставка вантажів та розвідка місцевості.

Характеристики ЛА :

- Скидальний механізм квадрокоптера включає в себе механічний скидальний механізм з пневматичним гальмом (запобіжником).
- Максимально вантажопідйомність ЛА – 2,7 кг.

- При повному заряді акумуляторів максимальний час польоту складає до 40 хвилин в режимі повного навантаження.

На жаль через велику вартість ЛА його популярність зменшується – наразі вартість даного квадрокоптера становить від 10 000 \$ в базовій комплектації.



Рис. 1.10 Autel Robotics EVO II

Скидальний механізм Autel Robotics EVO II (рис. 1.11) являє собою корпус який виготовлений з міцного пластику в формі трапеції та має особистий захист від чинників які можуть пошкодити корисне навантаження яке транспортує ЛА з механізмом скидання. Наразі максимальна вага корисного навантаження яке має транспортувати даний квадрокоптер становить до 6 кг.

- Пневматичний привід скидального механізму побудований таким чином щоб забезпечити плавне його відвантаження та точне його скидання.

- Також даний механізм обладнаний відповідними методами безпеки для запобігання випадкового скидання вантажу, весь перелік запобіжних дій описаний в керівництві керування ЛА, який йде в комплекті до квадрокоптера і розміщений на сайті Autel Robotics. Так само на передній частині скидального механізму розташований сам механізм, а на задній частині розташовані елементи безпеки установки.

Оскільки даний ЛА входить в перелік квадрокоптерів з середнім ціновим сегментом розроблений механізм скидання має ряд особливостей та переваг над конкурентами, а саме

- Однією з особливостей скидального механізму даного ЛА є його електричний привід який забезпечує плавне відвантаження вантажу та його точне скидання та однією з переваг також є швидке від'єднання механізму від рами квадрокоптера без використання допоміжних інструментів.

Також компанія Autel самостійно розробила безвідмовні механізми безпеки які запобігали випадковому спрацюванню механізму та скиданню корисного навантаження.

Також особливістю даного механізму є доволі значна вантажопідйомність в порівнянні з іншими квадрокоптерами середнього розміру яка становить до 6 кг.



Рис. 1.11 Скидальний механізм Autel Robotics EVO II

Parrot Anafi Ai [13]– один з компактних та легких ЛА з механізмом скидання Призначений для виконання складних задач однак його вантажопідйомність обмежена. Основними завданнями даного ЛА є доставка вантажів невеликої ваги, медикаментів, невеликого обладнання та розвідка місцевості.

Характеристики ЛА :

- Скидальний механізм квадрокоптера включає в себе механічний скидальний механізм з пневматичним гальмом (запобіжником).

Максимально вантажопідйомність ЛА – до 2 кг.

- При повному заряді акумуляторів максимальний час польоту складає до 30 хвилин в режимі повного навантаження.

-Наразі вартість даного квадрокоптера становить від 6 000 \$ в базовій комплектації.



Рис. 1.12 Parrot Anafi AI

Скидальний механізм Parrot Anafi Ai (рис. 1.13) являє собою корпус який виготовлений з міцного пластику в формі трапеції та має особистий захист від чинників які можуть пошкодити корисне навантаження яке транспортує ЛА з механізмом скидання. Наразі максимальна вага корисного навантаження яке має транспортувати даний квадрокоптер становить до 2 кг. Однак дана вантажопідйомність все ж таки є конкурентною в категорії малих квадрокоптерів з механізмом скидання.

Гідравлічний привід скидального механізму побудований таким чином щоб забезпечити плавне його відвантаження та точне його скидання та складається з двох гідроциліндрів які приєднані до міцних тросів. Для забезпечення безпеки скидання троси які йдуть від гідроциліндрів кріпляться до особисто розробленого компанією замку без відкриття якого корисне навантаження не покине механізм скидання.

Також даний механізм обладнаний відповідними методами безпеки для запобігання випадкового скидання вантажу, весь перелік запобіжних дій описаний в керівництві керування ЛА, який йде в комплекті до квадрокоптера та розміщений на сайті Parrot.

Оскільки даний ЛА входить в перелік квадрокоптерів з середнім ціновим сегментом розроблений механізм скидання має ряд особливостей та переваг над конкурентами, а саме

- Однією з особливостей скидального механізму даного ЛА є його гідравлічний привід (конструкція даного механізму була описана раніше в доповіді) який забезпечує плавне відвантаження вантажу та його точне скидання та однією з переваг також є швидке від'єднання механізму від рами квадрокоптера без використання допоміжних інструментів.

- Також компанія Parrot самостійно розробила безвідмовні механізми безпеки у вигляді замка який тримає троси механізму скидання та які запобігають випадковому спрацюванню механізму та скиданню корисного навантаження.

- Також особливістю даного механізму є доволі значна вантажопідйомність в порівнянні з іншими квадрокоптерами доволі маленького розміру яка становить до 2 кг.

- Через вдало підібрані матеріали з яких виконано квадрокоптер та установку скидання конструкція має доволі великий термін служби.



Рис. 1.13 Parrot Anafi AI разом зі скидальним механізмом

Yuneec H520 [27] – квадрокоптер з сегменту професійних квадрокоптерів з механізмом скидання. Призначений для виконання складних задач. Основними завданнями даного ЛА є доставка вантажів середньої ваги, медикаментів, обладнання, гасіння невеликих пожеж та розвідка місцевості.

Характеристики ЛА :

- Скидальний механізм квадрокоптера включає в себе гідравлічний скидальний механізм з пневматичним гальмом (запобіжником).

Максимально вантажопідйомність ЛА – до 6 кг.

- При повному заряді акумуляторів максимальний час польоту складає до 30 хвилин в режимі повного навантаження.

- На жаль через велику вартість ЛА його популярність зменшується – наразі вартість даного квадрокоптера становить від 12 000 \$ в базовій комплектації.



Рис. 1.14 Yuneec H520

Скидальний механізм Yuneec H520 (рис. 1.15) являє собою корпус який виготовлений з міцного пластику та має особистий захист від чинників які можуть пошкодити корисне навантаження яке транспортує ЛА з механізмом скидання. Наразі максимальна вага корисного навантаження яке має транспортувати даний квадрокоптер становить до 6 кг.

Однак дана вантажопідйомність все ж таки є конкурентною в категорії середньорозмірних квадрокоптерів з механізмом скидання.

Гідравлічний привід скидального механізму побудований таким чином щоб забезпечити плавне його відвантаження та точне його скидання та складається з двох гідроциліндрів які приєднані до міцних тросів. Для забезпечення безпеки скидання троси які йдуть від гідроциліндрів кріпляться до особисто розробленого компанією замку без відкриття якого корисне навантаження не покине механізм скидання. Схожу конструкцію скидального механізму в ЛА ми можемо спостерігати в квадрокоптері Parrot Anafi Ai.

Також даний механізм обладнаний відповідними методами безпеки для запобігання випадкового скидання вантажу, весь перелік запобіжних дій описаний в керівництві керування ЛА, який йде в комплекті до квадрокоптера іа розміщений на сайті Yuneec.

Оскільки даний ЛА входить в перелік квадрокоптерів з високим ціновим сегментом розроблений механізм скидання має ряд особливостей та переваг над конкурентами, а саме

- Однією з особливостей скидального механізму даного ЛА є його гідравлічний привід (конструкція даного механізму була описана раніше в доповіді) який забезпечує плавне відвантаження вантажу та його точне скидання та однією з переваг також є швидке від'єднання механізму від рами квадрокоптера з використанням лише викрутки в якості додаткового інструменту.

- Також компанія Yuneec самостійно розробила безвідмовні механізми безпеки у вигляді замка який тримає троси механізму скидання та які запобігають випадковому спрацюванню механізму та скиданню корисного навантаження. Схожу конструкцію механізму в квадрокоптері ми можемо спостерігати в ЛА Parrot Anafi Ai.

- Також особливістю даного механізму є доволі значна вантажопідйомність в порівнянні з іншими квадрокоптерами середнього розміру яка становить до 6 кг.

- Через вдало підібрані матеріали з яких виконано квадрокоптер та установку скидання конструкція має доволі великий термін служби.



Рис. 1.15 Yuneec H520 укомплектований скидальним механізмом

Skydio 2 [14] – один з представників автономних квадрокоптерів. Основними завданнями даного ЛА є доставка вантажів невеликої ваги в складних умовах, гасіння лісових пожеж та розвідка місцевості на рахунок пошкодження після стихійного лиха.

Характеристики ЛА :

- Скидальний механізм квадрокоптера включає в себе механічний скидальний механізм з пневматичним гальмом (запобіжником).

Максимально вантажопідйомність ЛА – до 6 кг.

- При повному заряді акумуляторів максимальний час польоту складає до 30 хвилин в режимі повного навантаження.

- На жаль через велику вартість ЛА його популярність зменшується – наразі вартість даного квадрокоптера становить від 2 500 \$ в базовій комплектації.



Рис. 1.16 Skydio 2

Скидальний механізм Skydio 2 (рис. 1.16) являє собою корпус який виготовлений з міцного пластику та має особистий захист від чинників які можуть пошкодити корисне навантаження яке транспортує ЛА з механізмом скидання. Наразі максимальна вага корисного навантаження яке має транспортувати даний квадрокоптер становить до 2.5 кг.

Однак дана вантажопідйомність все ж таки є конкурентною в категорії малорозмірних квадрокоптерів з механізмом скидання.

Гідравлічний привід скидального механізму побудований таким чином щоб забезпечити плавне його відвантаження та точне його скидання та складається з двох гідроциліндрів які приєднані до міцних тросів

Також даний механізм обладнаний відповідними методами безпеки для запобігання випадкового скидання вантажу, весь перелік запобіжних дій описаний в керівництві керування ЛА, який йде в комплекті до квадрокоптера иа розміщений на сайті Yuneec.

Так само в компанії Skydio є функція Skydio Flight School що дозволяє покупцям їх продукту навчитись керувати квадрокоптером з механізмом скидання в повній безпеці.

Оскільки даний ЛА входить в перелік квадрокоптерів з середнім ціновим сегментом розроблений механізм скидання має ряд особливостей та переваг над конкурентами, а саме

- Однією з особливостей скидального механізму даного ЛА є його гідравлічний привід (конструкція даного механізму була описана раніше в доповіді) який забезпечує плавне відвантаження вантажу та його точне скидання та однією з переваг також є швидке від'єднання механізму від рами квадрокоптера без використання додаткового інструменту.

- Також компанія Skydio самостійно розробила безвідмовні механізми безпеки який запобігає випадковому спрацюванню механізму та скиданню корисного навантаження.

- Також особливістю даного механізму є доволі значна вантажопідйомність в порівнянні з іншими квадрокоптерами маленького розміру яка становить до 2,5 кг.

- Через вдало підібрані матеріали з яких виконано квадрокоптер та установку скидання конструкція має доволі великий термін служби.

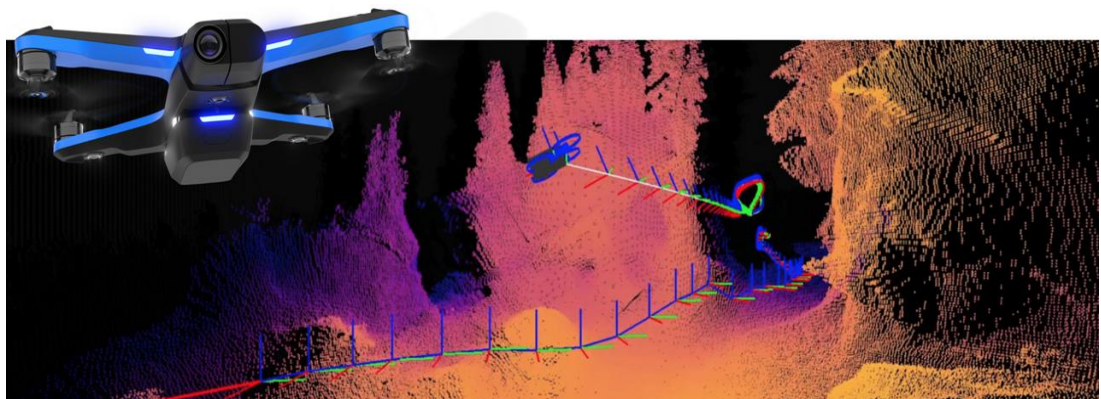


Рис. 1.16 Skydio 2 разом з відображенням скидального механізму з його датчиками

Кожна з моделей які були зазначені вище мають індивідуальний перелік переваг та особливостей, однак при виборі ЛА з механізмом скидання необхідно визначити цілі та завдання для квадрокоптера. Одними з такими цілей є визначення призначення ЛА (Визначення завдань які буде виконувати квадрокоптер), визначення необхідної вантажопідйомності ЛА(визначення максимальної ваги корисного навантаження для квадрокоптера), визначення характеристик для макмальної тривалості польоту (визначення необхідного часу польоту квадрокоптера для виконання поставлених задач), визначення граничної вартості ЛА (розрахунок максимальної вартості квадрокоптера в повній комплектації).

Висновок по розділу: В даному розділі було розглянуто аналоги та конкуренти квадрокоптерів з механізмом скидання та було детально розглянуто їх характеристики та переваги в зазначено сегменті.

2.Розробка експериментальної моделі скидального механізму.

Після визначення основних цілей які повинен виконувати квадрокоптер з механізмом скидання можна розпочати розробку експериментальної моделі скидального механізму. [28]

Розробка експериментальної моделі ЛА з механізмом скидання є основною частиною в процесі проектування та розробки подібного типу квадрокоптерів.

Розробка експериментальної моделі ЛА з механізмом скидання дозволить визначити найкращі шляхи для побудови працездатного механізму скидання в реальних умовах, виявити потенційні проблеми при побудові та шляхи їх вирішення.

Для коректного виконання процесу проектування ЛА з механізмом скидання необхідно визначити необхідні кроки:

- Визначення типу ЛА та конструкції механізму: На данному етапі проектування необхідно визначити тип побудови ЛА та конструкцію механізму. Даний вибір залежить від поставлених цілей які повинен виконувати механізм, визначити необхідну вантажопідйомність та інші фактори які будуть впливати на політ ЛА.

- Визначення параметрів та розробка ескізу скидального механізму: На даному етапі необхідно виконати розробку ескізного проекту механізму. Після виконання даного пункту в проектуванні буде визначено основні елементи скидального механізму та процес їх взаємодії.

- Визначення та розробка конструкторської документації: На даному етапі проектування виконується розробка конструкторської документації яка складається з креслень, специфікацій та інших необхідних документів необхідних для проектування ЛА з механізмом скидання.

- Виготовлення експериментальної моделі ЛА опираючись на минулі пункти проектування: На даному етапі необхідно виготовити експериментальну модель скидального механізму з використанням вибраних матеріалів та

технологій. Надалі при комбінуванні всіх зазначених пунктів проектування буде визначено модель механізму для серійного виробництва.

- Перехід до випробувань механізму та визначення переваг установки над конкурентами: На даному етапі проектування виконується випробування виготовленого скидального механізму та перевірка його на працездатність.

Для повної розробки експериментальної моделі скидальної механізми необхідно скомбінувати два методи моделювання, такі як метод моделювання (даний метод передбачає собою використання комп'ютерного моделювання для модельного дослідження працездатності механізму) та метод виготовлення прототипу (даний метод передбачає фізичне виготовлення прототипу скидального механізму з використанням визначених матеріалів та технологій які в подальшому буде задіяно для серійного виробництва ЛА з механізмом скидання).

В даних методах проектування є свої переваги та недоліки. Одними з найбільших переваг даних методів є виявлення працездатності механізму в реальних умовах, дані методи дозволяють виявити потенційні проблеми в роботі скидального механізму та дані методи дозволяють оптимізувати конструкцію вибраного механізму.

Однак, в даних методах є свої наделокі, такі як ресурсні витрати на виготовлення експериментальної моделі та використаний час на її виготовлення. Не дивлячись на недоліки в даних методах проектування їх переваги є більш вагомими в проектуванні.

В ході виконання роботи було визначено що ЛА з механізмом скидання буде виконуватати перевезення вантажу в важкодоступні місця. Оптимальною вантажопідйомністю було визначено вантажопідйомність до 8 кг. Для повного виконання задач ЛА оптимальний час польоту в максимальному режимі навантаження було визначено 40 хвилин.

Для механізму скидання було взято за основу аналоги з механічним механізмом скидання з пневматичним гальмом (запобіжником). [29]

2.1 Вибір сервоприводу для установки

В якості сервоприводу для виконання поставлених задач було вибрано сервопривід KST DS 135 MG (рис. 2.1) який повністю задовольняє цінову політику проекту однак для прикладу характеристик розглянемо більш дорожню його версію, а саме сервопривід KST X10 Digital .



Рис. 2.1 сервопривід KST DS 135 MG

Сервопривід KST X10 Digital (рис. 2.2) – сервопривід входить в сегмент професійних, та є одним з найвисокопродуктивніших цифрових сервоприводів. Зазвичай використовується в багатьох ЛА включаючи квадрокоптери з механізмом скидання та модельній авіації.



Рис. 2.2 - Сервопривід KST X10 Digital

Даний сервопривід має ряд переваг, таких як:

- Висока точність механізму в порівнянні з іншими моделями: Сервопривід KST X10 Digital має високу точність механізму, а саме $\pm 0,05$ градуса. Даний сервопривід ідеально підходить для виконання поставлених задач які потребують високої точності.

- Даний механізм має один з найвищих показників швидкості та плавності руху: Даний сервопривід забезпечує необхідний плавний рух з максимальною його швидкістю 0,12 секунди на 60 градусів. Дивлячись на характеристики швидкості та плавності руху можна зазначити що дана модель ідеально підходить для виконання завдань.

- одна з найбільш надійних конструкцій: Сервопривід KST X10 Digital виготовлений з високоякісних матеріалів та компонентів. Перед тим як вийти до продажу даний сервопривід проходить ретельну перевірку та контроль якості, для забезпечення надійної та безвідмовної роботи.

Наразі було представлено основні характеристики сервоприводу KST X10 Digital:

- Вага – 28 грам
- Необхідна напруга – від 6 до 8,4 вольт
- Зусилля механізму сервоприводу – 10,8 кг/см
- Крутний момент сервоприводу: 12,6 ньютон-метрів
- Швидкість механізму сервоприводу: 0,12 секунди на 60 градусів
- Час відгуку сервоприводу: 0,01 секунди
- Точність сервоприводу: $\pm 0,05$ градуса

При моделюванні було переглянуто ряд матеріалів для виготовлення каркасу скидального механізму. Зазначимо що при виборі матеріалу було враховано всі необхідні параметри для побудови механізму, а саме його розмір та вага, корисне навантаження на яке розрахований механізм скидання та бюджет на який розрахований проект.

2.2. Вибір матеріалу для виготовлення скидального механізму

В ході виконання проекту було переглянуто наступні матеріали:

- Пластик – з усіх розглянутих матеріалів пластик є одним з найдешевших та легких матеріалів та добре підходить для виготовлення ЛА з механізмом скидання середнього розміру. Зазвичай в аналогах скидальних механізмів використовують полікарбонат, акрил або нейлон.

- Метал - з усіх розглянутих матеріалів метал є одним з найміцніших та довговічніших матеріалів. Однак даний матеріал підходять більше для квадрокоптерів великого розміру та не відповідає поставленій задачі щодо розміру ЛА та його вантажопідйомності.

- Композиційні матеріали - з усіх розглянутих матеріалів композиційні матеріали є одними з найлегших, міцних та технологічних матеріалів. Даний матеріал повністю задовольняє необхідні вимоги для виконання проекту. Даний матеріал став найкращим вибором для квадрокоптера та механізму скидання оскільки даний матеріал забезпечує високу міцність та легкість конструкції.

Для виконання проекту було вибрано пластик оскільки даний матеріал задовольняє відведення вимоги міцності та повністю підходить ціновій політиці на яку було розраховано проект .

2.3. Графічний розрахунок надійності системи

Відповідно було проведено графічні розрахунки на міцність створеного механізму скидання. Було визначено що для конкурентоспроможності квадрокоптера з механізмом скидання необхідно розробити механізм який буде витримувати корисне навантаження до 8 кг. Відповідно було проведено графічні розрахунки міцності в програмі Ansys для декількох корисних навантажень, а саме для 5 кг, для 8 кг та для 10 кг. Результати розрахунку було викладено в рис. 2.3 – 2.12 (Рис. 2.3 -2.5 – графічний розрахунок на міцність скидального механізму з корисним навантаженням до 5 кг.)(Рис. 2.6-2.8 графічний розрахунок на міцність скидального механізму з корисним навантаженням до 8 кг відповідно

до технічного завдання.)(Рис. 2.9 – 2.11 графічний розрахунок на міцність скидального механізму з корисним навантаженням до 10 кг.).

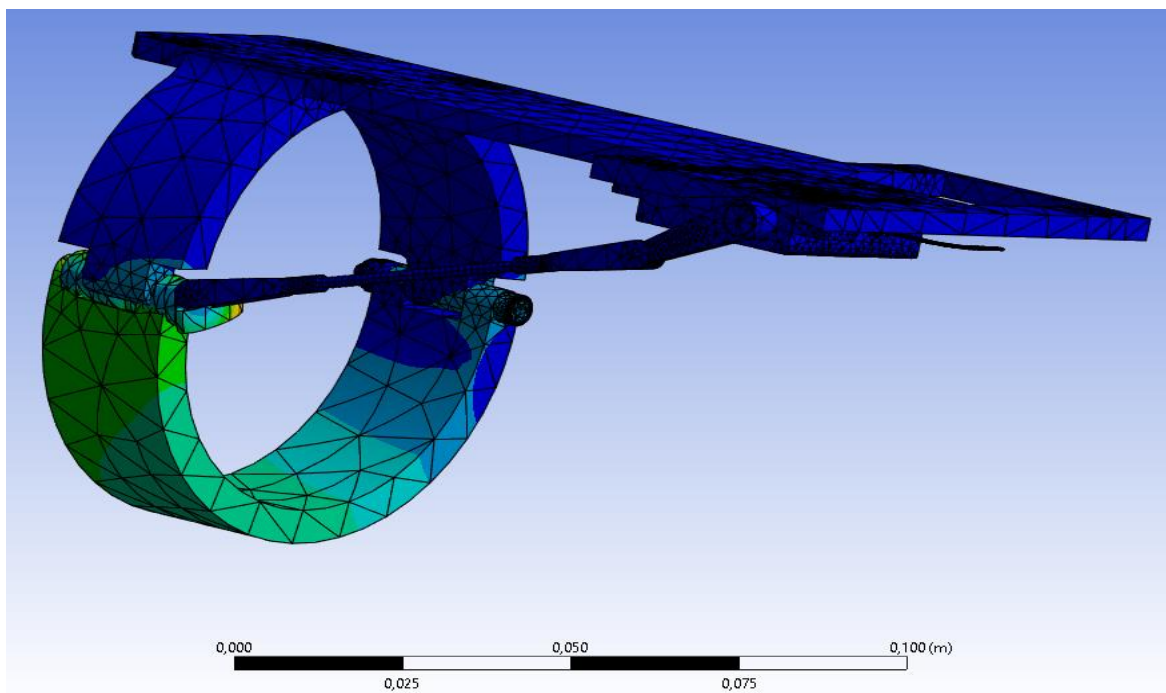
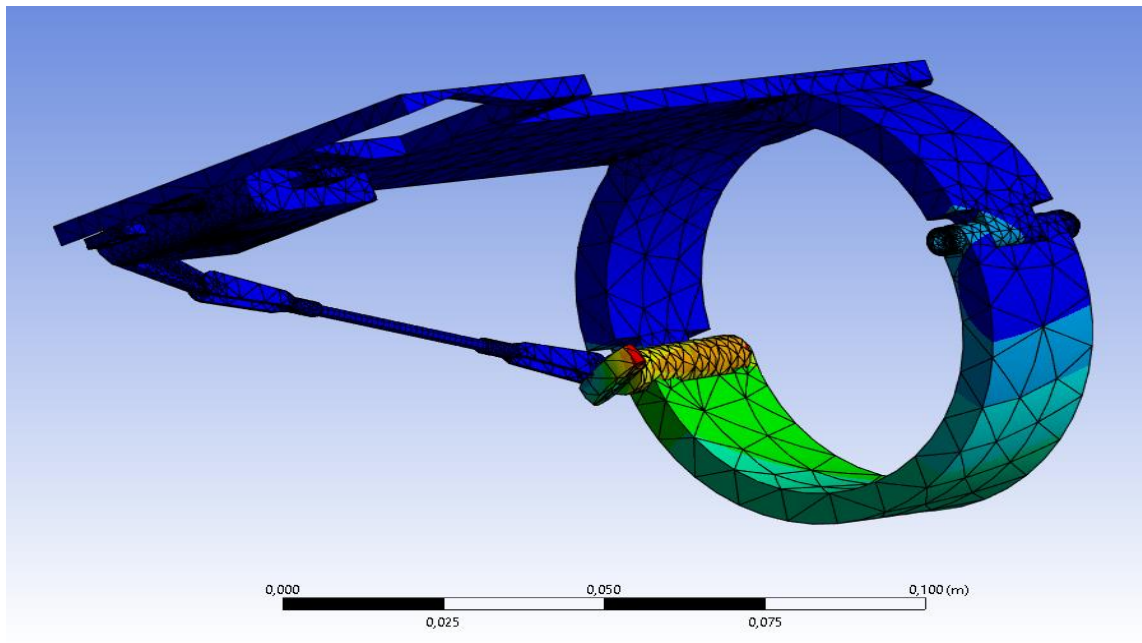
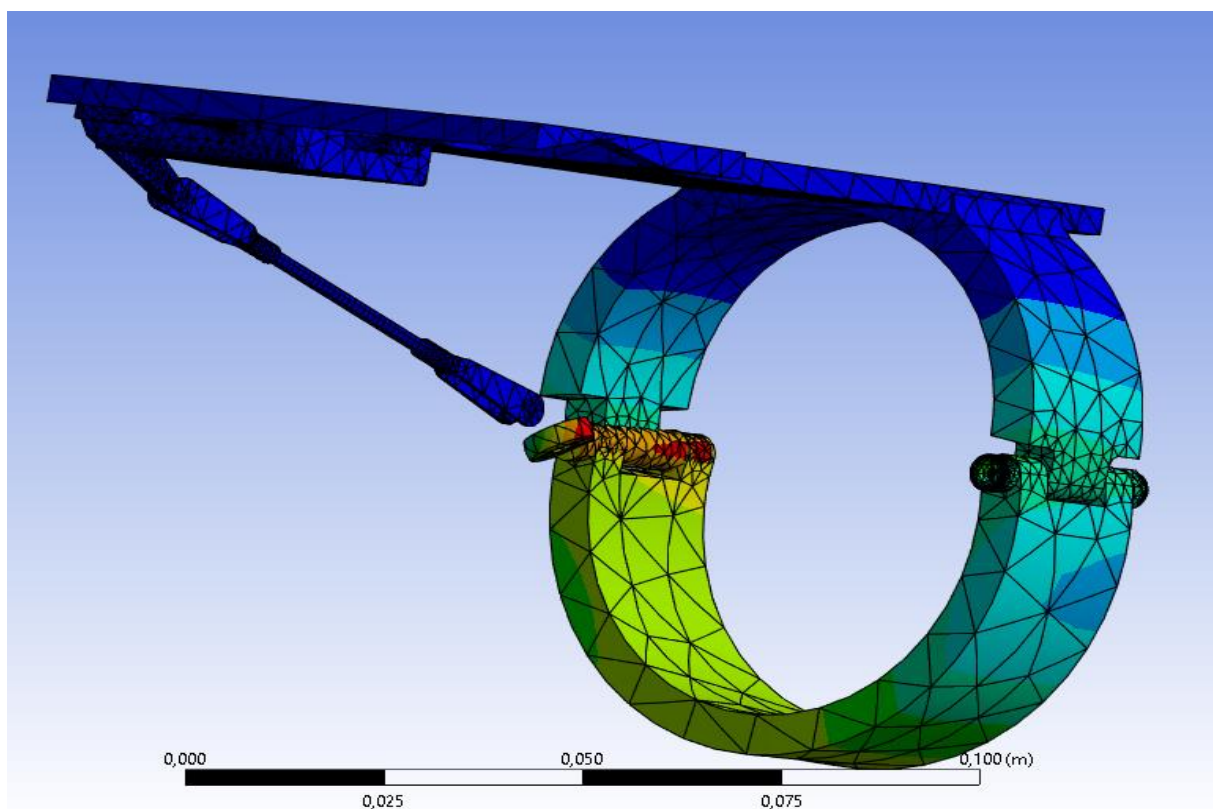
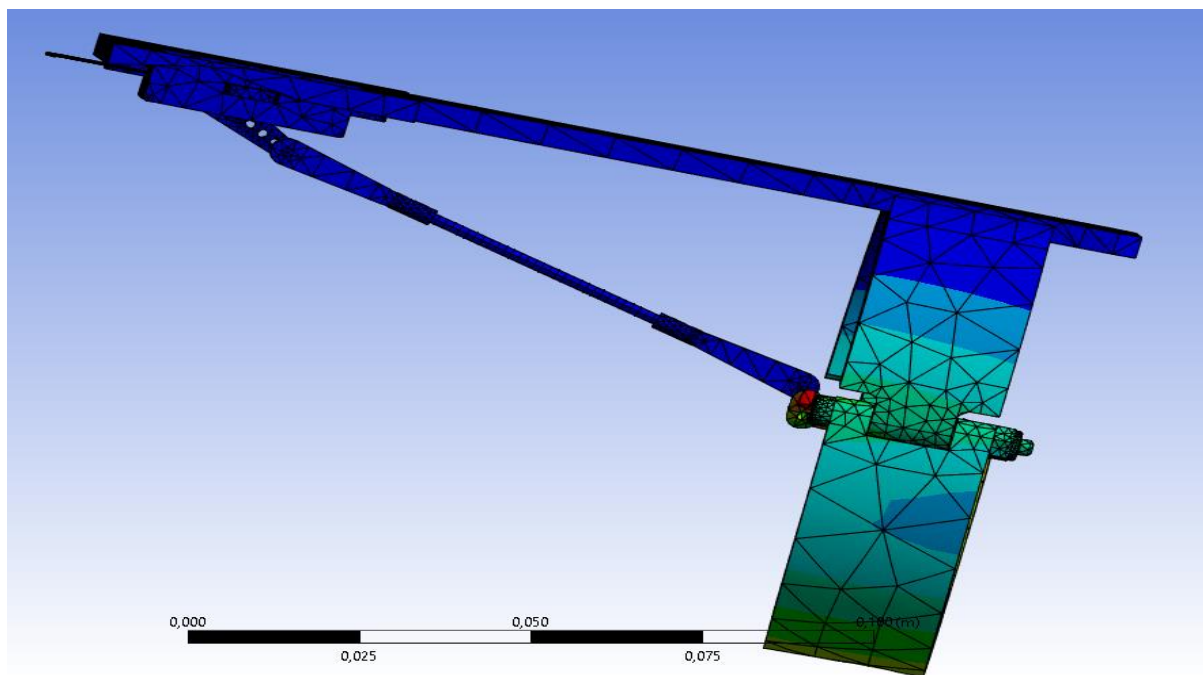


Рис. 2.3 -2.5 – графічний розрахунок на міцність скидального механізму з корисним навантаженням до 5 кг.

З огляду на графічний розрахунок міцності можна спостерігати відсутність суттєвої кількості деформації матеріалу. Відповідно до графічного розрахунку

найбільша вірогідність деформації випадає на нижню частину люльки в якій закріплено корисне навантаження та на палець який під час активації скидального механізму покидає свої посадочне місце чим дозволяє люльці відчинитись. При відсутності деформації маємо змогу зробити висновок що скидальний механізм з легкістю може виконувати завдання з корисним навантаженням до 5 кг



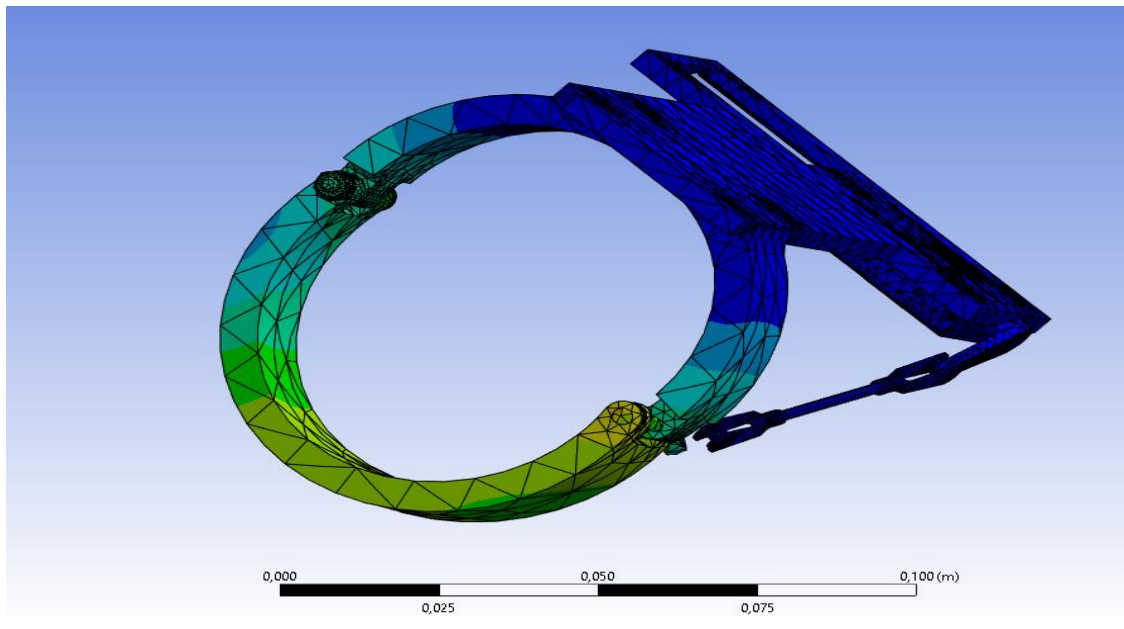
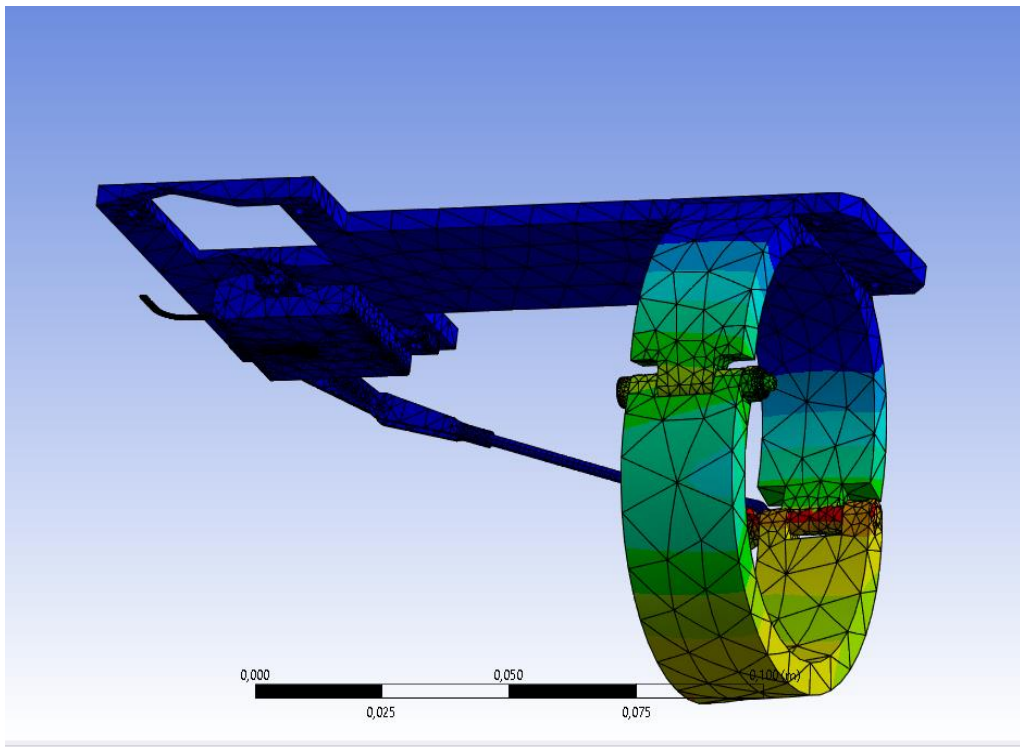
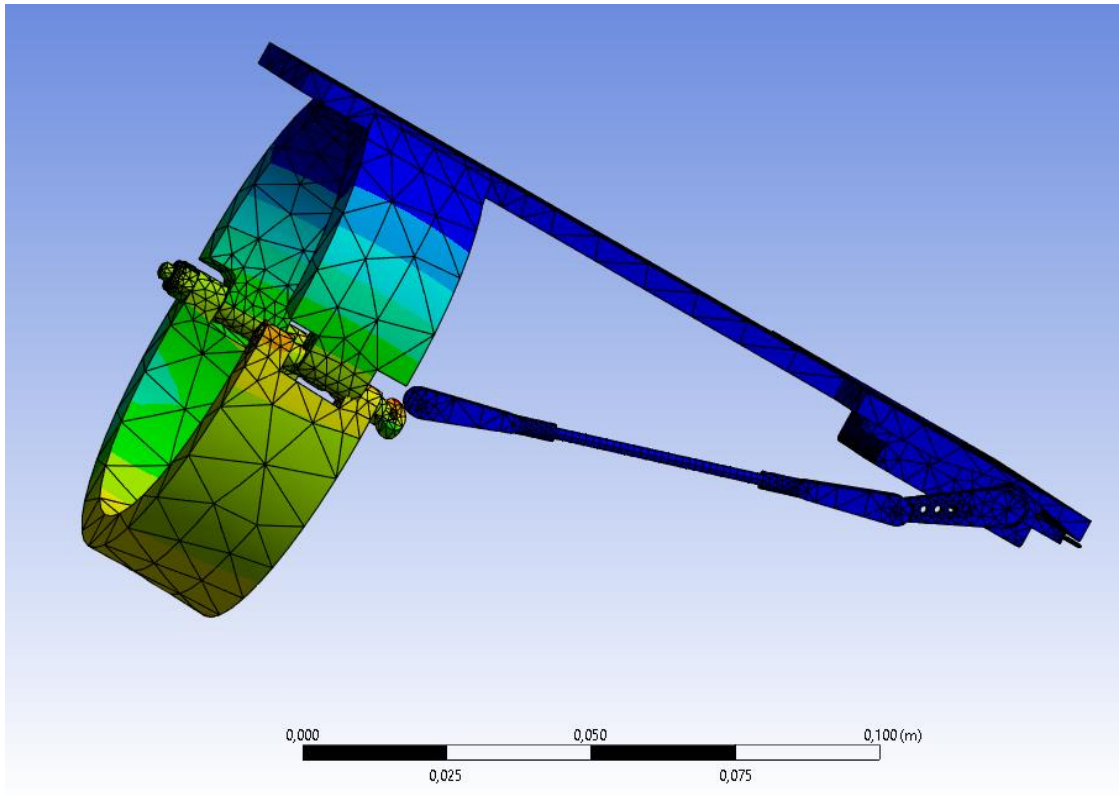


Рис. 2.6-2.8 графічний розрахунок на міцність скидального механізму з корисним навантаженням до 8 кг відповідно до технічного завдання.

З огляду на графічний розрахунок міцності можна спостерігати незначний рівень деформації матеріалу однак даний рівень не впливає на стабільність механізму скидання квадрокоптера. Відповідно до графічного розрахунку найбільша вірогідність деформації випадає на нижню частину люльки в якій закріплено корисне навантаження та на палець який під час активації скидального механізму покидає свої посадочне місце чим дозволяє люльці відчинитись. В подальшому розвитку проекту було прийнято рішення зміцнити зазначені вище елементи механізму скидання для запобігання деформації. При відсутності деформації маємо змогу зробити висновок що скидальний механізм з без зайвої деформації може виконувати завдання з корисним навантаженням до 8 кг.



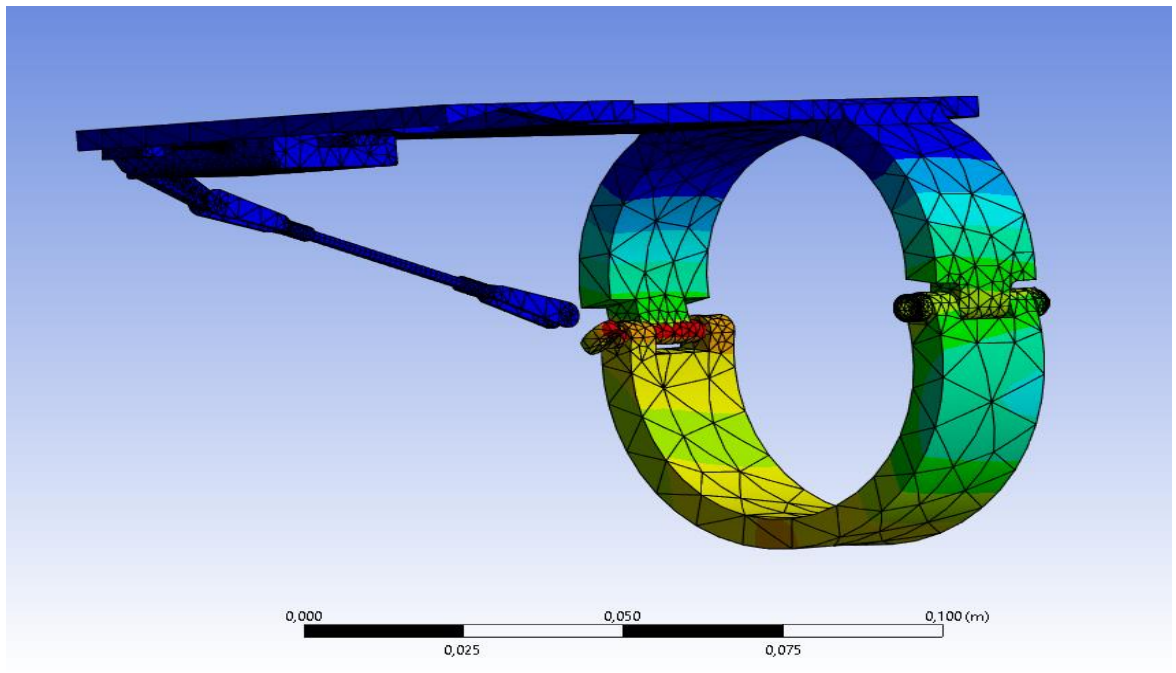


Рис. 2.9 – 2.11 графічний розрахунок на міцність скидального механізму з корисним навантаженням до 10 кг.

З огляду на графічний розрахунок міцності можна спостерігати рівень деформації матеріалу який може вплинути на стабільність механізму скидання квадрокоптера.

Відповідно до графічного розрахунку найбільша деформація матеріалу випадає на нижню частину люльки в якій закріплено корисне навантаження та на палець який під час активації скидального механізму покидає свої посадочне місце чим дозволяє люльці відчинитись що може спричинити пошкодження скидального механізму.

В подальшому розвитку проекту було прийнято рішення зміцнити зазначені вище елементи механізму скидання для запобігання деформації. При відсутності деформації маємо змогу зробити висновок що скидальний механізм з наразі не призначений для виконання завдання з корисним навантаженням до 10 кг. Відповідно для покращення характеристик скидального механізму необхідно виконувати модернізацію деяких його елементів для збільшення ваги корисного навантаження.

Основними передумовами для вибору даного матеріалу стала його довговічність, міцність, легкість, ціна та надійність.

В ході виконання проекту було визначено що скидальний механізм буде виготовлено у вигляді підвісу до основної рами квадрокоптера. Дане рішення дозволить інсталювати скидальний механізм на велику кількість моделей ЛА без суттєвих змін конструкції.

Скидальний механізм використовує технологію механічного скиду з пневматичним гальмом. Зазначений вище сервопривід KST DS 135 MG з'єднаний з направляючою яка фіксує люльку скиду.

Після того як сервопривід отримує сигнал готовності для скидання люлька відкривається на закріплений вантаж вилітає до своєї цілі.

2.4. Приклади 3D моделей розробленого механізму скидання.

Приклад розробленого скидального механізму було окремо від квадрокоптера та в сукупності з ним було зображено на малюнках 2.12 -2.15.

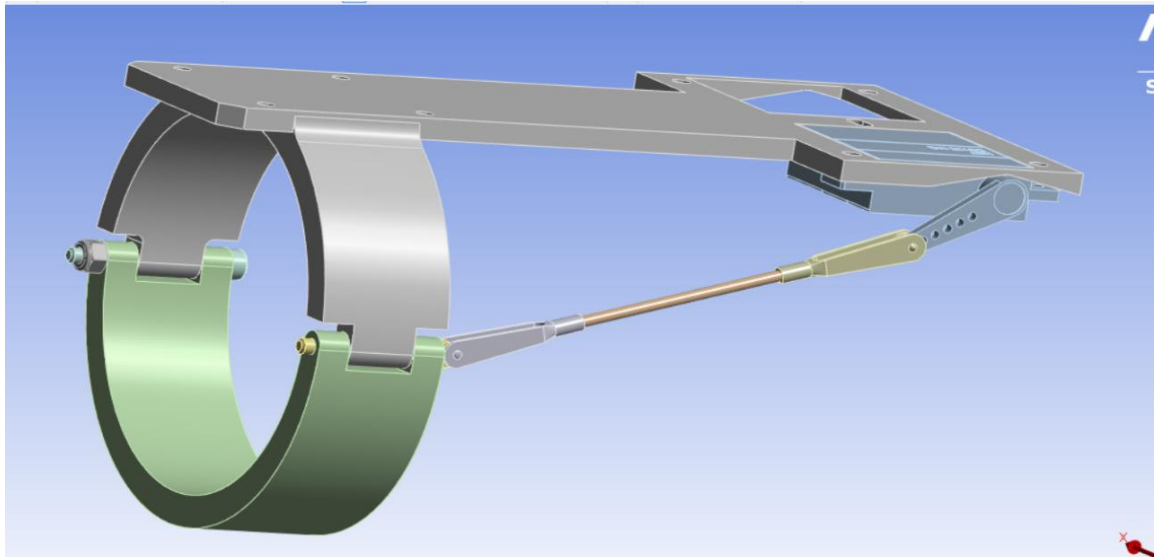


Рис. 2.12 - 3D модель розробленого скидального механізму.

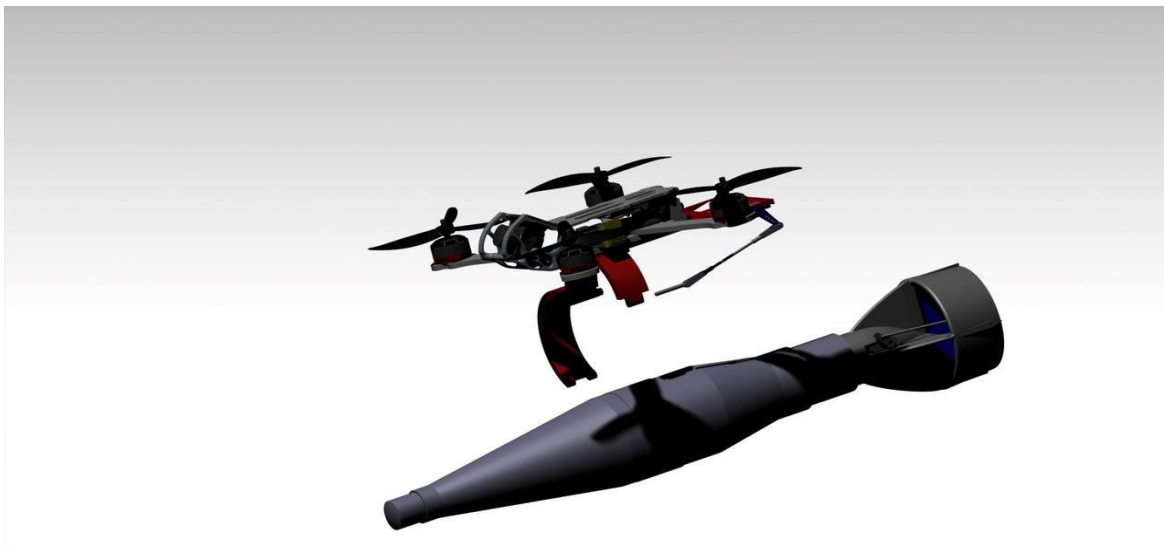


Рис. 2.13 – Скидальний механізм разом з квадрокоптером (люлька відкрита)

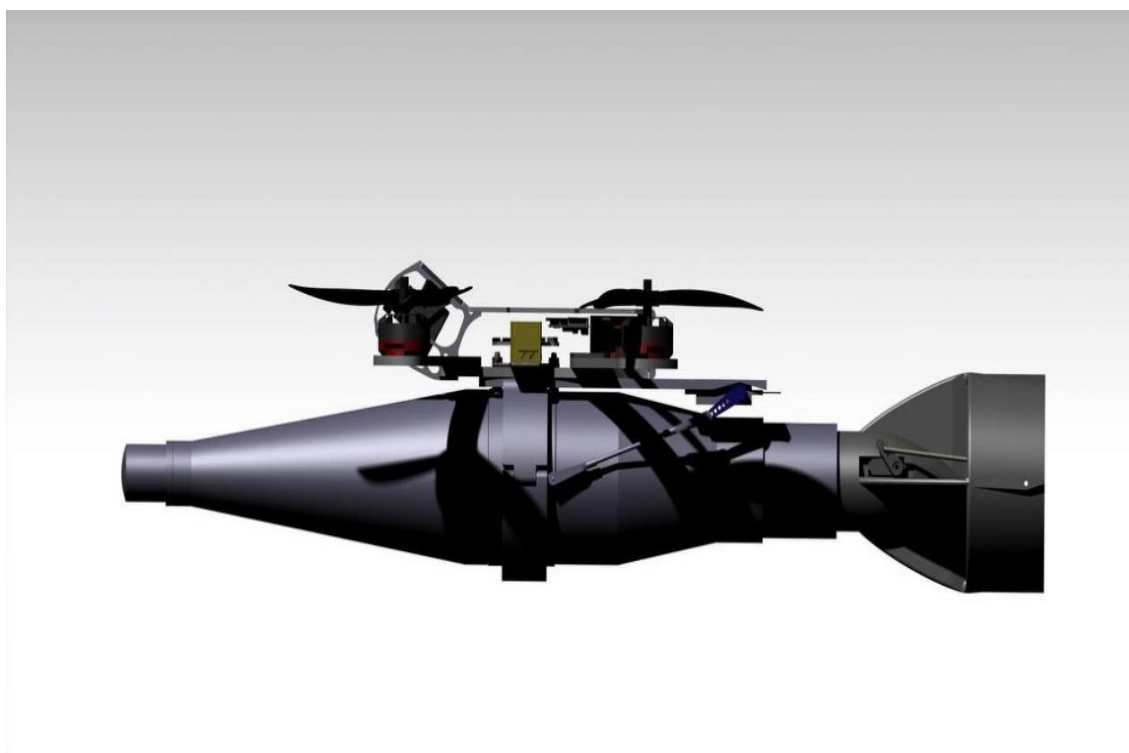


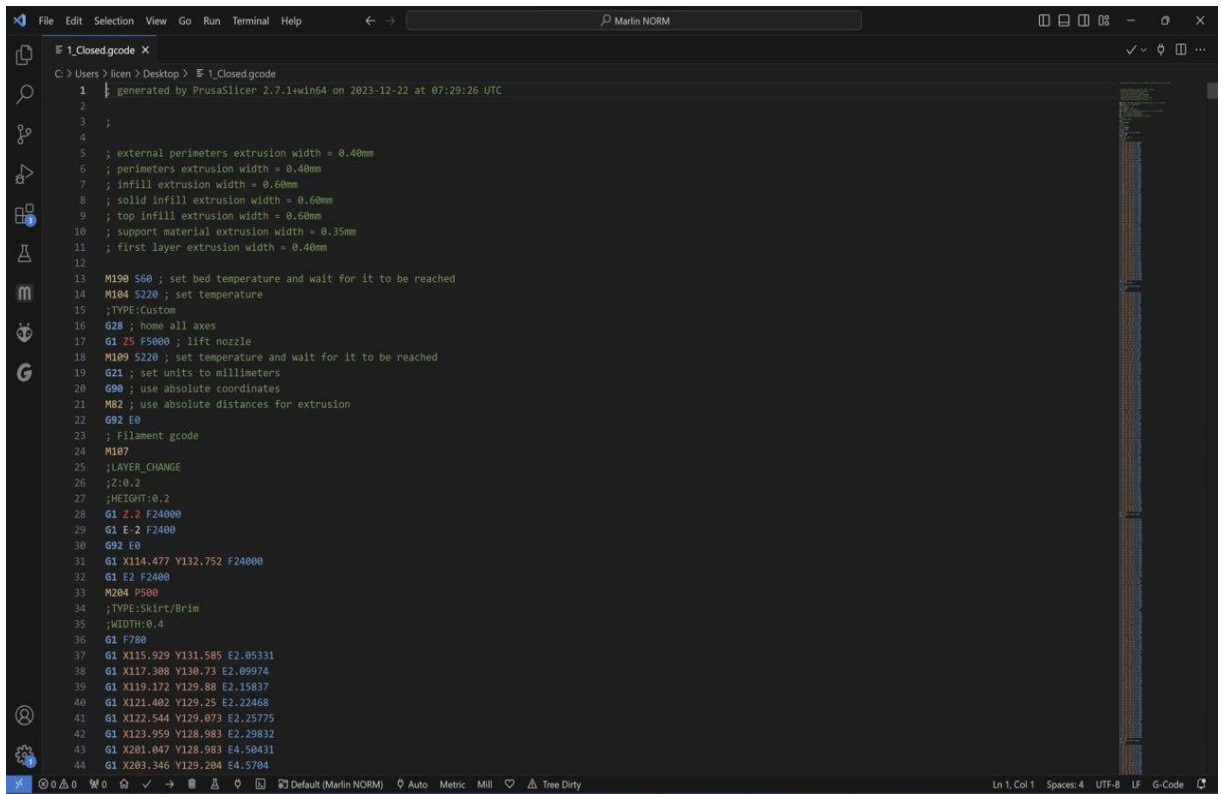
Рис. 2.14 – Скидальний механізм разом з квадрокоптером (люлька закрыта)



Рис. 2.15 – Скидальний механізм разом з квадрокоптером (люлька закрита)

2.5. Підготовка до 3D друку моделі.

Відповідно до розробленої 3D моделі було прийняте рішення виконати тестовий зразок скидального механізму для квадрокоптерів з пластику призначеного для 3D друку. [20-23] Для реалізації 3D друку було використано програму PrusaSlicer. В програмі PrusaSlicer було обрано відповідні значення для друку рис. 2.16



```
1 generated by PrusaSlicer 2.7.1+win64 on 2023-12-22 at 07:29:26 UTC
2
3 ;
4
5 ; external perimeters extrusion width = 0.40mm
6 ; perimeters extrusion width = 0.40mm
7 ; infill extrusion width = 0.60mm
8 ; solid infill extrusion width = 0.60mm
9 ; top infill extrusion width = 0.60mm
10 ; support material extrusion width = 0.35mm
11 ; first layer extrusion width = 0.40mm
12
13 M100 S60 ; set bed temperature and wait for it to be reached
14 M104 S220 ; set temperature
15 ;TYPE:Custom
16 G28 ; home all axes
17 G1 Z5 F5000 ; lift nozzle
18 M100 S220 ; set temperature and wait for it to be reached
19 G21 ; set units to millimeters
20 G90 ; use absolute coordinates
21 M82 ; use absolute distances for extrusion
22 G92 E0
23 ; Filament gcode
24 M107
25 ;LAYER_CHANGE
26 ;Z:0.2
27 ;HEIGHT:0.2
28 G1 Z.2 F24000
29 G1 E.2 F2400
30 G92 E0
31 G1 X114.477 Y132.752 F24000
32 G1 E2 F2400
33 M204 P500
34 ;TYPE:Skirt/Brim
35 ;WIDTH:0.4
36 G1 F780
37 G1 X115.929 Y131.585 E2.05331
38 G1 X117.308 Y130.73 E2.09974
39 G1 X119.172 Y129.88 E2.15837
40 G1 X121.402 Y129.25 E2.22468
41 G1 X122.544 Y129.073 E2.25775
42 G1 X123.959 Y128.983 E2.29832
43 G1 X201.047 Y128.983 E4.50431
44 G1 X203.346 Y129.204 E4.5704
```

Рис. 2.16 налаштування програми PrusaSlicer для друку 3D моделі.

Після зазначення необхідних параметрів друку необхідно додати раніше викону 3D модель в програму PrusaSlicer. Після додавання моделі необхідно визначити який тип друку буде виконувати друк моделі. Для друку моделі механізму скидання було вибрано так званий друк знизу до верху. Даний вид друку дозволить використати меншу кількість матеріалів та дозволить виконати друк без зайвих залишків на конструкції. Відповідно розміщуємо модель скидального механізму в програмі згідно з раніше обраним положенням. Відображення моделі в програмі PrusaSlicer перед друком разом з відповідними характеристиками друку зображено на рис. 2.17-2.20.

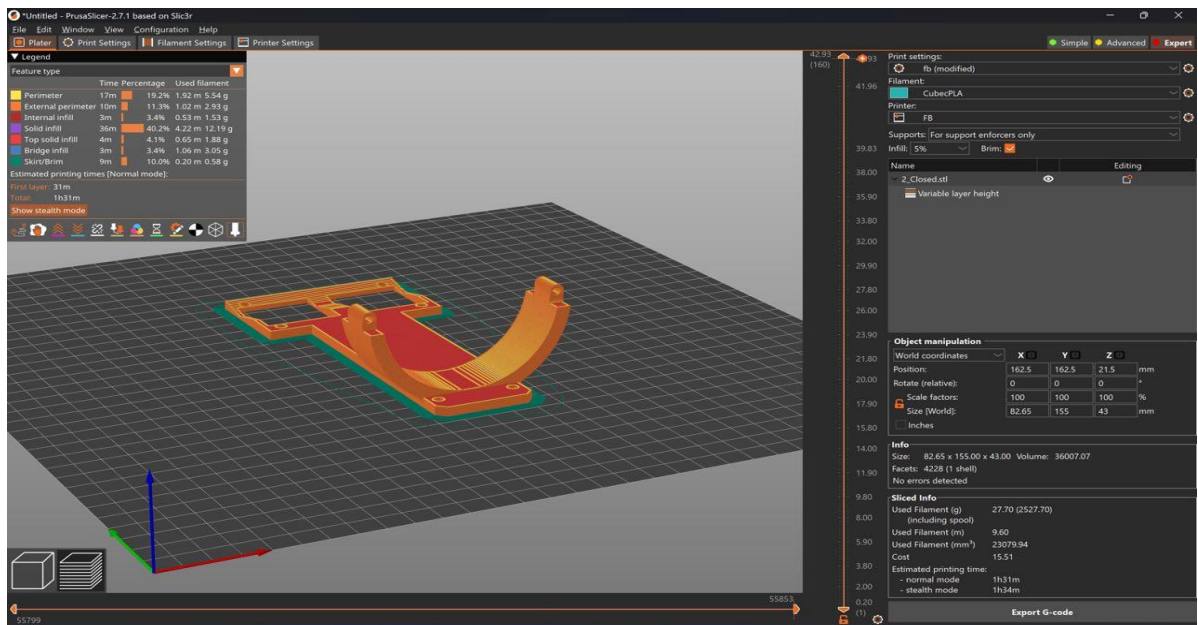


Рис. 2.17 відображення основи скидального механізму в програмі PrusaSlicer разом з характеристиками друку

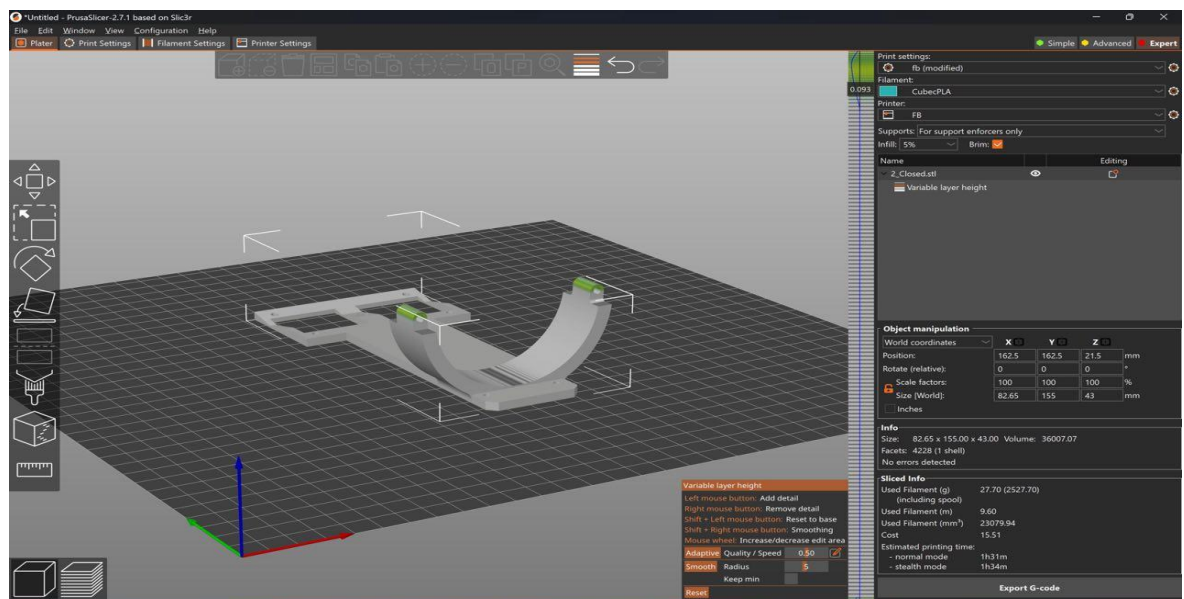


Рис. 2.18 відображення основи скидального механізму в програмі PrusaSlicer

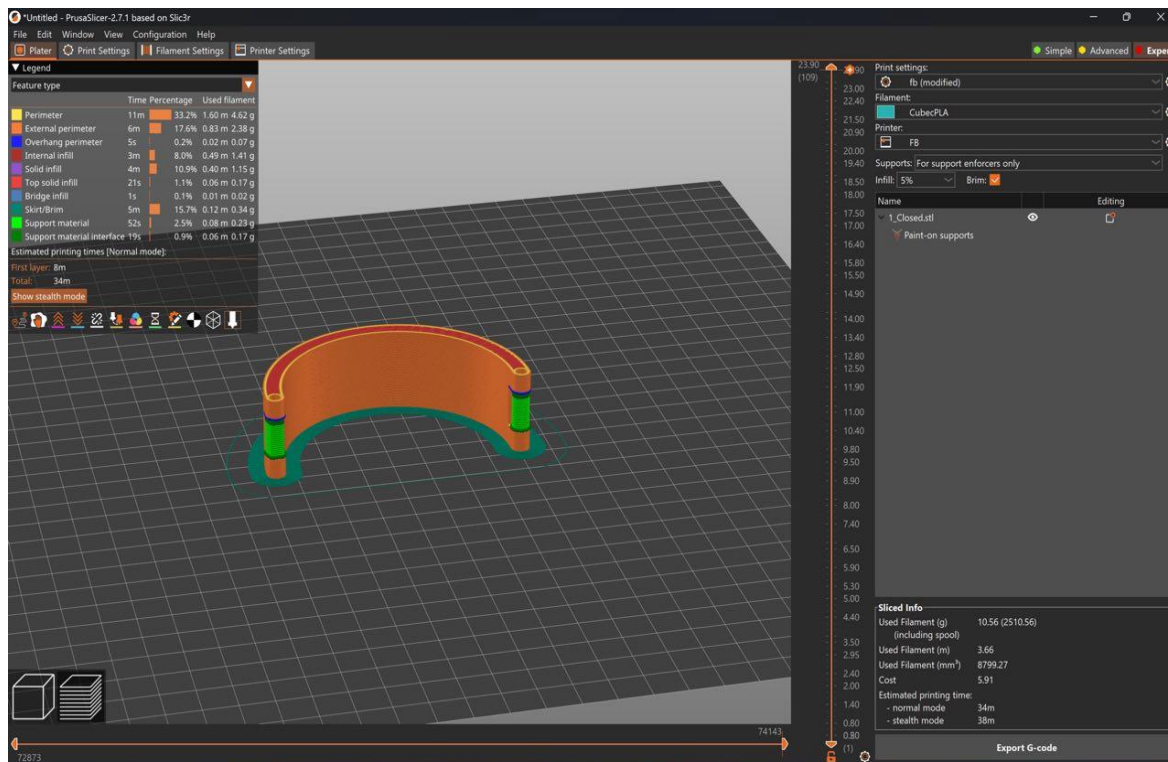


Рис. 2.19 відображення тримача скидального механізму в програмі PrusaSlicer разом з характеристиками друку

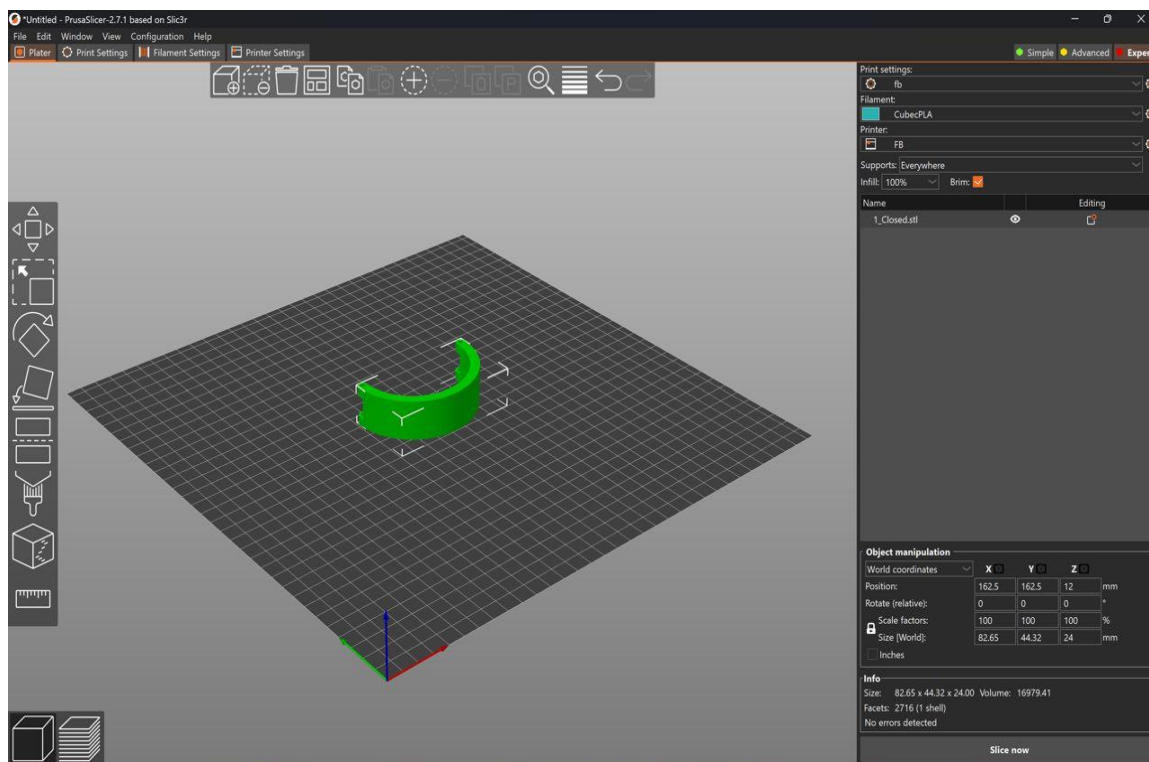


Рис. 2.20 відображення основи скидального механізму в програмі PrusaSlicer

2.6. Приклади 3D моделей розробленого механізму скидання.

Після того як модель було розміщено в програмі PrusaSlicer автоматично розраховується час друку. Дане значення ми маємо змогу переглянути на рис. 2.19 в пункті Printing time. Відповідно до розрахунків програми друк триватиме 34 хвилини. Після запуску процесу друку можемо спостерігати весь процес друку. Після того як процес друку було завершено маємо готовий надрукований експериментальний варіант скидального механізму квадрокоптера, а саме елементів тримача та основи. Результати друку зображено на рис. 2.21 – 2.25.



Рис. 2.21 зображення експериментально надрукованої основи скидального механізму



Рис. 2.22 зображення експериментально надрукованої основи скидального механізму



Рис. 2.23 зображення експериментально надрукованої основи скидального механізму



Рис. 2.24 зображення експериментально надрукованого тримача
скидального механізму



Рис. 2.25 зображення експериментально надрукованого тримача
скидального механізму

Після того як експериментальну установку було надруковано необхідно дати частинам охолоти. Після чого необхідно зачистити всі елементи установки, оскільки на жаль після 3D друку деякі частини можуть залишати по собі

нерівності та залишки пластику. Після очищення заготовки необхідно встановити обраний сервопривід KST DS 135 MG та облаштувати експериментальні частини всіма необхідними компонентами, такими як Вилка M2, Шпилька M2, гвинти M3x12, гвинт M3x30 та гайки M3. Після збірки скидального механізму маємо готову установку для інтеграції до квадрокоптера. Зібрана експериментальна модель механізму скидання зображено на рис. 2.26 та рис 2.27.



Рис. 2.26 екпериментальна модель механізму скидання вид збоку.



Рис. 2.27 експериментальна модель механізму скидання від низу.

Висновки по розділу: В даному розділі було розглянуто матеріали та пристрої для реалізації механізму скидання. Відповідно для виконання проекту в якості матеріалу було обрано пластик та в якості головного сервоприводу було обрано KST DS 135 MG. Також в розділі було представлено 3D модель розробленого механізму скидання в різних виглядах та було надано матеріали щодо виготовлення експериментальної моделі механізму скидання для квадрокоптера.

3. Вимоги до надійності та експлуатаційної якості скидального механізму.

Під час розробки ЛА з механізмом скидання необхідно визначити вимоги до надійності скидального механізму та експлуатаційної якості [19].

Надійність це один з найважливіших параметрів для механізму скидання, скидальний механізм повинен надійно працювати в різних умовах експлуатації оскільки велика кількість факторів впливає на роботу механізму, такі як температура навколишнього середовища, вологість повітря, сила вітру.

Скидальний механізм повинен безвідмовно працювати в будь-яких умовах та забезпечувати безпечне та справне скидання вантажу.

3.1. Загальна інформація щодо надійності та експлуатаційної якості

Основними вимогами для надійності ЛА з скидальним механізмом є:

- Безвідмовна робота механізму протягом всього терміну його експлуатації або планової заміни деяких компонентів.
- Чіткий розрахунок заданих навантажень для скидальної установки квадрокоптера.
- Продуманий механізм захисту квадрокоптерів з механізмом скидання від впливу факторів навколишнього середовища.
- Також при експлуатації скидального механізму в квадрокоптері необхідно забезпечити безпечне скидання заданого вантажу, простоту виконання механізму для полегшення навчання пілотів та обслуговування механізму та прорахувати економічну частину компанування, обслуговування та додаткових елементів для експлуатації квадрокоптерів з механізмом скидання.
- Одним з найважливіших елементів захисту квадрокоптерів з механізмом скидання – це захист від впливу на ЛА чинників навколишнього середовища. Механізм має бути обов'язково обладнаний подібним видом захисту, оскільки при потраплянні на механізм часток пилу, вологи та ін. елементів впливу навколишнього середовища механізм може втратити свої робочі функції або ж що страшніше нашкодити пілоту або іншим учасникам польоту.

- Необхідно не забувати про регулярне технічне обслуговування ЛА з механізмом скидання. Для повного технічного огляду необхідно після кожного польоту проводити відповідні заходи безпеки, такі як:

- Візуальний огляд скидального механізму та квадрокоптера вцілому. Даний метод допоможе виявити явні пошкодження ЛА та перевірити цілісність рами квадрокоптера на момент пошкодження.

- Після виявлення пошкоджених або зношених елементів конструкції необхідно одразу замінити їх нові для запобігання подальшому пошкодженню елементів механізму скидання або порушенню його цілісності.

- Після заміни зношених або пошкоджених елементів необхідно провести повторне налаштування та калібрування ЛА з механізмом скидання оскільки дані дії забезпечать безпеку подальшого використання квадрокоптера в штатному режимі.

- При виборі надійних та експлуатаційно-коректних матеріалів для виготовлення скидального механізму ЛА, правильного проектування механізму та його виготовленні та при регулярному технічному обслуговуванні та ретельному огляді всіх компонентів механізм скидання квадрокоптера буде безвідмовно виконувати повтавлені задачі.

- Необхідно розробити захист скидального механізму від впливу факторів навіколишнього середовища. Механізм повинен працювати в будь-яких умовах та не повинен пошкоджуватись при впливі на нього вологи, бруду та ін.

- Для надійного використання установки було вибрано просту конструкцію оскільки її простота полегшує ремонт, обслуговування, експлуатацію та навчання пілотів.

- Однак навіть з урахуванням простоти конструкції необхідно зазначити що велику роль у використанні скидального механізму та безвідмовній його роботі грає його вчасне обслуговування.

- Для повного огляну та обслуговування механізму необхідно виконати наступні пункти:

- Візуальний огляд скидального механізму – після візуального огляду механізму скидання можна виявити візуальні пошкодження або ж наявні

несправності після впливу на ЛА навколишнього середовища. Візуальний огляд без виявлення пошкоджень також може допомогти виявити недосконалість конструкції на етапі її тестування та розробки.

- Ідентифікація та заміна зношених елементів скидального механізму – при виявленні зношених елементів на корпусі або в основних елементах скидального механізму необхідно виконати оперативну заміну необхідних компонентів для запобігання зношенню компонентів які в майбутньому можуть постраждати.

- При введенні скидального механізму в експлуатацію необхідно налаштувати механізми оскільки при відсутності даного процесу скидальний механізм не зможе повноцінно виконувати поставлену задачу або нашкодити пілотам або іншим учасникам.

- При виконанні всіх зазначених вище пунктів експлуатація та надійне використання скидального механізму забезпечить безпеку оточуючих та ефективне виконання поставлених задач.

- Всі вимоги до надійності скидального механізму в ЛА залежить від задач та його призначення та умов експлуатації.

- Для скидальних механізмів основна задача який доставка вантажів в важких умовах таких як місця пожеж, стихійні лиха та важкодоступні місця з поганими умовами середовища необхідно дотримуватись високіх вимог до надійності та експлуатаційної якості.

- Потрібно враховувати всі фактори для визначення надійності матеріалів та компонентів для ЛА з скидальним механізмом, такі як хімічні та фізичні властивості матеріалів, реакція матеріалів на фактори впливу навколишнього середовища та технічно-механічні властивості обраних матеріалів для скидального механізму ЛА.

- При виконанні процесу проектування та виготовлення ЛА з механізмом скидання необхідно врахувати велику кількість аспектів, такі як правильний розподіл навантаження в скидальному механізмі, продуманий хахист механізму від факторів впливу навколишнього середовища та побудова простого механізму скидання для полегшення експлуатації та обслуговування механізму.

- Відповідно до обумовлених вище правил безпечного використання ЛА з механізмом скидання було визначено що основними правилами для повного та безвідмовного виконання задач необхідно виконувати візуальний огляд механізму, вчасно та оперативно замінювати зношені деталі та чітко налаштовувати скидальний механізм для запобігання виведення з ладу його компонентів без вагомих на це причин.

Висновки по розділу: В даному розділі було розглянуто всі необхідні правила для безпечного користування та управління квадрокоптером з механізмом скидання та також було визначено головні правила техніки безпеки.

4. Розробка і установка датчиків положення літального апарату.

Для того щоб під час польоту ЛА з механізмом скидання міг чітко визначити своє положення в просторі та коректного визначення координат які є важливою частиною в польоті квадрокоптера використовується велика кількість датчиків, таких як:

- Гіроскоп – датчик призначений для визначення кутової швидкості обертання квадрокоптера.

Основними функціями гіроскопу є: відстеження положення ЛА в просторі (дані отримані від гіроскопу обробляються польотним контролером та використовуються для коришування обертів двигуна квадрокоптера що дозволяє йому стабільно виконувати зазначені команди пілота), коригування звалювання ЛА (гіроскоп визначає з якою силою фактори навколишнього середовища впливають на квадрокоптер та передають данні для стабілізації ЛА) та коректне використання функції автопілота (за допомогою гіроскопа ми маємо змогу реалізувати та налаштувати автопілот ЛА оскільки отримані дані від гіроскопа можуть дозволити використання функції утримання встановленої висоти та політ квадрокоптера за заданим маршрутом).

4.1. Огляд представлених гіроскопів.

Наразі всесвітньовідомим та більш використовуваними гіроскопами є такі моделі як InvenSense MPU-6050, STMicroelectronics LSM6DS3, Bosch BNO055.

- InvenSense MPU-6050 [9] (рис. 4.1) – один з найпопулярніших та легких у використанні гіроскопів який складається з 6-ти осьового гіроскопічного модуля 3-ри з яких виконують функції гіроскопа та 3-ри інші виконують функції акселерометра.

Наведемо основні характеристики акселерометру MPU-6050:

- Діапазон вимірювання 3-осьового гіроскопа $\pm 500, \pm 1000, \pm 2000$ °/с
- Діапазон вимірювання 3-осьового акселерометра $\pm 2, \pm 4, \pm 8, \pm 16$ g
- Цифровий інтерфейс на якому базується гіроскоп - I2C або SPI

- Необхідна напруга живлення гіроскопа: 2,4 - 3,6 В
- Необхідний робочий струм гіроскопа: 5 мА
- Розміри гіроскопа: 4 x 4 x 0,9 мм



Рис. 4.1 – гіроскоп InvenSense MPU-6050

Основними перевагами даного гіроскопа є:

- Доволі висока точність та стабільність виведення даних. Даний гіроскоп виводить одні з самих точних даних кутової швидкості та його положення серед аналогів.
- Розмір гіроскопа та його легка вага. Оскільки розробники даної моделі акцентували увагу на користувачів з сегменту квадрокоптерів то і розмір гіроскопу доволі малий. Дане рішення дозволяє інстальювати гіроскоп в ЛА з малим обсягом вільного місця.
- Низьке споживання електроенергії. Даний гіроскоп має дуже низьке електроспоживання що безпосередньо впливає на автономність квадрокоптера.
- Також одною з великих переваг даного гіроскопа є його простота використання, оскільки в інструкції по використанню повністю

розписаний процес підключення до програмного забезпечення гіроскопа та користуватись ним зможуть навіть користувачі які раніше не мали справи з гіроскопами.

- Однак з особистого досвіду роботи з даним гіроскопом було виявлено що через деякий час даний гіроскоп поступово втрачає свої функції та втрачає працездатність.

- Зазвичай InvenSense MPU-6050 використовують в якості основного елемента системи управління польотом ЛА. Він виконує ряд функцій при керуванні квадроптером, таких як визначення положення ЛА та кута його нахилу. В подальшому дана інформація використовується для стабілізації квадрокоптера шляхом зміни крутного зусилля на його двигунах, в деяких випадках даний гіроскоп використовують в якості простого автопілота та утримання стабільно-заданої висоти та положення ЛА.

- Відповідно данні які посилає гіроскоп отримують механізми управління, пілот та допоміжні пристрої оброблюють отриману інформацію та коригують рух ЛА.

- Інший популярний гіроскоп який використовується на сьогоднішній день - STMicroelectronics LSM6DS3 [8] (рис. 4.2).

- В порівнянні зі своїми аналогами даний гіроскоп має доволі низьку вартість та в співвідношенні ціна – якість його точність та стабільність тягнуть на інший ціновий сегмент.

Наведемо основні характеристики акселерометру STMicroelectronics LSM6DS3:

- Діапазон вимірювання 3-осьового гіроскопа $\pm 500, \pm 1000, \pm 2000$ °/с
- Діапазон вимірювання 3-осьового акселерометра $\pm 2, \pm 4, \pm 8, \pm 16$ g
- Цифровий інтерфейс на якому базується гіроскоп SPI або I2C
- Необхідна напруга живлення гіроскопа: 1.71 - 3.6 V
- Необхідний робочий струм гіроскопа: 0.9 мА
- Розміри гіроскопа: 3 x 3 x 0.96 мм

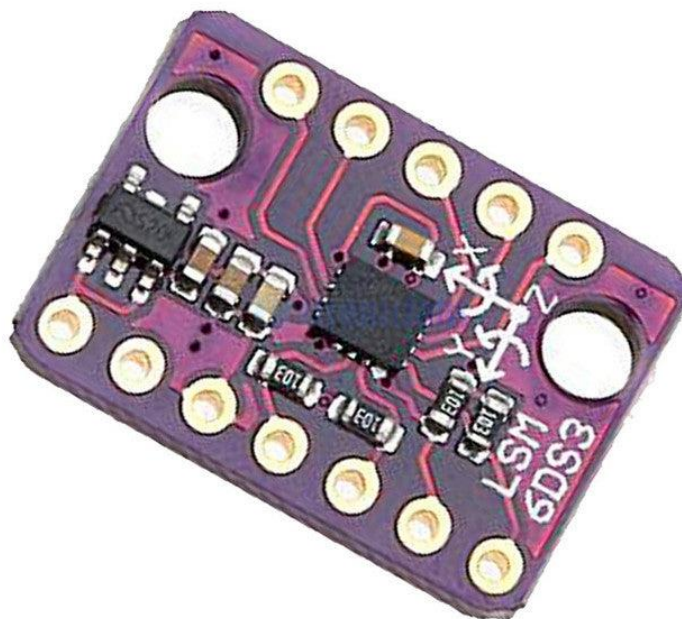


Рис. 4.2 – гіроскоп STMicroelectronics LSM6DS3

Основними перевагами даного гіроскопа є:

- Доволі висока точність та стабільність виведення даних. Даний гіроскоп виводить одні з самих точних даних кутової швидкості та його положення серед аналогів.

- Розмір гіроскопа та його легка вага. Оскільки розробники даної моделі акцентували увагу на користувачів з сегменту квадрокоптерів то і розмір гіроскопу доволі малий. Дане рішення дозволяє інсталювати гіроскоп в ЛА з малим обсягом вільного місця.

- Низьке споживання електроенергії. Даний гіроскоп має дуже низьке електроспоживання що безпосередньо впливає на автономність квадрокоптера.

- Також одною з великих переваг даного гіроскопа є його простота використання, оскільки в інструкції по використанню повністю розписаний процес підключення до програмного забезпечення гіроскопа та користуватись ним зможуть навіть користувачі які раніше не мали справи з гіроскопами.

- Як було зазначено що вартість данного гіроскопа є одною з найнижчих серед конкурентів тому даний гіроскоп є одним з найпопулярніших гіроскопів в несерійних проектах.

Зазвичай STMicroelectronics LSM6DS3 використовують в якості основного елемента системи управління польотом ЛА. Він виконує ряд функцій при керуванні квадрокоптером, таких як визначення положення ЛА та кута його нахилу. В подальшому дана інформація використовується для стабілізації квадрокоптера шляхом зміни крутного зусилля на його двигунах, в деяких випадках даний гіроскоп використовують в якості простого автопілота та утримання стабільно-заданої висоти та положення ЛА.

Відповідно данні які посилає гіроскоп отримують механізми управління, пілот та допоміжні пристрої оброблюють отриману інформацію та коригують рух ЛА. Відповідно до минулого гіроскопа даний елемент системи управління квадрокоптером має велику кількість переваг та способів застосування однак на відміну від InvenSense MPU-6050 у STMicroelectronics LSM6DS3 є додаткова функція яка залучається в можливості використання функції розпізнавання жестів від пілота та таким чином можна налаштувати управління камерою даного квадрокоптера.

Останнім найпопулярнішим гіроскопом для квадрокоптерів є Bosch BNO055 (рис. 4.3). Даний гіроскоп має найвищу точність та стабільність серед конкурентів на ринку. На відмінну від минулих прикладів в роботі даний гіроскоп є 9-осьовий, що також є безпосередньою перевагою.

Наведемо основні характеристики акселерометру Bosch BNO055[7]:

- Діапазон вимірювання 3-осьового гіроскопа $\pm 500, \pm 1000, \pm 2000$ °/с
- Діапазон вимірювання 3-осьового акселерометр $\pm 2, \pm 4, \pm 8, \pm 16$ g
- Діапазон вимірювання 3-осьового геомагнітного датчика (магнетометра)
- Цифровий інтерфейс на якому базується гіроскоп SPI або I2C
- Необхідна напруга живлення гіроскопа: 2.4 - 3.6 В
- Необхідний робочий струм гіроскопа: 2.2 мА

- Розміри гіроскопа: 3.1 x 3.0 x 0.95 мм

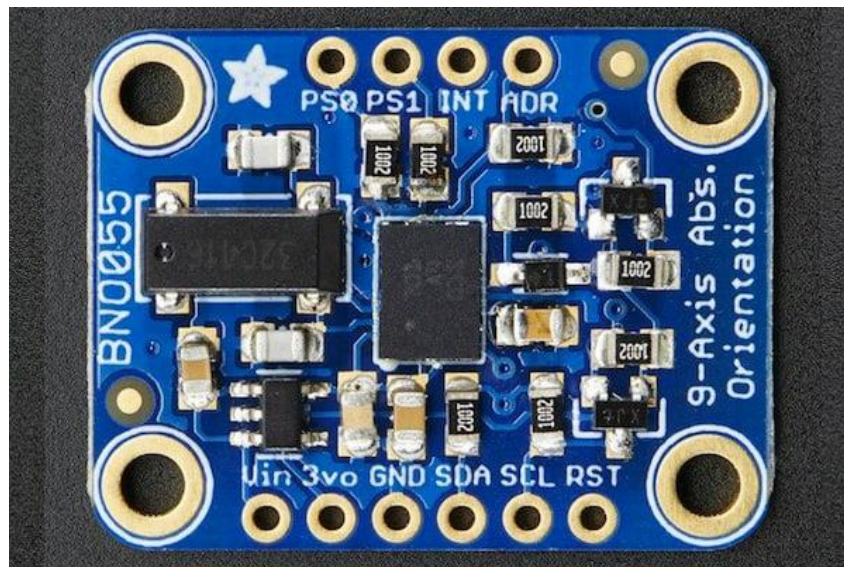


Рис. 4.3 – гіроскоп Bosch BNO055

Основними перевагами даного гіроскопа є:

- Основною перевагою даного гіроскопа є наявність інтегрованого магнітометра який призначений для орієнтування квадрокоптера в магнітному полі Землі. Дана модифікація гіроскопу допомагає ЛА точніше визначати положення в просторі.
- Також даний гіроскоп має чудово прописане програмне забезпечення завдяки якому гіроскоп зчитує дані з гіроскопа, акселерометра та магнітометра, порівнює їх та видає коректні значення під час польоту, що дозволяє ЛА коректно визначати його положення та напрямок руху.
- Висока точність та стабільність виведення даних. Даний гіроскоп виводить одні з самих точних даних кутової швидкості та його положення серед аналогів.
- Розмір гіроскопа та його легка вага. Оскільки розробники даної моделі акцентували увагу на користувачів з сегменту квадрокоптерів то і розмір гіроскопу доволі малий. Дане рішення дозволяє інстальювати гіроскоп в ЛА з малим обсягом вільного місця.

- Низьке споживання електроенергії. Даний гіроскоп має дуже низьке електроспоживання що безпосередньо впливає на автономність квадрокоптера.
- Також одною з великих переваг даного гіроскопа є його простота використання, оскільки в інструкції по використанню повністю розписаний процес підключення до програмного забезпечення гіроскопа та користуватись ним зможуть навіть користувачі які раніше не мали справи з гіроскопами.

Гіроскоп Bosch BNO055 чудово зарекомендував себе в побудові ЛА та їх управлінні. На рівні з аналогами він може використовуватись для стабілізації квадрокоптера (дані від гіроскопа поєднуються та використовуються для стабілізації ЛА, визначення кута нахилу квадрокоптера для коригування обертів двигунів), коректної роботи автопілота.

Відповідно данні які посилає гіроскоп отримують механізми управління, пілот та допоміжні пристрої оброблюють отриману інформацію та коригують рух ЛА. Відповідно до минулого гіроскопа даний елемент системи управління квадрокоптером має велику кількість переваг та способів застосування однак в даному гіроскопі так як в його конкурентів так само є додаткова функція яка залучається в можливості використання функції розпізнавання жестів від пілота та таким чином можна налаштувати управління камерою даного квадрокоптера.

- Для виконання проекту було вибрано Bosch BNO055 в якості основного гіроскопа для Квадрокоптера з механізмом скидання оскільки в порівнянні з іншими моделями він є найкращим у відповідності ціна та якість.

- Акселерометр – датчик призначений для визначення прискорення квадрокоптера (також має функції визначення положення ЛА та кута нахилу квадрокоптера).

- Через унікальність датчиків положення ЛА деякі функції та моделі які були запропоновані раніше оскільки зазвичай через стрімкий розвиток електроніки для зменшення ваги ЛА один компонент поєднує в собі функції

іншого. Відповідно деякі функції зазначені в акселерометрі та гіроскопі можуть замінювати один одного.

- Основними функціями акселерометра є: відстеження положення ЛА в просторі (дані отримані від акселерометра обробляються польотним контролером та використовуються для коришування обертів двигуна квадрокоптера що дозволяє йому стабільно виконувати зазначені команди пілота), акселерометри також використовуються для компенсації дрейфу квадрокоптера, а саме при дії на ЛА факторів навколишнього середовища таких як злива, пориви вітру або інші фактори акселерометр обробляє дану інформацію та коригує положення квадрокоптера в просторі. Так само на відміну від гіроскопа, акселерометр частіше має функцію автопілота для коректної реалізації функції утримання висоти квадрокоптера, утримання положення квадрокоптера в просторі та забезпечення польоту ЛА за зазначеним пілотом маршрутом.

4.2. Огляд представлених акселерометрів.

Наразі всесвітньовідомим та більш використовуваними акселерометрами є такі моделі як InvenSense MPU-6500, STMicroelectronics LSM303AGR, Bosch BMA280.

- InvenSense MPU-6500 [12] (рис. 4.4) – це акселерометр який є більш точний, стабільнішим та дешевий аналог гіроскопу InvenSense MPU-6050. Так само даний акселерометр має ряд нових функцій на відміну від InvenSense MPU-6050.

Наведемо основні характеристики акселерометру InvenSense MPU-6500:

- Діапазон вимірювання 3-осьового гіроскопа $\pm 500, \pm 1000, \pm 2000$ °/с
- Діапазон вимірювання 3-осьового акселерометр $\pm 2, \pm 4, \pm 8, \pm 16$ g
- Цифровий інтерфейс на якому базується гіроскоп SPI або I2C
- Необхідна напруга живлення гіроскопа: 2.4 - 3.6 В
- В будову акселерометра було додано цифровий сигнальний процесор (DSP) та програму яка дозволяє корегувати рух ЛА (DMP)
- Необхідний робочий струм гіроскопа: 5.0 мА

- Розміри гіроскопа: 3.0 x 3.0 x 0.9 мм

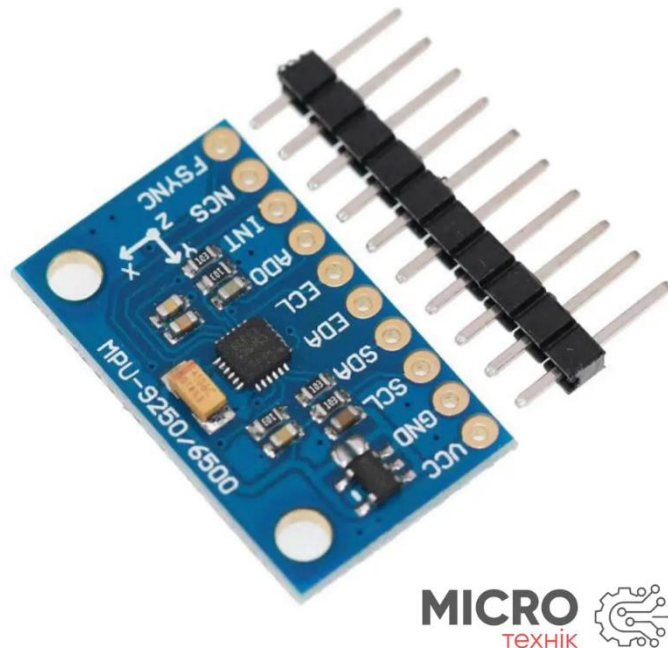


Рис. 4.4 – акселерометр InvenSense MPU-6500

Основними перевагами даного акселерометра є:

- Основною перевагою даного акселерометра є висока точність та його стабільність в співвідношенні ціна – якість, дані переваги допомагають квадрокоптеру орієнтуватись в просторі більш точно та безпомилково визначати напрямок руху.

- Також даний акселерометр має чудову функцію вбудованого цифрового сигнального процесора який дозволяє акселерометру проводити необхідні обчислення та розрахунки які необхідні для польоту та коректного визначення короткого напрямку руху. Дана функція так само сприяє вільній роботі основного мікроконтролера та не перевантажувати його зайвою інформацією та розрахунками .

- Також даний акселерометр має функцію програмної корекції руху. Основним призначенням даної функції є коригування отриманих даних від гіроскопу та акселерометру. Використання даної функції дозволяє коректно та

більш швидко отримати коректне положення та орієнтацію квадрокоптера в просторі.

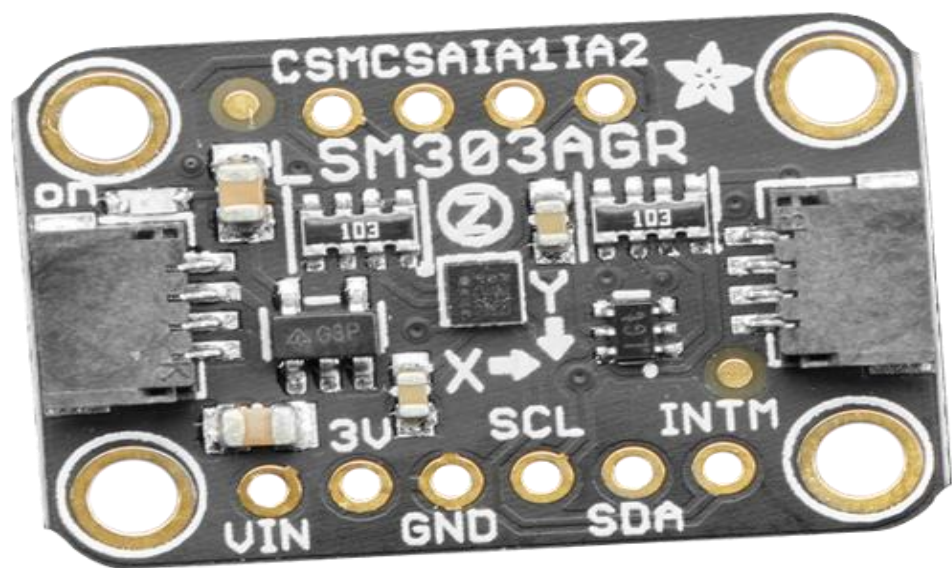
- Акселерометр був оснащений рядом нових функцій таких як детектором що визначає падіння ЛА та записує його останні координати також було додано розпізнавання жестів для більш чіткого управління квадрокоптером на коротких дистанціях.

- Розмір акселерометра та його легка вага. Оскільки розробники даної моделі акцентували увагу на користувачів з сегменту квадрокоптерів то і розмір акселерометра доволі малий. Дане рішення дозволяє інсталиувати акселерометр в ЛА з малим обсягом вільного місця.

- Низьке споживання електроенергії. Даний акселерометр має дуже низьке електроспоживання що безпосередньо впливає на автономність квадрокоптера.

- Також одною з великих переваг даного акселерометра є його простота використання, оскільки в інструкції по використанню повністю розписаний процес підключення до програмного забезпечення гіроскопа та користуватись ним зможуть навіть користувачі які раніше не мали справи з акселерометрами та гіроскопами.

STMicroelectronics LSM303AGR [8] (рис. 4.5 а,б) – це акселерометр який є більш точний, стабільнішим та дешевий аналог гіроскопу InvenSense



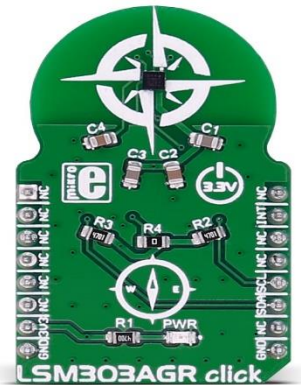


Рис. 4.5 (а,б) – акселерометр STMicroelectronics LSM303AGR

MPU-6050. Так само даний акселерометр має ряд нових функцій на відміну від InvenSense MPU-6050.

Наведемо основні характеристики акселерометру STMicroelectronics LSM303AGR:

- Діапазон вимірювання 3-осьового гіроскопа , ± 500 , ± 1000 , ± 2000 °/с
- Діапазон вимірювання 3-осьового акселерометр ± 2 , ± 4 , ± 8 , ± 16 g
- Цифровий інтерфейс на якому базується акселерометра I²C або SPI
- Необхідна напруга живлення гіроскопа: 2.4 - 3.6 В
- Точність пристрою становить: $\pm 2\%$
- Температури для нормальної роботи акселерометра становлять -40°C до $+85^{\circ}\text{C}$
- Стабільність акселерометра становить ± 0.005 g/с що в порівнянні з його точністю є дуже хорошим показником
- Необхідний робочий струм для роботи акселерометра: 1.2 мА
- Даний акселерометр є універсальним та використовується в

квадрокоптерах для реалізації великої кількості функцій, таких як:

- насамперед даний пристрій використовується безпосередньо за своїм призначенням, а саме є точним та стабільним акселерометром який є дуже популярним серед користувачів через свою вартість та надійність.

- Основними функціями є стабілізація квадрокоптера в просторі, виконання цільових задач ЛА та коректне позиціонування квадрокоптера. Також даний акселерометр використовується для кореткної реалізації автопілота та реалізації польота квадрокоптера за заданими координатами.

- даний акселерометр з огляду на свою точність та надійність має широку популярність у використанні серед безпілотних літальних апаратів оскільки через можливість кореткної реалізації автопілота пілоти мають змогу реалізувати налаштування безпілотної місії польоту.

- оскільки даний акселерометр було на диву добре скопмоновано, виконано на розроблено даний акселерометр також використовуєбся в пристоях таких як смартфони та портативні компютери. Даний акселеромерт виконує функції подібні до функцій які виконує в ЛА, а саме орієнтація пристроїв в просторі та виявлення падіння пристрою.

Третім представником надійних та точних акселерометрів який вподобали користувачі є Bosch BMA280.

4.3. Огляд представлених магнітометрів.

Bosch BMA280 (рис. 4.6 (а -вид зверху, б- вид знизу)) – це представник точних та стабільних 3-осьових акселерометрів. Даний акселерометр через своє виконання має щирокий спектр можливостей та широкий діапазон вимірювання даних та низький рівень шуму. Даний акселерометр був визначений користувачами як найкращий варіант для побудови квадрокоптерів та використовується зазвичай для точного положення ЛА та його орієнтації в просторі.

Даний акселерометр має широкий спектр використання, таких як:

- акселерометр Bosch BMA280 набув великої популярності в побудові квадрокоптерів через свою стабільність та точність вимірювання прискорення

ЛА що дозволяє при відхиленнях положення квадрокоптера стабілізувати його положення в просторі компенсуючи підвищенням або зниженням обертів квігунів вібрації квадрокоптера. Також даний акселерометр призначений для контролю складних маневрів квадрокоптера та через свою високу точність може контролювати чіткий політ ЛА.

- Зазвичай даний акселерометр встановлюють в квадрокоптери однак він також набів популярності в безпілотних літальних апаратах оскільки без зайвої втрати енергії може чітко використовувати отримані дані для управління положення ЛА та реалізації функції автопілота (утрамання висоти, політ за маршрутом та реалізація автоматичного польоту та посадки)

- акселерометр також використовується в пристроях які ми зустрічаємо в повсякденному житті, таких як смартфонах та розумних годинниках. Даний акселерометр використовується для аналізу активності користувача, визначення точного положення пристрою в просторі.

Наведемо основні характеристики акселерометру Bosch BMA280 [30]:

- Діапазон вимірювання 3-осьового гіроскопа $\pm 250, \pm 500, \pm 1000, \pm 2000$ °/с
- Діапазон вимірювання 3-осьового акселерометр $\pm 2, \pm 4, \pm 8, \pm 16$ g
- Цифровий інтерфейс на якому базується акселерометра I²C або SPI
- Необхідна напруга живлення гіроскопа: 2.4 - 3.6 В
- Точність пристрою становить: $\pm 1\%$
- Температури для нормальної роботи акселерометра становлять -40°C до $+85^{\circ}\text{C}$
- Стабільність акселерометра становить ± 0.02 g/с що в порівнянні з його точністю є дуже хорошим показником
- Шум який випромінює акселерометр: $1.5 \text{ mg}/\sqrt{\text{Гц}}$

Необхідний робочий струм для роботи акселерометра: 0.45 мкА



Рис. 4.6 а – вид зверху акселерометра Bosch BMA280



Рис. 4.6 б – вид знизу акселерометра Bosch BMA280

Основними перевагами даного акселерометра є:

- Основною перевагою даного акселерометра є висока точність та його стабільність в співвідношенні ціна – якість, дані переваги допомагають квадрокоптеру орієнтуватись в просторі більш точно та безпомилково визначати напрямок руху. Також вбудований магнітомоментр допомагає краще акселерометру справлятися з поставленими задачами.

- Також даний акселерометр має чудову функцію вбудованого цифрового сигнального процесора який дозволяє акселерометру проводити необхідні

обчислення та розрахунки які необхідні для польоту та коректного визначення короткого напрямку руху. Дана функція так само сприяє вільній роботі основного мікроконтролера та не перевантажувати його зайвою інформацією та розрахунками. Даний акселерометр вважається стабільним та може без проблем компенсувати дрейф квадрокоптера та його відхилення від зазначеного курсу.

- Також даний акселерометр має функцію програмної корекції руху. Основним призначенням даної функції є коригування отриманих даних від гіроскопу та акселерометру. Використання даної функції дозволяє коректно та більш швидко отримати коректне положення та орієнтацію квадрокоптера в просторі.

- Акселерометр був оснащений рядом нових функцій таких як детектором що визначає падіння ЛА та записує його останні координати також було додано розпізнавання жестів для більш чіткого управління квадрокоптером на коротких дистанціях.

- Розмір акселерометра та його легка вага. Оскільки розробники даної моделі акцентували увагу на користувачів з сегменту квадрокоптерів то і розмір акселерометра доволі малий. Дане рішення дозволяє інсталиувати акселерометр в ЛА з малим обсягом вільного місця.

- Низьке споживання електроенергії. Даний акселерометр має дуже низьке електроспоживання що безпосередньо впливає на автономність квадрокоптера.

- акселерометр через його малий розмір, компактність компонентів та простоту побудови має малу вартість через що є доступним для початківців.

- Також одною з великих переваг даного акселерометра є його простота використання, оскільки в інструкції по використанню повністю розписаний процес підключення до програмного забезпечення гіроскопа та користуватись ним зможуть навіть користувачі які раніше не мали справи з гіроскопами.

Даний акселерометр Bosch BMA280 є найкращим серед своїх конкурентів в співвідношенні ціна – якість та в купі зі своїми можливостями було прийнято рішення обрати його для використання його в проекті побудові квадрокоптера з механізмом скидання.

- наступними датчиками для визначення положення квадрокоптера які мають велику популярність в застосуванні є Магнітометри (рис. 4.7).

Магнітометр [31] широковикористований пристрій (компонент побудови квадрокоптера) призначений для вимірювання магнітного поля Землі. Основним призначенням магнітометру є визначення положення ЛА апарату в просторі та визначення його напрямку руху.

Магнітомерт є одною з основних частин в орієнтуванні літального апарату та є його важливою частиною для управління квадрокоптера. Дана частина компонентів управління квадрокоптера дозволяє реалізувати такі функції як:

- утримання заданої висоти для ЛА
- утримання необхідного положення ЛА в просторі
- реалізація функції атоматичного зльоту та посадки



Рис. 4.7 – приклад магнітометра

Згідно з міжнародним стандартом магнітометр має три осі координат (X, Y, Z) для вимірювання необхідних даних. Дане налаштування мікросхеми дозволяє точно визначити три компоненти магнітного поля Землі та коректний курс та положення в просторі.

Для забезпечення відповідних стандартів безпеки магнітометр встановлюють в такому місці на рамі квадрокоптера де магнітометр буде захищений від дії зовнішніх факторів (вологи, сильних поривів вітру та потрапляння бруду).

Також магнітометр повинен бути захищений від впливу інших компонентів квадрокоптера та джерел електромагнітного випромінювання яке вони можуть випромінювати. Для забезпечення точних та коректних даних магнітометра його перед встановленням калібрують та налаштовують правильну його орієнтацію в магнітному полі.

Одними з найвикористовуваних моделей магнітометрів є LSM303AGR, HMC5883L та AK8963.

- LSM303AGR [32] (рис. 4.8) – магнітометр виконаний компанією STMicroelectronics в дуже хорошому формфакторі що дозволило створити точний магнітометр який також має низький рівень шуму. Деякі з інженерів по збиранню квадрокоптерів та безпілотних літальних апаратів вважають що даний магнітометр є ідеальним для встановлення в ЛА. Даний магнітометр забезпечує найбільш точну орієнтацію ЛА в просторі.

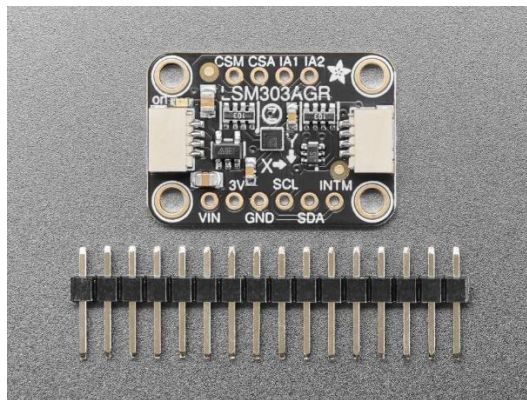


Рис. 4.8 – магнітометр LSM303AGR

Основними перевагами даного магнітометра LSM303AGR є:

- Основною перевагою даного магнітометра є висока точність та його стабільність в співвідношенні ціна – якість, дані переваги допомагають квадрокоптеру орієнтуватись в просторі більш точно та безпомилково визначати напрямок руху. Також магнітометр може вимірювати слабкі магнітні поля що дозволяє краще виконувати поставлену задачу. Точність даного магнітометра становить 1,5 мкТл.

- Також даний магнітометр було виготовлено з можливістю вимірювання трьох компонентів магнітного поля Землі . Оскільки магнітометр визначає положення та магнітне поле за трьома осями координат (X, Y, Z) магнітометр

визначає справжній курс напрямку навіть за умов відсутності магнітного поля або ж його високого перешкоджання роботі магнітометра.

- Також даний магнітометр має доволі низький рівень шуму та його величина становить до 0,03 мікротесла. Оскільки рівень шуму пристрою досить низький можна зазначити що даний магнітометр можна використовувати для визначення точних даних для коректного польоту.

- Акселерометр був оснащений рядом нових функцій таких як детектором що визначає падіння ЛА та записує його останні координати також було додано розпізнавання жестів для більш чіткого управління квадрокоптером на коротких дистанціях.

- Розмір магнітометра та його легка вага. Оскільки розробники даної моделі акцентували увагу на користувачів з сегменту квадрокоптерів то і розмір акселерометра доволі малий. Дане рішення дозволяє інсталиувати магнітометр в ЛА з малим обсягом вільного місця.

- Низьке споживання електроенергії. Даний магнітометр має дуже низьке електроспоживання до 0,7 міліампер що безпосередньо впливає на автономність квадрокоптера.

- магнітометр через його малий розмір, компактність компонентів та простоту побудови має малу вартість через що є доступним для початківців.

- Також одною з великих переваг даного магнітометр є виконання його в різних формфакторах, таких як:

- планарні та кульові формати корпусів
- системи управління на основі плат Arduino
- системи управління на основі плат Raspberry Pi
- системи управління на основі плат STM32

HMC5883L [33](рис. 4.9) – магнітометр виконаний компанією Honeywell. В хорошому формфакторі що дозволило створити точний магнітометр який також має низький рівень шуму. Деякі з інженерів по збиранню квадрокоптерів та безпілотних літальних апаратів вважають що даний магнітометр є ідеальним для

встановлення в ЛА. Даний магнітометр забезпечує найбільш точну орієнтацію ЛА в просторі.

- При порівнянні магнітометру HMC5883L та LSM303AGR інженери по збиранню ЛА опираються на потрібні задачі в квадрокоптері. Оцінивши дані магнітометри було визначено що для більшої точності необхідних вимірювань та меншого енергоспоживання зазвичай використовують магнітометр LSM303AGR, однак при потсановці завдання яке містить наявність низького рівня шуму було визначено що кращий магнітометр для цього - HMC5883L. Вибір магнітометра напряду залежить від поставлених задач перед збиранням квадрокоптера.

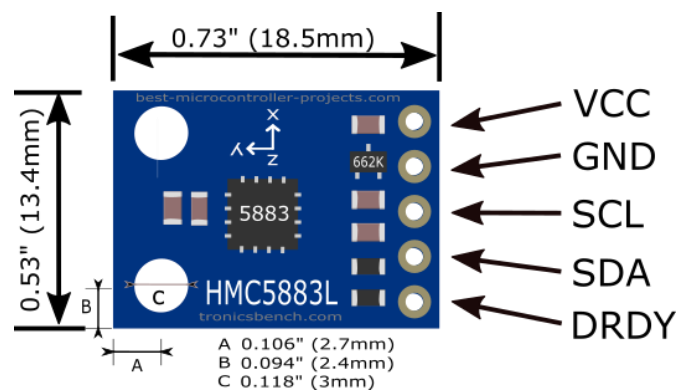


Рис. 4.9 – магнітометр HMC5883L зі схемою його підключення

Основними перевагами даного магнітометра HMC5883L є:

- Основною перевагою даного магнітометра є висока точність та його стабільність в співвідношенні ціна – якість, дані переваги допомагають квадрокоптеру орієнтуватись в просторі більш точно та безпомилково визначати напрямок руху. Також магнітомоментр може вимірювати слабкі магнітні поля що дозволяє краще виконувати поставлену задачу. Точність даного магнітометра становить 1,3 мкТл.

- Також даний магнітометр було виготовлено з можливістю вимірювання трьох компонентів магнітного поля Землі . Оскільки магнітометр визначає положення та магнітне поле за трьома осями координат (X, Y, Z) магнітометр

визначає справжній курс напрямку навіть за умов відсутності магнітного поля або ж його високого перешкоджання роботі магнітометра.

- Також даний магнітометр має доволі низький рівень шуму та його величина становить до 0,01 мікротесла. Оскільки рівень шуму пристрою досить низький можна зазначити що даний магнітометр можна використовувати для визначення точних даних для коректного польоту.

- Акселерометр був оснащений рядом нових функцій таких як детектором що визначає падіння ЛА та записує його останні координати також було додано розпізнавання жестів для більш чіткого управління квадрокоптером на коротких дистанціях.

- Розмір магнітометра та його легка вага. Оскільки розробники даної моделі акцентували увагу на користувачів з сегменту квадрокоптерів то і розмір акселерометра доволі малий. Дане рішення дозволяє інсталиувати магнітометр в ЛА з малим обсягом вільного місця.

- Низьке споживання електроенергії. Даний магнітометр має дуже низьке електроспоживання до 1,0 міліампер що безпосередньо впливає на автономність квадрокоптера.

- магнітометр через його малий розмір, компактність компонентів та простоту побудови має малу вартість через що є доступним для початківців.

- Також одною з великих переваг даного магнітометр є виконання його в різних формфакторах, таких як:

- планарні та кульові формати корпусів
- системи управління на основі плат Arduino
- системи управління на основі плат Raspberry Pi
- системи управління на основі плат STM32

AK8963 [34](рис. 4.10) – магнітометр який має в порівнянні з іншими моделями найменшу вартість та найпростіший для його інтеграції в систему квадрокоптера.

- В даному формфакторі що дозволило створити точний магнітометр який також має низький рівень шуму. Деякі з інженерів по збиранню

квадрокоптерів та безпілотних літальних апаратів вважають що даний магнітометр є ідеальним для встановлення в ЛА. Даний магнітометр забезпечує найбільш точну орієнтацію ЛА в просторі.

- Однак даний формфактор також є недоліком магнітометра оскільки він використовує нестандартний формат даних що ускладнює його використання навіть для досвідчених інженерів збирання квадрокоптерів.

4.4. Вибір датчиків положення ЛА для реалізації проекту.

При порівнянні магнітометрів AK8963, HMC5883L та LSM303AGR інженери по збиранню ЛА опираються на потрібні задачі в квадрокоптері. Оцінивши дані магнітометри було визначено що для більшої точності необхідних вимірювань та меншого енергоспоживання зазвичай використовують магнітометр LSM303AGR, однак при потсановці завдання яке містить наявність низького рівня шуму було визначено що кращий магнітометр для цього - HMC5883L. Якщо необхідно обрати магнітометр який зможе видавати високу точність та вимірювати сильні магнітні поля Землі то зазвичай використовують магнітометр AK8963. Вибір магнітометра напряму залежить від поставлених задач перед збиранням квадрокоптера.

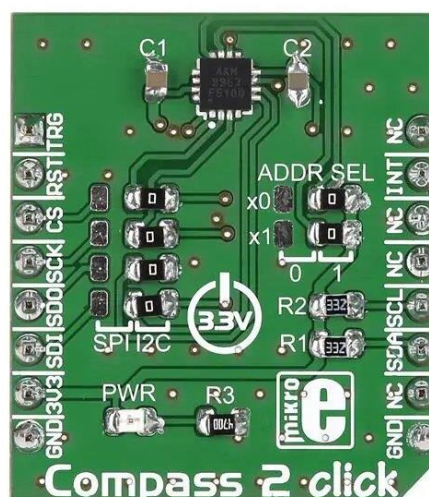


Рис. 4.10 – магнітометр AK8963

Основними перевагами та характеристиками даного магнітометра АК8963 є:

- Основною перевагою даного магнітометра є висока точність та його стабільність в співвідношенні ціна – якість, дані переваги допомагають квадрокоптеру орієнтуватись в просторі більш точно та безпомилково визначати напрямок руху. Також магнітометр може вимірювати слабкі магнітні поля що дозволяє краще виконувати поставлену задачу. Точність даного магнітометра становить 4800 мкТл.

- Також даний магнітометр було виготовлено з можливістю вимірювання трьох компонентів магнітного поля Землі . Оскільки магнітометр визначає положення та магнітне поле за трьома осями координат (X, Y, Z) магнітометр визначає справжній курс напрямку навіть за умов відсутності магнітного поля або ж його високого перешкоджання роботі магнітометра.

- Також даний магнітометр має доволі низький рівень шуму та його величина становить до 100 мкТл. Оскільки рівень шуму пристрою досить низький можна зазначити що даний магнітометр можна використовувати для визначення точних даних для коректного польоту.

- Акселерометр був оснащений рядом нових функцій таких як детектором що визначає падіння ЛА та записує його останні координати також було додано розпізнавання жестів для більш чіткого управління квадрокоптером на коротких дистанціях.

- Розмір магнітометра та його легка вага. Оскільки розробники даної моделі акцентували увагу на користувачів з сегменту квадрокоптерів то і розмір акселерометра доволі малий. Дане рішення дозволяє інсталиювати магнітометр в ЛА з малим обсягом вільного місця.

- Низьке споживання електроенергії. Даний магнітометр має дуже низьке електроспоживання до до 280 мкА що безпосередньо впливає на автономність квадрокоптера.

- магнітометр через його малий розмір, компактність компонентів та простоту побудови має малу вартість через що є доступним для початківців.

- Також одною з великих переваг даного магнітометр є виконання його в різних формфакторах, таких як:

- планарні та кульові формати корпусів
- системи управління на основі плат Arduino
- системи управління на основі плат Raspberry Pi
- системи управління на основі плат STM32

Висновок по розділу: Розглянувши представлені варіанти датчиків положення літального апарату було визначено що найкращим варіантом для встановлення на квадрокоптер з механізмом скидання є акселерометр Bosch BNO055 через те що даний датчик положення включає в себе акселерометр, гіроскоп та магнітометр та дивлячись на його характеристики та переваги значно обходить представлені моделі від інших виробників.

5. Способи керування квадрокоптером та скидальним механізмом.

5.1. Загальна інформація щодо способів керування.

Для керування квадрокоптером з механізмом скидання зазвичай використовують такі елементи керування:

- апаратури для керування квадрокоптером з налаштуванням відповідних кнопок для керування скидом.
- використання автопілотів – тобто при знаходженні квадрокоптера у відповідних координатах активується функція скидального механізму та відбувається відвантаження вантажу.
- використання розроблених таймерів – при польоті квадрокоптеру використовується таймер запрограмований на відповідний проміжок часу розрахований перед польотом. Після того як запрограмований час буде вичерпано скидальний механізм ЛА активується та відбувається відвантаження вантажу .

5.2. Порівняння аналогових та цифрових систем керування.

Апарату для керування ЛА поділяються на 2 типи в залежності від використаного сигналу, а саме:

- цифрові – є апаратурами більш великого цінового сегменту оскільки маю більш великий діапазон переваг над аналоговими апаратурами. Такі апаратури можуть використовувати вбудовану GPS навігацію, повністю та детально визначати положення квадрокоптера в просторі та використовувати функцію маневрування та виявлення перешкод які можуть зашкодити літальному апарату або ж припинити його політ, так само за допомогою цифрових апаратур можлива реалізація функції автопілоту та автоматичного польоту. Дані функції полегшують керування квадрокоптером пілота або ж зводять його участь в польоту лише до контролю стабільності ЛА .

Наразі на ринку є велика кількість професійних цифрових апаратів та апаратів для новачків. Найпопулярнішими з них є:

- FrSky Taranis X9D[35] (рис. 5.1) – популярна модель цифрової апаратури серед пілотів яка за роки використання зарекомендувала себе як надійний компонент в керуванні літальними апаратами. Дана апаратура згідно з відгуками пілотів є дуже надійною, функціональною та доступною до великої кількості модифікацій. Дана апаратура призначена для використання пілотами з великим досвідом пілотування оскільки має велику кількість додаткових функцій які можуть заважати пілотам початківцям.



Рис. 5.1 – апаратура FrSky Taranis X9D

Наведемо основні характеристики цифрової апаратури FrSky Taranis X9D:

- Дана паратаура побудована на основі передового, цифрового радіомодуля ACCST. Компанія FrSky самостійно розробила даний радіомодуль який забезпечує велику дальність сигналу для управління квадрокоптером та даний

модуль має досить стабільний сигнал який з легкістю може витримати будь -які перешкоди сигналу.

- відповідно через доволі значну вартість даної апаратури вона оснащена передовими технологіями з розрахунку радіотехнологій тому дана апаратура оснащена 16-тю каналами зв'язку що дозволяє керувати квадрокоптером на великій дистанції та розкрити всі його функціональні можливості.

- В прошивку цифрової апаратури вбудовано програмне забезпечення компанії FrSky під назвою OpenTX. Дане програмне забезпечення має доволі відкриту ОС (операційну систему) яка дозволяє налаштувати апаратуру під потреби пілота, встановлювати та кастомізувати прошивки для зручності використання кожного користувача.

- Також апаратура має дизайн який розроблявся роками консультацій з пілотами тому апаратура FrSky Taranis X9D має інтуїтивно зрозуміле розположення перемикачів та кнопок. Також пілоти які використовують дану апаратуру для польоту зазначають що даний пристрій керування має зручні джойстики керування що допомагає вправніше та точніше керувати ЛА під час польоту. Також апаратура оснащена дисплеєм який відображає всю необхідну інформацію для польоту та налаштування квадрокоптера.

- Оскільки апаратура має велику кількість позитивних відгуків від пілотів вони також відзначають високу точність встановлених джойстиків, дана апаратура має чітке та плавне керування що є однією з найголовніших її функцій.

- Дана апаратура як зазначалось вище має всі функції для кастомізації та її модернізації тому дана апаратура підтримує встановлення сторонньої телеметрії що дозволить пілоту отримувати чіткі та стабільні дані про стан та положення квадрокоптера в реальному часі.

Так само дана апаратура має декілька модифікацій та версій які відрізняються своїм функціоналом. Дані версії мають назву Taranis X9D Plus (дана версія є початковою та базовою та не облаштована додатковими функціями), Taranis X9D Plus 2019 (більш нова версія апаратури яка має ряд додаткових функцій та модифікацій одними з яких є інтеграція кнопки швидкого запуску квадрокоптера та покращеного його керування) та Taranis X9D SE (дана

версія є спеціальною та найдорожчою з представлених моделей. Одною з найбільших відмінностей від інших моделей є додаткові функції керування та модифікований дизайн апаратури).

З огляду на характеристики даної цифрової апаратури та на відгуки пілотів було сформовано ряд переваг даної системи керування над конкурентами, такі як:

- Пілотами які користуються даною апаратурою було визначено що дана апаратура володіє високою надійністю та точністю управління.

- Через відкриту операційну систему апаратура має можливість модифікації та широкі можливості її використання.

З огляду на характеристики апаратури та її переваги вона також має ряд недоліків однак вони викладані здебільшого високою вартістю апаратури та складністю керування для нових користувачів.

- іншим представником цифрової апаратури є Jumper T16 [36](рис. 5.2) – одна з найпопулярніших моделей цифрової апаратури серед пілотів яка за роки використання зарекомендувала себе як надійний компонент в керуванні літальними апаратами. Дана апаратура є надійною, функціональною та доступною до великої кількості модифікацій за рахунок своєї прошивки. Дана апаратура призначена для використання пілотами з великим досвідом пілотування оскільки має велику кількість додаткових функцій та перемикачів.



Рис. 5.2 – апаратура Jumper T16

Наведемо основні характеристики цифрової апаратури Jumper T16:

- Дана паратаура побудована на основі передового, цифрового радіомодуля Multi-Protoco. Компанія виробник апаратури самостійно розробила даний радіомодуль який забезпечує велику дальність сигналу для управління квадрокоптером та даний модуль має досить стабільний сигнал який з легкістю може витримати будь -які перешкоди сигналу. Також даний радіомодуль дозволяє підключати апаратуру до великої кількості квадрокоптерів та підтримує різні протоколи безпеки.

- відповідно через доволі значну вартість даної апаратури вона оснащена передовими технологіями з розрахунку радіотехнологій тому дана апаратура оснащена 16-тю каналами зв'язку що дозволяє керувати квадрокоптером на великій дистанції та розкрити всі його функціональні можливості.

- В прошивку цифрової апаратури вбудовано програмне забезпечення компанії виробник апаратури Jumper під назвою OpenTX. Дане програмне забезпечення має доволі відкриту ОС (операційну систему) яка дозволяє налаштувати апаратуру під потреби пілота, встановлювати та кастомізувати прошивки для зручності використання кожного користувача.

- Також апаратура має ергономічний дизайн який розроблявся роками консультацій з пілотами тому апаратура Jumper T16 має інтуїтивно зрозуміле розположення перемикачів та кнопок. Також пілоти які використовують дану апаратуру для польоту зазначають що даний пристрій керування має зручні джойстики керування що допомагає вправніше та точніше керувати ЛА під час польоту. Також апаратура оснащена дисплеєм який відображає всю необхідну інформацію для польоту та налаштування квадрокоптера. Також одним з плюсів даної апаратури є наявність яскравого дисплею на якому чітко відображено всю інформацію.

- Дана апаратура обладнена функцією Tri-Slot Module Bay. Дана функція дозволяє встановити три додаткові модулі, таких як додаткові радіомодулі, телеметрії та інсталяція додаткового живлення для підвищення автономності апаратури.

- Оскільки апаратура має велику кількість позитивних відгуків від пілотів вони також відзначають високу точність встановлених джойстиків, дана апаратура має чітке та плавне керування що є однією з найголовніших її функцій.

- Дана апаратура як зазначалось вище має всі функції для кастомізації та її модернізації тому дана апаратура підтримує встановлення сторонньої телеметрії що дозволить пілоту отримувати чіткі та стабільні дані про стан та положення квадрокоптера в реальному часі.

З огляду на характеристики даної цифрової апаратури та на відгуки пілотів було сформовано ряд переваг даної системи керування над конкурентами, такі як:

- Пілотами які користуються даною апаратурою було визначено що дана апаратура володіє високою надійністю та точністю управління.

- Можливість вибору великої кількості протоколів що дозволяє управляти багатьма версіями квадрокоптерів.

- За допомогою функції Tri-Slot Module Bay можливості апаратури відкриваються на всі 100% та результативно пілотувати літальними апаратами.

- Через відкриту операційну систему апаратура має можливість модифікації та широкі можливості її використання.

З огляну на характеристики апаратури та її переваги вона також має ряд недоліків, таких як:

- При використанні Jumper T16 пілоти відзначають що в порівнянні з моделями конкурентів апаратура має нижчу якість використаних матеріалів.

- Оскільки для повноцінного використання апаратури необхідно володіти знаннями операційної системи OpenTX деякі користувачі повідомляють про складнощі при використанні апаратури.

Останнім представником загальноновживаних апаратів є Radiomaster TX16S [37](рис. 5.3) – нова модель цифрової апаратури яка масово використовується для пілотування літальних апаратів оскільки має лояльну вартість в порівнянні з її конкурентами. Вважається що дана апаратура є досить надійною та точною. Radiomaster TX16S є надійним представником елементів керування квадрокоптера, функціональною та доступною до великої кількості

модифікацій за рахунок своєї прошивки. Дана апаратура призначена для використання пілотами з великим досвідом пілотування оскільки має велику кількість додаткових функцій та перемикачів.



Рис. 5.3 – апаратура Radiomaster TX16S

Наведемо основні характеристики цифрової апаратури Jumper T16:

- Дана паратаура побудована на основі передового, цифрового радіомодуля Multi-Protoco. Компанія виробник апаратури самостійно розробила даний радіомодуль який забезпечує велику дальність сигналу для управління квадрокоптером та даний модуль має досить стабільний сигнал який з легкістю може витримати будь -які перешкоди сигналу. Також даний радіомодуль дозволяє підключати апаратуру до великої кількості квадрокоптерів та підтримує різні протоколи безпеки.

- відповідно через доволі значну вартість даної апаратури вона оснащена передовими технологіями з розрахунку радіотехнологій тому дана апаратура оснащена 16-тю каналами зв'язку що дозволяє керувати квадрокоптером на великій дистанції та розкрити всі його функціональні можливості.

- В прошивку цифрової апаратури вбудовано програмне забезпечення компанії виробник апаратури Jumper під назвою OpenTX. Дане програмне забезпечення має доволі відкриту ОС (операційну систему) яка дозволяє

налаштувати апаратуру під потреби пілота, встановлювати та кастомізувати прошивки для зручності використання кожного користувача.

- Також апаратура має ергономічний дизайн який розроблявся роками консультацій з пілотами тому апаратура Radiomaster TX16S має інтуїтивно зрозуміле розположення перемикачів та кнопок. Також пілоти які використовують дану апаратуру для польоту зазначають що даний пристрій керування має зручні джойстики керування що допомагає вправніше та точніше керувати ЛА під час польоту. Також апаратура оснащена дисплеєм який відображає всю необхідну інформацію для польоту та налаштування квадрокоптера. Також одним з плюсів даної апаратури є наявність яскравого сенсорного дисплею на якому чітко відображено всю інформацію та зручно керувати відповідними параметрами.

- Дана апаратура обладнена функцією об'єднання декількох модулів. Дана функція дозволяє встановити декілька додаткових модулів, таких як додаткові радіомодулі, телеметрії та інсталяція додаткового живлення для підвищення автономності апаратури.

- Оскільки апаратура має велику кількість позитивних відгуків від пілотів вони також відзначають високу точність встановлених джойстиків, дана апаратура має чітке та плавне керування що є однією з найголовніших її функцій.

З огляду на характеристики даної цифрової апаратури та на відгуки пілотів було сформовано ряд переваг даної системи керування над конкурентами, такі як:

- користувачами було визначено що дана апаратура володіє високою надійністю та точністю управління.

- низька вартість апаратури в порівнянні з моделями конкурентами.

- Можливість вибору великої кількості протоколів що дозволяє управляти багатьма версіями квадрокоптерів.

- За допомогою функції об'єднання декількох модулів можливості апаратури відкриваються на всі 100% та результативно пілотувати літальними апаратами.

- дана апаратура підтримує сторонні телеметрії що допомагає підвищити її характеристики.

З огляду на характеристики апаратури та її переваги вона також має ряд недоліків, таких як:

- оскільки дана модель апаратури доволі нова у відкритих ресурсах є невелика кількість інформації щодо її налаштування та її кастомізації що ускладнює користування апаратурою новими користувачами.

- Оскільки для повноцінного використання апаратури необхідно володіти знаннями операційної системи OpenTX деякі користувачі повідомляють про складнощі при використанні апаратури.

- користувачі повідомляють що якість використаних матеріалів дещо гірша за матеріали які використані в конкурентів однак це можна пояснити доволі коротким проміжком існування даної моделі та очікувати на покращення якості в інших моделях.

- аналогові апаратури керування – є апаратурами більш низького цінового сегменту що пояснюється їх обмеженим функціоналом оскільки дані апаратури призначені виключно для керування квадрокоптером без додаткових функцій.

Наразі на ринку є велика кількість аналогових апаратів та апаратів для новачків . Найпопулярнішими з них є:

- Flysky FS-i6 [38](рис. 5.4) – одна з представників аналогових апаратів яка наразі є популярною у пілотів які управляють ЛА з аналоговим типом зв'язку. Зазвичай дану апаратуру використовують новачки в сфері пілотування та полюбили вони її за простоту інтерфейсу та інтуїтивну простоту використання.



Рис. 5.4 – аналогова апаратура Flysky FS-i6

Наразі для квадрокоптера з механізмом скидання було визначено що найкращим вибором є цифрові апаратури.

Наведемо основні характеристики цифрової апаратури Flysky FS-i6:

- дана апаратура обладнена аналоговим радіомодулем AFHDS/AFHDS-2A. Оскільки аналогові апаратури мають значно меншу відстань дії ніж цифрові, відповідно даний радіомодуль забезпечує з'єднання на дистанцію до 500 метрів однак і дана дистанція залежить від багатьох факторів.

- Апаратура має 6 каналів зв'язку, відповідно до цього 6 каналів достатньо для навчання куруванням квадрокоптера або для базового його польоту.

- Оскільки дана апаратура було розроблено здебільшого для пілотів початкового та середнього рівня тому відповідно було розроблено простий та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс в якому не присутні зайві перемикачі та функції які можуть заплутати нового користувача.

- Оскільки дана модель призначена в основному для новачків було розроблено ергономічний дизайн та інтуїтивно зрозуміле розміщення

перемикачів. Так само було додано яскравий LCD дисплей для чіткої орієнтації інформації.

- оскільки більш професійні моделі живляться від акумуляторних батарей в даній моделі було також враховано потреби нових користувачів та дана апаратура живиться від батарейок типу AA.

Перевагами даної апаратури було відзначено:

- легке та інтуїтивне керування яке повністю прописане в інструкції використання та на сайті для користувачів компанії розробника.

- Оскільки як зазначалось вище в апаратаурі немає додаткових функцій які можуть відволікати нових користувачів дана апаратура коштує значно менше за дорогих аналогів тому дана апаратура є більш доступною

- Ще одною з переваг даної апаратури є живлення за рахунок батарейок типу AA що дозволяє без проблем змінювати батарейки на нові.

Однак оскільки цю апаратуру можна назвати бюджетною вона має і ряд недоліків, таких як:

- основним недоліком даної апаратури в рахунок її аналоговості є обмежена дальність керування квадрокоптером

- через свою простоту дана апаратура не завжди підходить досвідченим пілотам що зменшує її попит в їх числі.

Розглянемо інший приклад аналогової апаратури. Апаратура Turnigy Evolution [39] (рис. 5.5) - представник аналогових апаратур яка наразі є популярною у пілотів які управляють ЛА з аналоговим типом зв'язку. Зазвичай дану апаратуру використовують новачки в сфері пілотування однак використовують її і професійні пілоти що полюбили її за простоту інтерфейсу та інтуїтивну простоту використання та за ініверсальність та надійність.



Рис. 5.5 – аналогова апаратура Turnigy Evolution

Наведемо основні характеристики цифрової апаратури Flysky FS-i6:

- дана апаратура обладнена аналоговим радіомодулем AFHDS 2A.

Оскільки аналогові апаратури мають значно меншу відстань дії ніж цифрові, відповідно даний радіомодуль забезпечує з'єднання на дистанцію до 1000 метрів однак і дана дистанція залежить від багатьох факторів.

- Апаратура має 8 каналів зв'язку, відповідно до цього 6 каналів достатньо для навчання куруванням квадрокоптера або для базового його польоту.

- В прошивку цифрової апаратури вбудовано програмне забезпечення компанії виробник апаратури Jumper під назвою OpenTX. Дане програмне забезпечення має доволі відкриту ОС (операційну систему) яка дозволяє налаштувати апаратуру під потреби пілота, встановлювати та кастомізувати прошивки для зручності використання кожного користувача.

- Оскільки дана апаратура було розроблено здебільшого для пілотів початкового та середнього рівня тому відповідно було розроблено простий та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс в якому не присутні зайві перемикачі та функції які можуть заплутати нового користувача.

- Оскільки дана модель призначена в основному для новачків було розроблено ергономічний дизайн та інтуїтивно зрозуміле розміщення

перемикачів. Так само було додано яскравий LCD дисплей для чіткої орієнтації інформації.

- оскільки більш професійні моделі живляться від акумуляторних батарей великої ємності в даній моделі було також враховано потреби нових користувачів та дана апаратура живиться від вбудованого акумулятора.

- дана апаратура має доволі малу вагу та компактність побудови корпусу через що її зручно та легко переносити з собою.

Перевагами даної апаратури було відзначено:

- легке та інтуїтивне керування яке повністю прописане в інструкції використання та на сайті для користувачів компанії розробника.

- оскільки компанія розробник акцентувала свою увагу на використанні апаратури як початківцями так і професійними пілотами апаратура є універсальною для пілотів різного рівня кваліфікації.

- як зазначалось вище в апаратаурі немає додаткових функцій які можуть відволікати нових користувачів дана апаратура коштує значно менше за дорогих аналогів тому дана апаратура є більш доступною

- Ще одною з переваг даної апаратури є живлення за рахунок вбудованого акумулятора що дозволяє без проблем змінювати його на новий та швидко заряджати акумулятори.

Однак оскільки цю апаратуру можна назвати бюджетною вона має і ряд недоліків, таких як:

- основним недоліком даної апаратури в рахунок її аналоговості є обмежена дальність керування квадрокоптером

- через свою простоту дана апаратура не завжди підходить досвідченим пілотам що зменшує її попит в їх числі.

- так само операційна система OpenTX доволі складна в упануванні тому можуть виникнути складнощі у використанні апаратури у нових пілотів.

Третім представником аналогових апаратур є Radiolink AT9S [40]

(рис. 5.6) - представник аналогових апаратур яка наразі є популярною у пілотів які управляють ЛА з аналоговим типом зв'язку. Зазвичай дану апаратуру використовують новачки в сфері пілотування однак використовують її і

професійні пілоти оскільки в даній апаратурі відсутня обмежувальність щодо її модифікації та зміни програмного забезпечення. Також дану апаратуру полюбили її за простоту інтерфейсу та інтуїтивну простоту використання та за ініверсальність та надійність.



Рис. 5.6 – аналогова апаратура Radiolink AT9S

Наведемо основні характеристики цифрової апаратури FrSky Taranis X9D:

- дана апаратура обладнена аналоговим радіомодулем 2.4ГГц (DSSS + FHSS). Оскільки аналогові апаратури мають значно меншу відстань дії ніж цифрові, відповідно даний радіомодуль забезпечує з'єднання на дистанцію до 500 метрів та є стабільною до радіоперешкод.

- Апаратура має 9 або 12 каналів зв'язку на вибір, відповідно до середнього цінового сегменту аналогових апаратур. Даних каналів більш ніж достатньо для навчання керуванням квадрокоптера або для базового його польоту.

- В прошивку цифрової апаратури вбудовано програмне забезпечення компанії виробник апаратури Jumper під назвою OpenTX. Дане програмне забезпечення має доволі відкриту ОС (операційну систему) яка дозволяє налаштувати апаратуру під потреби пілота, встановлювати та кастомізувати прошивки для зручності використання кожного користувача.

- Оскільки дана апаратура було розроблено здебільшого для пілотів початкового та середнього рівня тому відповідно було розроблено простий та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс в якому не присутні зайві перемикачі та функції які можуть заплутати нового користувача.

- Оскільки дана модель призначена в основному для новачків було розроблено ергономічний дизайн та інтуїтивно зрозуміле розміщення перемикачів. Так само було додано яскравий LCD дисплей для чіткої орієнтації інформації.

- оскільки більш професійні моделі живляться від акумуляторних батарей великої ємності в даній моделі було також враховано потреби нових користувачів та дана апаратура живиться від вбудованого акумулятора.

- в дану апаратуру також інтегровано Gimbals високої точності що дозволяє точно виконувати політ квадрокоптера підкріплюючи його стабільністю та плавністю керування.

- дана апаратура на рівні з дорогими цифровими апаратурами підтримує сторонні телеметрії що в свою чергу дозволяє відслідковувати статус квадрокоптера та його стан в реальному часі.

- дана апаратура має доволі малу вагу та компактність побудови корпусу через що її зручно та легко переносити з собою.

Перевагами даної апаратури було відзначено:

-легке та інтуїтивне керування яке повністю прописане в інструкції використання та на сайті для користувачів компанії розробника.

- оскільки компанія розробник акцентувала свою увагу на використанні апаратури як початківцями так і професійними пілотами апаратура є універсальною для пілотів різного рівня кваліфікації.

- як зазначалось вище в апаратаурі немає додаткових функцій які можуть відволікати нових користувачів дана апаратура коштує значно менше за дорогих аналогів тому дана апаратура є більш доступною

- Ще одною з переваг даної апаратури є можливість вибору між 9 або 12 каналами зв'язку що дозволяє визначати необхідну кількість каналів в залежності від задач польоту та типу квадрокоптера.

Однак оскільки цю апаратуру можна назвати бюджетною вона має і ряд недоліків, таких як:

- основним недоліком даної апаратури в рахунок її аналоговості є обмежена дальність керування квадрокоптером та матеріали з яких виконана апаратура.

- На жаль через низьку вартість та доступність дана апаратура має обмежений кількість підтримуваних протоколів керування ЛА.

- так само операційна система OpenTX доволі складна в упануванні тому можуть виникнути складнощі у використанні апаратури у нових пілотів.

Висновок по розділу: Розглянувши представлені аналогові та цифрові апаратури для управління квадрокоптером з механізмом скидання було визначено що найкращим вибором для цього є цифрова апаратура FrSky Taranis X9D яка включає в себе відповідну модифікацію для реалізації програмного запровадження управління механізмом скидання.

6. Опис технічного обслуговування скидального механізму

При використанні скидального механізму та підтримання його результативності та безвідмовності необхідно виконувати своєчасне та якісне обслуговування скидального механізму [41].

Зазвичай глобальні компанії розробляють одноразові скидальні механізми, тобто механізми які не підлягають обслуговуванню та працюють весь свій ресурсний час до повної заміни механізму. Однак для збереження великої частини фінансів прийнято проводити хоча б періодичне технічне обслуговування механізму.

6.1. Основні принципи обслуговування скидального механізму.

Обслуговування скидального механізму ЛА спеціального призначення складається з багатьох етапів для забезпечення безвідмовної його роботи. Дане обслуговування необхідно виконувати регулярно та відповідно до встановленого регламенту.

Для повного технічного обслуговування необхідно виконати відповідні процеси, такі як:

- Візуальний огляд механізму скидання ЛА – даний процес дозволяє виявити явні пошкодження або несправності скидального механізму та запобігти поширенню пошкоджень на інші його елементи або на весь скидальний механізм. Візуальний огляд скидального механізму та квадрокоптера вцілому. Даний метод допоможе виявити явні пошкодження ЛА та перевірити цілісність рами та скидального механізму квадрокоптера на момент пошкодження або завершення польоту без явного пошкодження.

- Своєчасне змащування та чищення всіх складових скидального механізму
- даний процес дозволяє зменшити відсоток пошкоджених або зношених елементів скидального механізму за рахунок зменшення відсотку зношення елементів з причини надмірного тертя. Даний процес включає в себе очищення

компонентів та складових скидального механізму від бруду, вологи та пилу або інших факторів впливу навколишнього середовища.

- Для безвідмовного та точного спрацювання механізму скидання на етапі його збирання необхідно виконати процедуру налаштування всіх його компонентів. Дане налаштування допоможе зменшити відсоток зношуваності деталей та підвищити точність та надійність використання скидального механізму квадрокоптера. Так само налаштування даного механізму необхідно проводити кожен раз після заміни будь-якого компонента скидального механізму.

- так само однією з процедур обслуговування ЛА є перевірка програмного забезпечення та апаратури для управління перед вильотом квадрокоптера. Під час перевірки всіх функцій та механізмів за допомогою програмного забезпечення та управляючих присторів можна перевірити весь функціонал квадрокоптера та скидального механізму в цілому.

При візуальному огляді скидального механізму необхідно дотримуватись відповідний пунктів та послідовно виконувати огляд:

- одним з найголовніших елементів скидального механізму квадрокоптера є сервопривід який може бути забруднений та пошкоджений від потраплення в його механізми вологи, тому необхідно проглянути механізм на рахунок пошкодження та розгерметизації корпусу сервоприводу та його цілісності. Також при потрапленні на сервопривід бруду та вологи необхідно його очистити та нанести спеціальні змащуючі речовини на механізми які піддаються тертю.

6.2. Опис процесу обслуговування.

Для проведення коректного обслуговування сервоприводу необхідно опиратись на інструкції виробника та використовувати всі необхідні інструменти при обслуговуванні оскільки неправильно обслуговування приводу може пошкодити його елементи що в подальшому призведе до його поломки.

- після перевірки справності сервоприводу необхідно перевірити цілісність та надійну фіксацію інших елементів, таких як:

1. Вилка

2. Шпилька

3. Гвинти

4. Основа скидального механізму.

Якщо всі зазначені вище елементи буде перевірено на їх цілісність необхідно замінити пошкоджені елементи або ж очистити забруднені.

Важливо: після заміни будь -якого елемента скидального механізму необхідно провести процес перевірки налаштування скиду для забезпечення безпечного його використання.

Для того щоб очистити механізм та не пошкодити його необхідно використовувати м'яку ганчірку яка не залишить після використання залишкових речовин (ворсу або ж ниток), однак краще використовувати м'які щітки які можуть проникнути у важкодоступні місця та вичистити всі забруднення отримані квадрокоптером під час польоту або ж його зберігання. За необхідністю на щітки необхідно нанести потрібні змащувальні речовини.

Зазвичай для змащення механізмів використовують мастило призначене лише для ЛА та їх механізмів, яке не залишає масляного сліду та не шкодить роботі скидального механізму.

Для того щоб квадрокоптер скидання не втрачав своїх можливостей та залишався працездатним необхідно виконувати чіткі інструкції щодо його зберігання. Деякі його компоненти чутливі до вологості, пилу та ін.

Виробники механізмів та компонентів для ЛА та квадрокоптерів в цілому чітко прописують в інструкції експлуатації щодо зберігання компонентів.

Тому одними з найпростіших рекомендацій є:

- Витримування правил зберігання квадрокоптера та його компонентів— квадрокоптер та його елементи необхідно зберігати в спеціально призначених контейнерах або ж у сухому місці температурні показники якого не перевищують в відведених температурних проміжках зазначених виробником. Зазвичай велика кількість пошкоджень механізмів відбувається за рахунок їх неправильного зберігання. Коректне зберігання компонентів запобігає механічному їх пошкодженню та пошкодженню механізмів від корозії з причини потрапляння вологості на елементи.

Також зберігання квадрокоптера в спеціальних контейнерах зменшує ризик його механічного пошкодження з причинів ударів по його елементам або ж падіння квадрокоптера з будь якої висоти.

- після будь якого використання квадрокоптера з механізмом скидання необхідно ретельно перевіряти кожен його механізм та стан скидального механізму оскільки будь-яка несправність та її виявлення на ранній стадії може попередити та запобігти більш критичному пошкодженню механізму та квадрокоптера.

- так само при кожному польоті квадрокоптером з механізмом скидання необхідно дотримуватись встановлених правил користування квадрокоптером та всіх його компонентів зазначених виробником задля запобігання випадкових його пошкоджень.

Висновки по розділу: В даному розділі було розглянуто основні види обслуговування квадрокоптера з механізмом скидання та детально описано процеси усунення випадкових несправностей з ЛА.

7. Розробка стартап-проекту

Основною метою розробки стартап-проекту є залучення інвесторів для спонсорування проекту та їх коштів для його розвитку та розробки. Для реалізації цього команда розробників проекту повинна представити докази того що продукт розроблений командою є кращий за вже існуючі продукти.

Оскільки окупність проекту займає досить тривалий час необхідно розробити стратегію згідно з якою за відповідний термін окупності проекту, він зможе виправдати очікування інвесторів що долучились до проекту.

Наразі є декілька шляхів отримання коштів для фінансування проекту, такі як:

- є велика кількість державних програм фінансування малого та середнього бізнесу, банківські програми фінансування підприємств, гранти на розвиток проектів та фінансові кошти надані некомерційними організаціями – даний тип отримання коштів називається традиційним.

- у випадку неможливості державного або банківського фінансування використовують популяризацію проекту шляхом рекламування та заохочення інвесторів в бізнесшколах та коворкінгових компаніях.

- наразі популярність набули венчурні капітали та інвестори які розшукують перспективні проекти для фінансування та для підвищення рівня капіталу.

Зазвичай при пошуку капіталу інвестори орієнтуються на саму суть проекту, а саме на скільки якісно виконано проект та яким шляхом пішов розробник, а саме:

- розгляд проекту з боку його розробки а саме оцінка конкурентного ринку на рівень схожості проектів в їх побудові та реалізації додаткових компонентів.

- прорахунок ринкових пропозицій та досвіду подібних компаній щодо інвестування в відповідну сферу розробок або ж подібних проектів та їх розвиток та зростання.

- розрахунок витратного капіталу та прибутку що спирається на майбутній – очікуваний потік капіталу від проекту.

- готовність проекту та його додаткові переваги – річ йде про додаткові ресурси які має проект тобто наявність зацікавлених сторін в розвитку та продовженні роботи на проектом, додаткові ресурси щодо рекламного забезпечення проекту та його популяризації такі як сайти, сторінки в соціальних мережах або ж популяризація проекту шляхом інтерв'ю з відомими інтерв'юверами.

Зазвичай розробку та старт проекту поділяють на декілька умовних етапів, таких як:

- розробка концепції проекту та її дослідження на ринку збуту

7.1. Опис стартапу та його ідеї.

Пошук необхідних зацікавлених сторін в розробці проекту або ж його потрібність серед можливих користувачів.

Табл. 7.1 - Опис ідеї стартап проекту

Зміст проекту	Напрямки реалізації	Плюси використання для користувачів
Розробка механізму скидання для квадрокоптера спеціального призначення	Використання скидального механізму для відвантаження вантажу в важкодоступних місцях	Реалізація можливості доставки вантажів у важкодоступні місця з високою точністю
	Гасіння пожеж та допомога військовим там де потрібно	Рятування життів у важкодоступних місцях

- тестування виконаних зразків проекту

- після тестування відбувається модернізація або ж доопрацювання виявлених помилок або несправностей

- збільшення обсягів виробництва для задоволення користувацьких обсягів замовлення

- після проведення вищезазначених пунктів можна розпочати процес заснування власного бренду та повноцінної продажі розробки.

7.2. Технологічний аудит ідеї розробленого проекту.

В даному пункті доповіді йде огляд підприємницького мислення та розгляду продажоспроможності проекту реальної можливості реалізації проекту, його розвитку та в подальшому виведення на конкурентний ринок. Короткий опис сутності та ідеї проекту наведено в табл. 7.1. [42] Так само було проведено аналіз слабких та сильних сторін ідеї та самого проекту наведено в табл. 7.2.

Табл. 7.2 - Аналіз слабких та сильних сторін ідеї та самого проекту

п/п	Технічні характеристики проекту	Товари аналоги/конкуренти			W(слабкі сторони)	N (нейтральні сторони)	S (сильні сторони)
		Власний проект	V1 скиду BOG25 / M430A 1	DJI Mavic 3 Startrc			
	Корисне навантаження яке може підняти проект	До 8 кг	До 5 кг	До 6,5 кг			+

	Можли вість викори стання автопіл ота в якості активат ору	+	-	+		+	
	Можли вість підклю чення додатк ових датчикі в положе ння	Можлив е	Немож ливе	Неможл иве			+
	Можли вість керува ння механіз мом за відсутн ості пристр ою	Відсутн я	Відсут ня	Присутн я		-	

	контролю						
	Захист скидал ьного механізму від впливу навколишнього середовища	Захищений	Слабкий	Помірний			+

Детально розглянувши сильні, помірні та слабкі сторони було виявлено що механізм скидання квадрокоптера є конкурентноспроможним та має велику кількість переваг в порівнянні з аналогами які наразі наявні на ринку.

Технологічний аудит розробленого проекту відображає процеси необхідні для розробки проекту та відображено в таблиці 7.3

Табл. 7.3 - Технологічний аудит розробленого проекту

№ п/п	Задумка проекту	Технологічні рішення та шляхи реалізації	Присутні технології в механізмі	Доступність технологій
1	Створення простої та надійної системи	Розробка та проектування	Присутні	На даний час доступні

2	Розробка механізму доступного до модернізації	Розробка та проектування	Присутні	На даний час доступні
3	Реалізація функції автоматичного скидання вантажу	Програмування, розробка та проектування	Присутні	На даний час доступні
Використання технологія виконання проекту: дана розробка була виконана самостійно на основі виконаних спостережень та досліджень.				

7.3. Аналіз ринкових можливостей реалізації та запуску проекту.

Було проведено аналіз та попередню характеристику ринку механізмів скидання для квадрокоптерів та дану інформацію наведено в табл. 7.4, відповідно характеристику можливих покупців механізму відображено в табл. 7.5

Табл. 7.4 - Аналіз та попередня характеристика ринку

№ п/п	Показник конкурентного ринку	Кількість та характеристика
1	Кількість наявних конкурентів на ринку, од	8
2	Загальний оборот продажів, грн/ум.од	Інф. відсутня
3	Динаміка росту ринку (якісна оцінка)	Стрімко зростає
4	Присутні обмеження щодо виведення товару на ринок збуту.	Для виведення необхідне патентування
5	Вимоги до стандартизації та сертифікації	Необхідна сертифікація
6	Норма рентабельності серед механізмів скидання.	55

Розроблений проект є досить специфічним однак популярним товаром в наших реаліях. Однак норма рентабельності в галузі продажу проекту є набагато більшою за банківський відсоток на вкладення, проаналізувавши представлені вище дані з таблиці можна зробити висновок що розроблений проект є доволі конкурентноспроможним тому ринок для продажу та його можливості є доволі високим.

Табл. 7.5 - Оцінка потенційних клієнтів та ринку

Пропозиції які наразі наявні на ринку та формують його	Покупці та майбутні користувачі	Поведінкова різниця потенційних покупців проекту	Вимоги до проекту поставлені покупцями
Необхідність в надійному механізмі скидання для квадрокоптера що доступний до модернізації	Військові, фермери альпіністи та пожежники.	Наразі майбутні покупці використовують існуючі варіанти оскільки відсутня альтернатива	Надійність, простота, якість та можливість модернізації

Після визначення потенційних майбутніх покупців механізму скидання квадрокоптера необхідно визначити можливості для виведення проекту на ринок збуту - табл. 7.6 та було визначено загрози для проекту на ринку – табл. 7.7

Табл. 7.6 - Можливості для виведення проекту на ринок збуту

№ п/п	Можливості виведення	Зміст можливостей	Реакція компанії на пропозицію
1	Маркетинг та популяризація	Необхідно використувати всі можливі інструменти маркетингу та реклами	Створення рекламної компанії та залучення відповідних спеціалістів

		для популяризації проекту	
2	Якість розробленої продукції	Підвищувати якість проекту	Впровадження надійних матеріалів та компонентів для збільшення якості системи
3	Вихід на міжнародний ринок збуту	При досягненні необхідного рівня якості продукції необхідно розширювати ринок збуту.	Орієнтація проекту на міжнародний ринок та користувачів.

Табл. 7.7 - Загрози для проекту на ринку

№ п/п	Загрози	Зміст загроз	Реакція компанії на загрози
1	Підвищення відсотку конкуренції	Збільшення кількості конкурентів на ринку продажу скидальних механізмів для квадрокоптера	Підвищення кількості переваг над конкурентами
2	Складнощі в технічній складовій	Складність оперативного отримання необхідних комплектуючих та їх брак на ринку продажу у великій кількості.	Знаходження нових каналів поставки комплектуючих
3	Фінансовва складова	Зниження вартості продукції в порівнянні з	Створення систем розширеного

		середньою вартістю у конкурентів	діапазону функціоналу.
--	--	----------------------------------	------------------------

Після проведення аналізу ринку було виконано аналіз конкуренції та визначено загальні положення конкуренції на ринку – табл. 7.8

Табл. 7.8 - загальні положення конкуренції на ринку

Осибливості конкурентноспроможного ринку	Характеристика конкурентності ринку	Реакція компанії на конкурентність
Монополістична конкуренція	Велика кількість серійних та несерійних конкурентів	Модернізація функціональності скидального механізму
Міжнародна конкуренція	Конкуренти з інших країн	Спроба виходу на міжнародний рівень та ринок
Міжгалузева конкуренція	Використання подібних компонентів аналоговими компаніями	Вдосконалення скидального механізму та розширення його функціоналу
Товарно – видова конкуренція	Різність в компонентах використаних для побудови	Вдосконалення системи та надання більших можливостей для користувачів
Цінова конкуренція	Зміна цінової політики компанії	Покращення співвідношення ціна – якість
Не марочна конкуренція	Велика кількість конкурентів в даній сфері	Запровадження маркетингового розвитку товару

Більш точний аналіз конкурентності на ринку відображено в табл. 7.9

Табл. 7.9 - Аналіз конкурентності на ринку згідно з М. Портером

Предмет аналізу	Безпосередні конкуренти на ринку	Потенційні конкуренти на ринку	Постачальники комплектуючих та матеріалів	Покупці	Аналоги замінники
	Компанії зі світовим ім'ям та репутацією	Вже існуючі системи	Постачальники комплектуючих та матеріалів	Різність поглядів на розробку у клієнтів	Відсутні
Висновок щодо аналізу	Дуже висока конкурентність в даній галузі	Постійне досконалення та розвиток механізму	Підвищення якості компонентів = підвищення її точності та надійності	Необхідність у модернізації системи та багатоцільового її функціоналу	Відсутні

За результатом аналізу конкурентності на ринку згідно з М. Портером маємо змогу зробити висновок що механізм скидання для квадрокоптерів виявився доволі конкурентно спроможним та в деяких параметрах перевищує за якістю та функціоналом конкурентів. На основі зазначеного вище аналізу визначимо перелік факторів конкурентноспроможності розробленого механізму, даний перелік наведено в табл. 7.10.

табл. 7.10 - Перелік факторів конкурентноспроможності розробленого механізму

№ п/п	Фактори визначаючі конкурентноспроможність	Пояснення чому фактори є значущими
-------	--	------------------------------------

1	Наявність чинного патенту та сертифікації до розробки	При наявності чинного патенту та сертифікації конкуренти не зможуть виконувати технології виготовлення власних механізмів скидання
2	Можливість постійного вдосконалення системи скидання	Постійне вдосконалення допоможе збільшити кількість щасливих користувачів
3	Зрозумілість управління механізмом скидання	Збільшення уваги майбутніх клієнтів до розробленого проекту та підвищення зручності використання системи.
4	Можливість модернізації скиду	
5	Можливість детального розгляду справності системи	

Після визначення переліку факторів конкурентноспроможності розробленого механізму можемо визначити сильні та слабкі сторони проекту – табл. 7.11

Табл. 7.11 - сильні та слабкі сторони проекту

п/п	Фактори визначаючі конкурентноспроможність	Бали від 1 до 20	Оцінка конкурентів в порівнянні з розробленим проектом						
			3	2	1				
	Наявність чинного патенту та сертифікації до розробки	8							

1	Можливість постійного вдосконалення системи скидання	7							
2	Зрозумілість управління механізмом скидання	9							
4	Можливість модернізації скиду	8							
6	Можливість детального розгляду справності системи	7							

7.4. SWOT-АНАЛІЗУ проекту

Після оцінки ринкових конкурентів та факторів що становлять загрозу було проведено SWOT-аналіз та виконано матрицю сильних та слабких сторін – табл. 7.12 та 7.13

Табл. 7.12 - I ЕТАП SWOT-АНАЛІЗУ: «АНАЛІЗ ДІЮЧИХ ФАКТОРІВ»

Мета проекту		
	Внутрішні фактори	Зовнішні фактори
+	<p>S</p> <p>Унікальний дизайн</p>	<p>O</p>

	<p>Універсальність</p> <p>Менші витрати на виготовлення та обслуговування.</p> <p>Зростаючий ринковий попит</p> <p>Покращена доступність</p>	<p>Потенціал зростання ринку</p> <p>Інтеграція з новими технологіями</p> <p>Співпраця з галузевими партнерами</p> <p>Екологічні норми</p>
—	<p>W</p> <p>Обмежений ринок</p> <p>Використання унікальних</p> <p>Елементів керування</p> <p>Складність виробництва</p>	<p>T</p> <p>Висока конкурентність на ринку</p> <p>Політична нестабільність</p>

Табл. 7.13 - II ЕТАП SWOT-АНАЛІЗУ: «ПОШУК КОНСТРУКТИВНОГО РІШЕННЯ»

Мета проекту		
	О	Т
S	<p>Інвестувати в маркетингові зусилля, щоб підкреслити унікальну торгову пропозицію можливостей механізму скидання.</p> <p>Співпрацювати з визнаними постачальниками в</p>	<p>Урізноманітнити діапазон програм і послуг, що пропонуються, щоб пом'якшити вплив коливань попиту на використання квадрокоптерів</p> <p>Бути в курсі нових технологій і тенденцій у екологічному</p>

	сфері БПЛА, щоб розширити охоплення та клієнтську базу	виробництві, щоб використовувати можливості та залишатися конкурентоспроможними.
W	<p>Провести дослідження ринку, щоб визначити потенційний попит і ринкові можливості для квадрокоптера</p> <p>Досліджувати можливості вдосконалення конструкції</p> <p>Співпрацювати з регуляторними органами, щоб вирішити проблеми та спростити процеси затвердження</p> <p>Шукати партнерства з постачальниками та виробниками, щоб зменшити витрати виробництва та підвищити прибутковість</p>	

Після виконання **SWOT-АНАЛІЗУ** було визначено ряд альтернативних ринкових виходів для більш швидкої ринкової реалізації табл. 7.14

Табл. 7.14 - Альтернативні ринкові виходи для більш швидкої ринкової реалізації

№ п/п	Заходи зміни ринкової поведінки	Можливість отримання необхідних ресурсів	Строки реалізації альтернатив
1	Знаходження нових джерел фінансування	Низька	6 місяців
2	Збільшення та розширення рекламного впливу	Середня	4 місяці
3	Знаходження шляхів для виходу на міжнародний ринок	Середня	3 місяці
4	Підвищення якості установки шляхом підвищення якості використовуваних компонентів	Висока	2 місяці

Після проведеного вище аналізу можна зазначити що при необхідних діях для підвищення популярності та якості механізму скидання цілком є можливість виведення механізму скидання на міжнародний рівень збуту в найкоротші терміни.

7.5. Розробка стратегії для виведення механізму скидання на ринок збуту

Для повної підготовки виходу на ринок збуту необхідно розробити обсяги охоплення вже існуючого ринку. Тому необхідно визначити обсяги потенційних покупців табл. 7.15

Табл. 7.15 - Визначення обсягів потенційних покупців

№ п/п	Опис категорій майбутніх покупців	Розрахунок покупної спроможнос ті	Відсотков а оцінка попиту	Конкурентніс ть	Можливіст ь простого інтегруванн я до ринку збуту
1	Військові підрозділи	Висока зацікавленіст ь	Високий попит	Низька конкурентніст ь	Низька можливість
2	Пожежні частини	Низька зацікавленіст ь	Низький попит	Середня конкурентніст ь	Середня можливість
3	Власники фермерськи х угідь	Середня зацікавленіст ь	Середній попит	Висока конкурентніст ь	Висока можливість
Розрахувавши обсяг потенційних покупців було визначено що потенційними покупцями можуть стати військові підрозділи та власники фермерських угідь.					

Розрахувавши обсяг потенційних покупців було визначено що потенційними покупцями можуть стати військові підрозділи та власники фермерських угідь.

Для роботи з визначеними вище категоріями покупців необхідно визначити стратегію співпраці та розвитку – табл.7.16

Табл.7.16 – Визначення стратегії співпраці та розвитку

№ п/п	Шлях розвитку який було обрано	Шлях виходу на ринок збуту	Ключові позиції конкурентів	Обрана стратегія розвитку
----------	-----------------------------------	-------------------------------	-----------------------------------	---------------------------------

-	Покращення функціональної якості систем	Підвищення рівня маркетингового розвитку	Надійна установка з можливістю модифікації	Диференціальна стратегія розвитку
№ п/п	Першість на ринку збуту	Можливість пошуку нових користувачів	Рішення проблем шляхом плагіату конкурентів	Обрана стратегія розвитку
-	Розроблений механізм скидання не є першим прикладом на ринку	Компанія буде постійно залучати нових користувачів	Неприпустиме копіювання конкурентних рішень	Самостійна стратегія

Після визначення стратегій співпраці та розвитку необхідно розробити стратегію постановлення продукту на ринку збуту – табл. 7.17

Табл. 7.17 - Стратегія постановлення продукту на ринку збуту

№ п/п	Необхідні вимоги до проекту від користувачів	Типова стратегія розвитку ринкових відносин	Ключові етапи позиціонування проекту	Визначення обов'язкових правил для проекту
-	Низька вартість продажу механізму в порівнянні з конкурентами	Диференційна стратегія розвитку проекту	Виконання правила співвідношення ціна – якість	Якість простота Модернізація

Після визначених вище стратегій розвитку та дій по вирішенню конкурентних питань було вищначено що для більш простого входження до ринку збуту та збільшення кулькості реалізованого товару єдиним шляхом є покращення функціональної частини проекту.

7.6. Розробка рекламної компанії та маркетингової складової стартапу.

Для розробки рекламної компанії та маркетингової складової стартапу необхідно зайнятись розширенням та популяризацією розробленого проекту. Наразі необхідно визначити переваги створеної концепції розробленого механізму скидання для квадрокоптерів табл. 7.18

Табл. 7.18 – Переваги створеної концепції розробленого механізму

№ п/п	Необхідні проекту	Переваги запропоновані розробкою	Переваги над аналогами конкурентів
1	Дотримання правила співвідношення ціна – якість	Можливість постійної модернізації установки	Можливість модернізації кріплення та установки
2	Клієнтоорієнтованість та детальна документація що спростить використання	Можливість використання декількох типів датчиків безпеки	Детально прописана інформація щодо можливих ситуацій використання механізму

№ п/п	Цінова політика конкурентів	Ціна на подібні товари	Розрахунок доходу від продажів	Можливі границі на ціну установки
1	Цінова політика на товари конкурентів починається від 1500 \$	Товари подібні до проекту коштують понад 29000 грн.	На перших етапах виведення на ринок збуту дохід не буде перевищувати 80000 грн вмісяць однак після популяризації товару прибуток значно зросте.	Максимальною встановленою ціною на перших етапах буде 17000 грн після розвитку товару максимальною вартість виросте до 25000 грн.
№ п/п	Вивчення поведінкової можливості покупців	Правила збуту для продавців товару	Ланцюгові зв'язки в збуті	Ресурси для зв'язку з покупцями
1	Оцінка відгуків користувачів та їх запитів до служби підтримки	Надавати постійні гарантійні пропозиції покупцям та	Постійний зв'язок між виробником-постачальником та покупцем	Служба підтримки користувачів, соціальні

		визначати причини їх позитивних або негативних відгуків.		мережі компанії.
--	--	--	--	---------------------

Табл. 7.19 - цінова політика проекту та налагодження шляхів збуту механізму

Для цінного розуміння необхідно визначити цінову політику проекту та шляхи збуту проекту, дану інформацію наведено в таблиці 7.19

Одною з основних складових маркетингового розрахунку є програма всебічної підтримки користувачів та постійна консультативна допомога тому для результативної взаємодії з покупцями необхідно розробити концепцію маркетингової комунікації табл. 7.20

Табл. 7.20 - Концепція маркетингової комунікації

Вивчення поведінки постійних користувачів в	Канали комунікацій та взаємодії з користувачами	Основні позиції які необхідно донести до користувачів	Цілі поставлені перед рекламодавцями	Посил реклами компанії
Визначення бажань клієнтів та їх потреб	Онлайн служба підтримки, головний сайт проекту та соціальні мережі.	Можливість модифікації, надійність установки, простота а підвищена функціональність.	Визначити та пояснити переваги розробленого механізму скидання	Найкращі результати від найкращої установк

Висновок по розділу: Після визначення та дослідження стартап проекту було визначено основні цілі маркетингової частини, зобов'язання розробників, вимоги до продавців механізму скидання та обслуговуючого персоналу. Так само було визначено основні цілі та правила ведення розробки та бізнесу.

Висновок по роботі: В ході виконанні магістреської роботи було розроблено та виконано механізм скидання для квадрокоптерів спеціального призначення розрахований на виконання доставки вантажу з корисним навантаженням до 8 кг. Під час виконання роботи було виконано графічний розрахунок міцності скидального механізму за умов корисних навантажень різної ваги та було виявлено що при корисному навантаженні до 8 кг було визначено що конструкція скидального механізму витримає необхідне навантаження, однак при розрахунку на міцність скидального механізму з корисним навантаженням до 10 кг було виявлено що деякі елементи скидального механізму не зможуть витримати ваги зазначеного корисного навантаження та потребують подальшої модернізації.

Відповідно до технічного завдання було виконано 3D модель скидального механізму яка поєднує в собі простоту обслуговування та широкі можливості для модернізації. Після проведення аналізу вже існуючих механізмів було визначено основний форм фактор механізму та його призначення.

Орієнтуючись на розрахунки та конструкцію розробленого скидального механізму за допомогою 3D друку було виготовлено експериментальну модель скидального механізму та викладено результати проектування в матеріалах магістерської дисертації .

Список використаної літератури:

1. . Удосконалення національної класифікації безпілотних літальних апаратів / В. В. Бездільний та ін. *Наука і техніка повітряних сил збройних сил України*. 2023. № 1 (50). С. 29–37. RL: <https://doi.org/10.30748/nitps.2023.50.03>
2. Autel robotics enterprise drone, quadcopter & UAV for sale. *Autel Robotics Enterprise Drone, Quadcopter & UAV for Sale*. URL: <https://www.autelrobotics.com/>
3. Automatic Addison. Setting up the BNO055 absolute orientation sensor | automatic addison, 2019. *YouTube*. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=gJOkzVyrW6w>
4. Casey-Maslen S. Pandora's box? Drone strikes underjus ad bellum, jus in bello, and international human rights law. *International review of the red cross*. 2012. Vol. 94, no. 886. P. 597–625. URL: <https://doi.org/10.1017/s1816383113000118>
5. Cohn M., Mirer J. Armed drones violate the right to peace. *Peace review*. 2015. Vol. 27, no. 4. P. 411–417. URL: <https://doi.org/10.1080/10402659.2015.1094317>
6. DJI - Offizielle Webseite. *DJI Official*. URL: <https://www.dji.com/global>
7. GitHub - adafruit/Adafruit_BNO055: Unified sensor driver for the Adafruit BNO055 orientation sensor breakout. *GitHub*. URL: https://github.com/adafruit/Adafruit_BNO055
8. GitHub - Seeed-Studio/Seeed_Arduino_LSM6DS3: Grove sensor 6 Axis Accelerometer&Gyroscope using LSM6DS3. *GitHub*. URL: https://github.com/Seeed-Studio/Seeed_Arduino_LSM6DS3.
9. GitHub - ZHomeSlice/Simple_MPU6050: Going Live. *GitHub*. URL: https://github.com/ZHomeSlice/Simple_MPU6050
10. LSM6DSL CLICK MIKROE - Click board | accelerometer,gyroscope; I2C,SPI; LSM6DS3; 3.3VDC; MIKROE-2731 | TME - Electronic components. *Elektronische Teile. Vertriebs Händler und Onlineshop - Transfer Multisort Elektronik*. URL: <https://www.tme.eu/en/details/mikroe-2731/add-on-boards/mikroe/lsm6dsl-click/>

11. Maurer K. Visual power: the scopic regime of military drone operations. *Media, war & conflict*. 2016. Vol. 10, no. 2. P. 141–151. URL: <https://doi.org/10.1177/1750635216636137>
12. MPU-6500 Datasheet | TDK InvenSense. *TDK InvenSense*. URL: <https://invensense.tdk.com/download-pdf/mpu-6500-datasheet/>
13. Parrot professional drones | pioneers in commercial drones innovation. *Parrot*. URL: <https://www.parrot.com/us/drones>
14. Professional drones & autonomous drones. *Professional Drones & Autonomous Drones | Skydio*. URL: <https://www.skydio.com/>.
15. Roth M. A., Mindell J. S. Who provides accelerometry data? Correlates of adherence to wearing an accelerometry motion sensor: the 2008 health survey for england. *Journal of physical activity and health*. 2013. Vol. 10, no. 1. P. 70–78. URL: <https://doi.org/10.1123/jpah.10.1.70>
16. Smart Sensor BNO055. *Bosch Sensortec*. URL: <https://www.bosch-sensortec.com/products/smart-sensor-systems/bno055/>
17. Šniutė V., Šniutė D. Armed drones: can civilians be protected?. *Vilnius university open series*. 2020. No. 4. P. 229–247. URL: <https://doi.org/10.15388/os.tmp.2020.11>
18. Species-Specific responses of bird song output in the presence of drones / A. M. Wilson et al. *Drones*. 2021. Vol. 6, no. 1. P. 1. URL: <https://doi.org/10.3390/drones6010001>
19. Yulianto A. W., Yuniar D. Y., Prasetyo Y. H. Navigation and guidance for autonomous quadcopter drones using deep learning on indoor corridors. *Jurnal jartel jurnal jaringan telekomunikasi*. 2022. Vol. 12, no. 4. P. 258–264. URL: <https://doi.org/10.33795/jartel.v12i4.422>
20. Build software better, together. *GitHub*. URL: <https://github.com/topics/mpu6500>
21. Sheng R. 3-D printing in the drone industry. *3D printing*. 2022. P. 59–67. URL: <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-99463-7.00008-6>
22. Sheng R. 3-D printing in the drone industry. *3D printing*. 2022. P. 59–67. URL: <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-99463-7.00008-6>

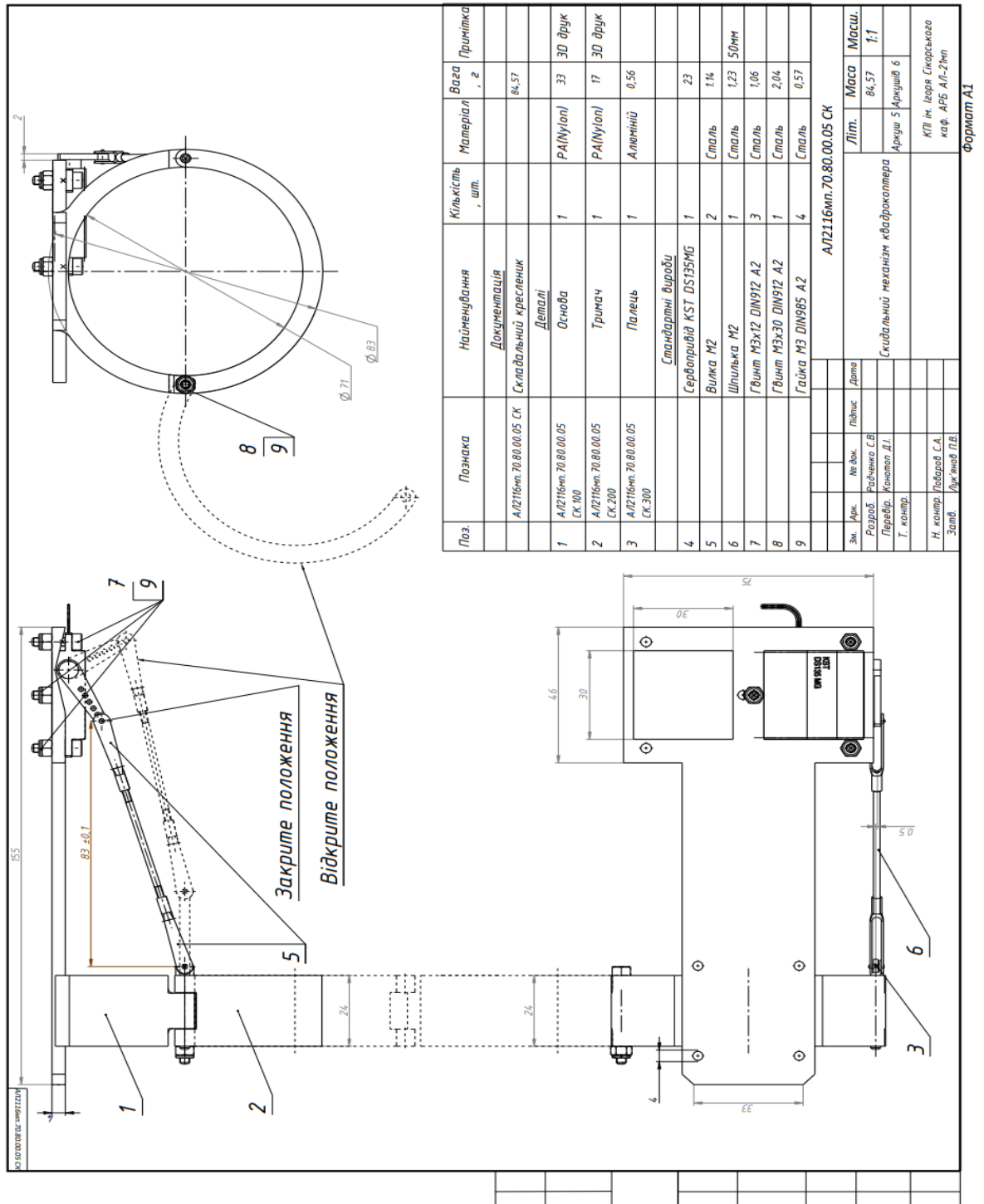
23. Structural analysis of mini drone developed using 3D printing technique / N. Muralidharan et al. *Materials today: proceedings*. 2021. Vol. 46. P. 8748–8752. URL: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.04.053>
24. 3D drone mapping / A. Ansari et al. *Journal of innovative image processing*. 2023. Vol. 5, no. 1. P. 1–19. URL: <https://doi.org/10.36548/jiip.2023.1.001>
25. Seaplane cargo drone on course for first flight. *Aerospace testing international*. 2018. Vol. 2018, no. 2. P. 8. URL: [https://doi.org/10.12968/s1478-2774\(23\)50076-4](https://doi.org/10.12968/s1478-2774(23)50076-4)
26. 3DR || drone industry leaders. *3DR || Drone Industry Leaders*. URL: <https://www.3dr.com/>
27. Yuneec – professional hexacopter. *Yuneec – Professional Hexacopter*. URL: <https://yuneec.online/>
28. Boscariol P., Richiedei D., Trevisani A. Robust model-based trajectory planning for flexible mechanisms: experimental assessment. *Advances in mechanism and machine science*. Cham, 2019. P. 4015–4024. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-20131-9_400
29. KST SERVOS - Focused on servos design & manufacturing. *KST-Servo*. URL: <https://kstservos.com/>
30. BMA280 datasheet(pdf). *ALLDATASHEET.COM - Electronic Parts Datasheet Search*. URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1131958/BOSCH/BMA280.html>
31. Drones R. C. Drone flight log: remote flight and maintenance log. CreateSpace Independent Publishing Platform, 2018. 226 p.
32. LSM303AGR datasheet, PDF. *ALLDATASHEET.COM - Electronic Parts Datasheet Search*. URL: https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Lsm303agr&gad_source=1&gclid=CjwKCAiAyp-sBhBSEiwAWWzTngicy9UQzlpd8UUioaWH0sKpWdHBIeGLM04VYLDUYGyV3Dm89r5aXxoCMkkQAvD_BwE

33. HMC5883L datasheet, PDF. *ALLDATASHEET.COM - Electronic Parts Datasheet Search*.
URL: https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Hmc5883l&gad_source=1&gclid=CjwKCAiAyp-sBhBSEiwAWWzTnleHX1I7XzJKv8Dxb5GScQAKFaNfwewvwavdIRjKPPONEfP03mxaVxoCt-gQAvD_BwE
34. AK8963 datasheet, PDF. *ALLDATASHEET.COM - Electronic Parts Datasheet Search*.
URL: https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Ak8963&gad_source=1&gclid=CjwKCAiAyp-sBhBSEiwAWWzTnkktDfD2qmXazeEAt6v80ei06HHN8XqYOALwb4otxu49X1R1OOPchoCIskQAvD_BwE
35. Taranis X9D Plus - FrSky - Lets you set the limits. *FrSky - Lets you set the limits*. URL: <https://www.frsky-rc.com/product/taranis-x9d-plus-2/>
36. Jumper T16/T16 PLUS built-in multi-protocol module JP4IN1. *JumperRC*. URL: <https://www.jumper-rc.com/jumper-t16-t16-plus-built-in-multi-protocol-module-32-channel-p0023.html>
37. RadioMaster RC - A team of radio control model enthusiast. *RadioMaster RC*. URL: <https://www.radiomaster-rc.com/>
38. FS-i6 – FlyskyRC. *FlyskyRC*. URL: <https://www.flysky-cn.com/fsi6>
39. Turnigy evolution digital AFHDS 2A radio control system w/tgy-ia6c receiver white mode 2. *Hobbyking*. URL: https://hobbyking.com/en_us/turnigy-evolution-fpv-radio-mode-2-white.html?__store=en_us
40. AT9S Pro Firmware-RadioLink-Official Website. *RadioLink 乐迪电子-官方网站*. URL: <https://www.radiolink.com/newsinfo/379786.html>
41. Drones R. C. Drone flight log: remote flight and maintenance log. CreateSpace Independent Publishing Platform, 2018. 226 p
42. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.

Додатки

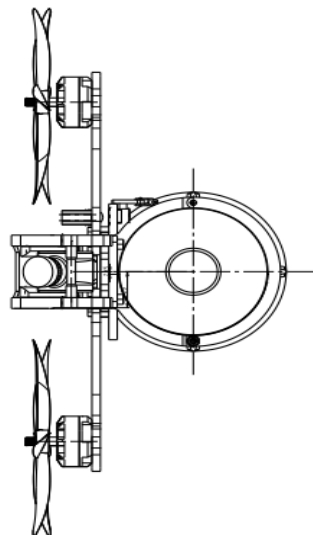
Додаток А

Скидальний кресленик скидального механізму для квадрокоптерів спеціального призначення.



Додаток Б

Скидальний кресленик квадрокоптера спеціального призначення з інсталюваним скидальним механізмом та умовною бойовою частиною.



Quantity	Part Number	Type	Interpretation	Revision
2	55445, PrologiteC _W _00 00 00 a8 00 - n	Part	55445 PrologiteC _W _00	ANY
1	Cannolite ₀₁ _00 00 00 a8 00 - n	Part	Cannolite ₀₁ _00 00 00 a8 00 - n	ANY
1	55445, PrologiteC _W _00 00 00 a8 00 - n	Part	55445 PrologiteC _W _00	ANY
2	55445, PrologiteC _W _00 00 00 a8 00 - n	Part	55445 PrologiteC _W _00	ANY
4	55445, PrologiteC _W _00 00 00 a8 00 - n	Part	55445 PrologiteC _W _00	ANY
1	55445, PrologiteC _W _00 00 00 a8 00 - n	Part	55445 PrologiteC _W _00	ANY
1	55445, PrologiteC _W _00 00 00 a8 00 - n	Part	55445 PrologiteC _W _00	ANY
4	55445, PrologiteC _W _00 00 00 a8 00 - n	Part	55445 PrologiteC _W _00	ANY
1	55445, PrologiteC _W _00 00 00 a8 00 - n	Part	55445 PrologiteC _W _00	ANY

