



ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Факультет \_\_\_\_\_ АКТ  
Кафедра \_\_\_\_\_ КІТАР  
Рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ перший(бакалаврський)  
Спеціальність \_\_\_\_\_ 152 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
Тип програми \_\_\_\_\_ Освітньо-професійна  
Освітня програма \_\_\_\_\_ Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав.кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2024р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

студентові \_\_\_\_\_ Зеленіну Артему Костянтиновичу  
(шифр і назва)

1. Тема роботи: \_\_\_\_\_ Розробка стенду для точного калібрування FPV дронів

Затверджена наказом університету від \_\_\_\_\_ від 03.06.2024 №544Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії \_\_\_\_\_ 17.06.2024р.

3. Вихідні дані до роботи: 3.1 Розмір стенду, см 600 мм × 600 мм × 420 мм;

3.2 Максимальна ширина дрону, 400 мм × 400 мм × 150 мм; 3.3 Кількість осей – 2 вісі.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі: 4.1 Вступ; 4.2 Аналіз сфери використання дронів; 4.3 Аналіз видів дронів; 4.4 Аналіз методів калібрування FPV-дронів; 4.5 Аналіз платформ для калібрування та тестування дронів; 4.6 Огляд потреб та вимог до стенду для калібрування FPV дронів; 4.7 Розробка кінематичної схеми стенду для калібрування FPV дронів; 4.8 Вибір механічних компонентів; 4.9 Вибір електричних компонентів; 4.10 Розробка схеми підключення компонентів; 4.11 Цифрова фільтрацію сигналу акселерометра та гіроскопа MPU-6050; 4.12 Розробка рами; 4.13 Висновки

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій Графічний демонстраційний матеріал в форматі PowerPoint(\*.ppt) формату А4 –15 сторінок.

6. Консультанти розділів роботи

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по-батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз сфери використання дронів	13.05.2024-16.05.2024	виконано
2	Аналіз видів дронів	16.05.2024-20.05.2024	виконано
3	Аналіз методів калібрування FPV-дронів	21.05.2024-23.05.2024	виконано
4	Аналіз платформ для калібрування та тестування дронів	24.05.2024-26.05.2024	виконано
5	Огляд потреб та вимог до стенду для калібрування FPV дронів	26.05.2024-27.05.2024	виконано
6	Розробка кінематичної схеми стенду для калібрування FPV дронів	28.05.2024-30.05.2024	виконано
7	Вибір механічних компонентів	01.06.2024-02.06.2024	виконано
8	Вибір електричних компонентів	03.06.2024-04.06.2024	виконано
9	Розробка схеми підключення компонентів	05.06.2024-06.06.2024	виконано
10	Цифрова фільтрація сигналу акселерометра та гіроскопа MPU-6050	06.06.2024-07.06.2024	виконано
11	Розробка рами	07.06.2024-08.06.2024	виконано
12	Оформлення пояснювальної записки	09.06.2024-10.06.2024	виконано
13	Подання роботи на рецензію	10.06.2024-11.06.2024	виконано
14	Подання роботи на підпис зав. кафедри	11.06.2024	виконано
15	Подання атестаційної роботи в ЕК	11.06.2024	виконано

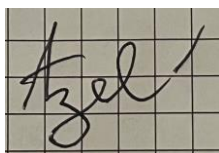
Дата видачі завдання 13 травня 2024р.

Студент \_\_\_\_\_ Зеленін А.К.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Нікітін Д.О.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

Я, як студент ХНУРЕ, розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надавав та не одержував недозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

08.06.2024

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Azet', is written on a light gray grid background. The signature is fluid and cursive, with a prominent 'A' and 'z'.

Зеленін А.К.

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 59 с., 11 табл., 28 рис., 1 дод., 26 джерел.

3D-МОДЕЛЮВАННЯ, КАЛІБРУВАННЯ FPV ДРОНІВ, ДРОНИ, КІНЕМАТИЧНА СХЕМА, СФЕРИ ВИКОРИСТАННЯ ДРОНІВ, 3D-МОДЕЛЬ, СХЕМА ПІДКЛЮЧЕННЯ.

Мета роботи – удосконалення процесу налаштування датчиків акселерометр та гіроскопу FPV дронів. Об'єкт роботи – процес колибрування FPV дронів.

Предмет роботи – моделі та методи налаштування FPV дронів.

В даній кваліфікаційній роботі було проведено аналіз сфер використання дронів, аналіз видів дронів та методів калібрування FPV-дронів. Проаналізовано платформи для калібрування та тестування дронів. Далі було проведено огляд потреб та вимог до стенду для калібрування FPV дронів. Наступним етапом була розробка кінематичної схеми стенду для калібрування FPV дронів. Після проведено вибір механічних та електричних компонентів. Далі було розроблено схему підключення компонентів та проведено цифрову фільтрацію сигналу акселерометра та гіроскопа MPU-6050. Розроблено 3D-модель рами.

## ABSTRACT

Explanatory note: 59 pages, 11 tables, 28 figures, 1 app, 26 sources.

3D MODELING, FPV CALIBRATION OF DRONES, DRONES, KINEMATIC SCHEME, AREAS OF USE OF DRONES, 3D MODEL, WIRING DIAGRAM.

The purpose of the work is the development and modeling of a stand for the calibration of FPV drones, as well as the analysis of the main technologies and methods used in the process of calibrating such devices.

The object of work – the process of calibration of FPV drones.

The subject of the work – models and methods of FPV drones adjustment.

In this qualification work, an analysis of the areas of use of drones, an analysis of types of drones and calibration methods was carried out FPV drones. Platforms for calibration and testing of drones were analyzed. Next, a review of the needs and requirements for a stand for the calibration of FPV drones was conducted. The next stage was the development of a kinematic diagram of the stand for the calibration of FPV drones. After the selection of mechanical and electrical components. Next, a component connection diagram was developed and digital filtering of the MPU-6050 accelerometer and gyroscope signal was performed. A 3D model of the frame has been developed.

## ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень .....	8
Вступ.....	9
1 Аналіз предметної області.....	11
1.1 Сфери використання дронів.....	12
1.2 Види дронів.....	18
1.3 Методи калібрування FPV-дронів.....	21
1.4 Платформи для калібрування та тестування дронів.....	22
2 Аналіз технічного завдання.....	24
2.1 Огляд потреб та вимог до стенду для калібрування FPV дронів.....	24
2.2 Кінематична схема стенду для калібрування FPV дронів.....	25
2.3 Вибір механічних компонентів.....	26
2.4 Вибір електричних компонентів.....	29
2.5 Схема підключення компонентів.....	33
2.6 Цифрова фільтрація сигналу акселерометра та гіроскопа MPU-6050... 34	
3 Розробка 3d-моделі.....	40
3.1 Розробка рами.....	40
3.2 Охорона праці.....	45
Висновки .....	50
Перелік джерел посилань .....	51
Додаток А Код програми.....	56
Додаток Б Демонстраційні матеріали .....	56

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АК – акселерометр;

БПЛА – безпілотні літальні апарати;

Д – дрон;

ЗБ – запобіжник;

П – підсилювач;

ПК – плата керування;

FPV – First Person View;

IMU – інерційних вимірювальних блоків;

LiDAR – лазерне сканування.

## ВСТУП

Актуальність стендів для калібрування дронів стає все більш очевидною у сучасному світі, де безпілотні літальні апарати (БПЛА) знаходять застосування в різних галузях. Ось кілька ключових аспектів, які підкреслюють важливість використання таких стендів:

- точність і безпека: калібрування дозволяє забезпечити високу точність роботи дронів. Це особливо важливо для використання в таких сферах, як сільське господарство, картографія, інспекція інфраструктури, де навіть незначні помилки можуть мати серйозні наслідки;

- підвищення ефективності: правильно відкалібровані дрони можуть виконувати завдання швидше і з меншими затратами ресурсів. Це дозволяє знизити витрати на експлуатацію та технічне обслуговування;

- регуляторні вимоги: у багатьох країнах використання дронів регулюється законодавством, яке вимагає регулярного калібрування та сертифікації обладнання. Це необхідно для отримання дозволів на використання БПЛА в комерційних цілях;

- зниження ризиків поломок: регулярне калібрування допомагає виявляти потенційні проблеми на ранніх етапах, що зменшує ризик поломок і аварій під час виконання завдань;

- адаптація до умов експлуатації: калібрування дозволяє врахувати специфіку умов, в яких буде працювати дрон, наприклад, географічні особливості, магнітні аномалії та інші фактори, які можуть впливати на точність і стабільність польотів;

- технічний прогрес: розвиток технологій дронів постійно вдосконалюється, з'являються нові моделі та оновлення програмного забезпечення. Це вимагає регулярного калібрування для забезпечення сумісності та оптимальної роботи нових функцій.

Враховуючи ці фактори, стенди для калібрування дронів стають незамінним інструментом для професіоналів, які прагнуть забезпечити високий рівень якості та безпеки своєї роботи. Також отримані результати відповідають переліку Цілей сталого розвитку, зокрема цілі 9 Інновації та інфраструктура (п. 9.4, 9.5 та інші).

Мета роботи – розробка та моделювання стенду для калібрування FPV дронів, а також аналіз основних технологій та методів, що застосовуються у процесі калібрування таких пристроїв.

Об’єкт роботи – процес калібрування FPV дронів.

Предмет роботи – моделі та методи налаштування FPV дронів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- провести аналіз сфери використання дронів;
- провести аналіз видів дронів;
- провести аналіз методів калібрування FPV-дронів;
- провести аналіз платформ для калібрування та тестування дронів;
- провести огляд потреб та вимог до стенду для калібрування FPV дронів;
- розробити кінематичну схему стенду для калібрування FPV дронів;
- провести вибір механічних компонентів;
- провести вибір електричних компонентів;
- розробити схему підключення компонентів;
- провести цифрову фільтрацію сигналу акселерометра та гіроскопа MPU-6050;
- розробити раму.

Дана кваліфікаційна робота була виконана згідно ДСТУ 3008 – 15 [1], а також, керуючись навчальним посібником з дипломного проекту [2] та методичними вказівками [3].

## 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

Дрони та БПЛА допомагають поліпшити та автоматизувати багато сфер життя людини. Вони, у порівнянні з людською працею, мають наступні переваги:

- безпека: дрони можуть виконувати завдання в небезпечних умовах, таких як пожежі, радіаційні зони або небезпечні території, де ризик для життя людини великий. Це дозволяє зберегти життя рятувальників та фахівців;

- ефективність: дрони можуть виконувати завдання швидше та ефективніше, оскільки не потребують перерв на відпочинок, їжу або сон. Вони можуть працювати цілодобово;

- точність: безпілотні системи можуть виконувати точні обчислення та навігацію, що дозволяє їм виконувати завдання з високою точністю;

- вартість: використання дронів може бути дешевшим у порівнянні з наймом та утриманням людей для виконання тих самих завдань;

- доступ до важкодоступних місць: дрони можуть досліджувати важкодоступні або віддалені території, такі як гори, ліси, острови або пустелі, де люди не можуть легко дістатися [4].

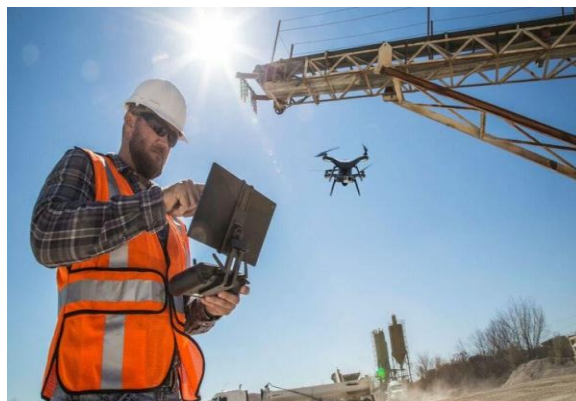
Їхні переваги роблять їх незамінними в багатьох сферах:

- агрокультура;
- будівництво;
- телекомунікації;
- геологія;
- геодезія;
- військова справа.

На рисунку 1.1 представлено приклади основних галузей використання дронів.



а)



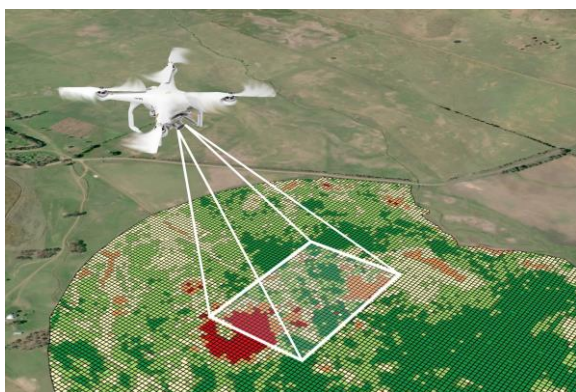
б)



в)



г)



д)



е)

а) агрокультура; б) будівництво; в) телекомунікації;  
г) геологія; д) геодезія; е) військова справа

Рисунок 1.1 – Приклади галузей використання дронів

### 1.1 Сфери використання дронів

Дрони широко використовуються в сільському господарстві, особливо в галузі агрокультури, в різних цілях:

– моніторинг посівів: дрони оснащені камерами та сенсорами, які можуть знімати зображення з високою роздільною здатністю полів. Ці дані можуть бути використані для аналізу здоров'я рослин, виявлення хвороб, визначення ступеня зростання та ін. Моніторинг допомагає сільськогосподарським підприємствам приймати більш поінформовані рішення щодо необхідних заходів для догляду за культурами;

– оцінка стану ґрунту: дрони можуть оснащуватися інфрачервоними та іншими сенсорами, які дозволяють аналізувати склад та стан ґрунту. Це допомагає визначити рівень родючості, вологість, вміст поживних речовин та інші параметри, що впливають на якість ґрунту та врожай;

– визначення рівня врожайності: аналіз даних, зібраних дронами, дозволяє оцінити очікуваний урожай. Це допомагає сільськогосподарським підприємствам планувати процеси збирання врожаю, розподіл ресурсів та передбачення потенційних доходів [5].

Переваги використання дронів у сільському господарстві включають:

– збільшення ефективності процесів: дрони можуть швидко та ефективно охоплювати великі ділянки землі та збирати дані, що дозволяє сільськогосподарським підприємствам оперативно реагувати на зміни та вживати відповідних заходів;

– оптимізація використання ресурсів: аналіз даних, отриманих за допомогою дронів, дозволяє оптимізувати використання добрив, води та інших ресурсів, що допомагає знизити витрати та мінімізувати негативний вплив на довкілля.

Таким чином, використання дронів у сільському господарстві приносить значні вигоди, допомагаючи сільськогосподарським підприємствам підвищити продуктивність та знизити витрати.

Дрони у будівництві відіграють ключову роль, застосовуючись на різних етапах проектів. Ось як вони роблять внесок:

- ініціальне обстеження та вимірювання: дрони з високороздільні камерами та сенсорами LiDAR (лазерне сканування) дозволяють створювати точні карти місцевості, аналізувати топографію та планувати розташування об'єктів;

- моніторинг ходу робіт: дрони стежать за перебігом будівництва, забезпечуючи актуальну інформацію про прогрес. Вони також допомагають виявляти потенційні проблеми та покращувати координацію проекту;

- відстеження обладнання: дрони допомагають контролювати розташування та стан будівельної техніки, що сприяє оптимізації ресурсів;

- віддаленні інспекції та звіти про прогрес: обладнані відео передачею в реальному часі та телевізійними камерами, дрони надають всебічний огляд будмайданчика, виявляючи потенційні проблеми та підвищуючи продуктивність;

- повна інспекція проекту: дрони дозволяють детально вивчити об'єкти, включаючи висотні споруди, дахи та інші важкодоступні місця [6].

Переваги використання дронів у будівництві включають:

- скорочення часу та витрат на інспекції: дрони можуть швидко охопити великі площі та надати актуальні дані;

- підвищення безпеки: використання дронів зменшує ризики для працівників, оскільки вони можуть виконувати завдання на висоті або в небезпечних зонах;

- точність та надійність: дані, отримані за допомогою дронів, більш точні та надійні, ніж традиційні методи.

В цілому, дрони стали невід'ємною частиною будівельної індустрії, оптимізуючі робочий процес та покращуючи результати проектів.

Дрони відіграють важливу роль у сфері телекомунікацій, особливо у віддалених чи важкодоступних районах. Ось як вони роблять внесок:

- інспекції та обслуговування веж: дрони дозволяють безпечно та ефективно здійснювати інспекції веж. Раніше техніки мали підніматися на вершину вежі та вручну перевіряти встановлене обладнання;

- картографія та обстеження: дрони створюють точні 3D-моделі місцевості та карти у великому розширенні, що допомагає інженерам визначити найкращі місця для нових веж або розширення мережі;

- розширення мережі та зв'язок: дрони допомагають розширювати покриття мережі. Вони також швидко розгортаються у кризових ситуаціях, забезпечуючи зв'язок у екстрених випадках [7].

Переваги використання дронів у телекомунікаціях:

- скорочення часу та витрат: дрони швидко охоплюють великі площі та надають актуальні дані;

- підвищення безпеки: використання дронів зменшує ризики для працівників, оскільки вони можуть виконувати завдання на висоті або в небезпечних зонах;

- точність та надійність: дані, отримані за допомогою дронів, більш точні та надійні, ніж традиційні методи.

В цілому, дрони революціонізують телекомунікаційну індустрію, забезпечуючи ефективніше та надійне обслуговування.

Дрони в геології відіграють важливу роль, допомагаючи у дослідженні Землі та зборі даних. Ось кілька способів, якими дрони змінюють геологічні дослідження:

- картографія та обстеження: дрони допомагають створювати точні 3D-моделі місцевості та високороздільні топографічні зображення. Це дозволяє виявляти мікро топографічні особливості, такі як невеликі водні канали на поверхні льодовика;

- оцінка небезпечних або важкодоступних місць: дрони особливо корисні для отримання зображень або вимірювань над місцями, які небезпечні або важко досяжні пішки;

- віддалені інспекції та моніторинг: дрони дозволяють вивчати об'єкти, такі як висотні споруди, крыши та інші важкодоступні місця;

- геологічні дослідження: дрони збирають дані про геологічні формації, включаючи гірські ланцюги, річки та льодовики.

Переваги використання дронів у геології:

- скорочення часу та витрат на інспекції: дрони швидко охоплюють великі площі та надають актуальні дані;

- підвищення безпеки: використання дронів зменшує ризики для працівників, оскільки вони можуть виконувати завдання на висоті або у небезпечних зонах.

В цілому, дрони революціонізують геологічні дослідження, допомагаючи збирати високоякісні спостереження на поверхні Землі.

Геодезія відіграє важливу роль у розвитку технологій дронів для вимірювання, картографування та моніторингу територій. Основний акцент робиться на дослідженні можливостей дронів як інноваційного інструменту, що відкриває нові перспективи для геодезичних вимірювань та мапування.

Переваги використання дронів у геодезії включають:

- швидкість та точність: дрони дозволяють швидко збирати дані та створювати точні картографічні зображення;

- віддалені інспекції: дрони можуть охоплювати важкодоступні чи небезпечні місця, що дозволяє проводити інспекції без ризику для працівників;

- зменшення витрат: використання дронів дозволяє зменшити витрати на геодезичні роботи;

- моніторинг змін: дрони допомагають відстежувати зміни в місцевості, такі як зсуви ґрунту, ерозія та інші природні процеси;

- розширення можливостей: дрони відкривають нові можливості для дослідження територій, які раніше були важкодоступними.

В цілому, дрони в геодезії сприяють покращенню точності, ефективності та безпеки геодезичних робіт [8].

Використання дронів у військових цілях має безліч причин та переваг, які роблять їх незамінним інструментом для сучасних армій:

– розвідка та спостереження: дрони можуть використовуватися для проведення розвідки та моніторингу території, забезпечуючи військовим цінну інформацію про рух ворожих сил, техніку, об'єкти інфраструктури тощо. Це допомагає командуванню приймати поінформовані рішення та уникати непередбачених ситуацій;

– атаки і удари: дрони також можуть бути використані для завдання ударів по ворожих цілях з повітря, здійснюючи тактичні операції в районах, де застосування пілотованих літаків може бути занадто ризикованим або неможливим;

– підтримка бойових дій: дрони можуть надавати підтримку боді, забезпечуючи засоби зв'язку, передачу даних, розвідку місцевості, медичну евакуацію та інші необхідні послуги для бойових одиниць на полі бою;

– скорочення втрат: використання дронів дозволяє мінімізувати ризики для життя та здоров'я військовослужбовців, оскільки вони можуть виконувати багато завдань без прямої участі людини у зоні небезпеки;

– економія ресурсів: дрони зазвичай вимагають менших витрат на обслуговування та експлуатацію в порівнянні з пілотованими літальними апаратами, що робить їх економічно вигідними у використанні;

– гнучкість і маневреність: дрони мають високу маневреність і можуть бути легко перенесені і розгорнуті в різних районах, що дозволяє оперативно реагувати на умови, що змінюються на полі бою [9].

Загалом використання дронів у військовій справі дозволяє сучасним арміям ефективніше виконувати різні завдання, забезпечуючи перевагу в тактиці, стратегії та оперативності.

## 1.2 Види дронів

Дрони, або безпілотні літальні апарати (БПЛА) можуть класифікуватися за різними ознаками, включаючи розмір, конструкцію, спосіб управління, призначення та інші. Ось кілька основних видів дронів:

Мультироторні дрони (Quadcopters): це найпоширеніші види дронів, які мають чотири ротори та гвинти. Вони зазвичай компактні, легкі в керуванні та можуть використовуватися для різних цілей, від фото- та відеозйомки до доставки вантажів. На рисунку 1.2 представлено мультироторний дрон DJI Phantom 2 Vision.



Рисунок 1.2 – Мультироторний дрон DJI Phantom 2 Vision [10]

Дрони з фіксованими крилами (Fixed-wing drones): ці дрони мають жорсткі крила, як у літаків, і зазвичай використовуються для тривалих польотів на великі відстані. Вони можуть мати більш високу швидкість та ефективність у порівнянні з мультироторними дронами, але вони вимагають більшого простору для зльоту та посадки. На рисунку 1.3 представлено дрон з фіксованими крилами Bayraktar TB2.



Рисунок 1.3 – Дрон з фіксованими крилами Bayraktar TB2 [11]

Вертолітні дрони (Helicopter drones): ці дрони мають один або кілька головних роторів, як гелікоптери. Вони можуть мати високу маневреність і здатність до зльоту і посадки вертикально, що робить їх корисними в обмежених просторах. На рисунку 1.4 представлено вертолітний дрон Camcopter S-100.



Рисунок 1.4 – Вертолітний дрон Camcopter S-100 [12]

FPV дрони: це дрони, оснащені камерами та передавачами відеосигналу, які дозволяють пілоту бачити світ через відеоокуляри або екран керуючого пристрою. Вони широко використовуються в військовій справі, а також для створення захоплюючих відеозаписів. На рисунку 1.5 представлено український FPV-дрон КН-S7.



Рисунок 1.5 – Український FPV-дрон КН-S7 [13]

Гібридні дрони (Hybrid drones): ці дрони поєднують у собі особливості мультироторних і фіксованих крил, що дозволяє їм мати високу маневреність та дальність польоту. На рисунку 1.6 представлено гібридний дрон ЛАНЦЕТ.



Рисунок 1.6 – Гібридний дрон ЛАНЦЕТ [14]

Це лише деякі основні види дронів, існує безліч інших варіацій та модифікацій, а також спеціалізовані види для різних цілей та завдань.

### 1.3 Методи калібрування FPV-дронів

Калібрування дронів – важливий процес, який забезпечує точність та надійність польоту. Без правильного калібрування дрон може працювати некоректно, тому необхідно приділяти йому достатньо уваги. Ось деякі методи калібрування, їх переваги та недоліки.

Калібрування інерційних вимірювальних блоків (IMU).

Переваги:

- забезпечує точність даних про положення та орієнтацію дрона;
- підвищує безпеку польоту;
- дозволяє уникнути помилок, пов'язаних з акселерометрами та гіроскопами.

Недоліки:

- вимагає регулярного повторного калібрування;
- може бути складним для новачків.

Калібрування компасу.

Переваги:

- покращує навігацію та точність орієнтації;
- дозволяє уникнути помилок, пов'язаних із магнітними датчиками.

Недоліки:

- потребує проведення на відкритій місцевості, щоб уникнути впливу металевих об'єктів.

Калібрування ESC (електронних регуляторів оборотів).

Переваги:

- поліпшує стабільність польоту;
- запобігає дрейфу та нерівномірному обертанню моторів.

Недоліком є те, що вимагає точного налаштування кожного ESC.

Калібрування радіоуправління.

Переваги:

- гарантує точну відповідність команд пілота рухам дрону;
- підвищує керованість.

Недоліком є те, що вимагає акуратності та уваги при налаштуванні.

Калібрування камери та гіроскопа FPV.

Переваги:

- покращує якість відео;
- підвищує точність орієнтації.

Недоліком є те, що потребує спеціалізованих інструментів та знань.

Вибір методу калібрування залежить від типу дрону, його компонентів та цілей використання. Важливо дотримуватися рекомендацій виробника та проводити калібрування регулярно для оптимальної продуктивності [15].

#### 1.4 Платформи для калібрування та тестування дронів

Різні типи тестових платформ відіграють важливу роль у процесі калібрування дронів, забезпечуючи надійні та точні результати. Певні платформи використовують для певних задач та дронів.

Ось деякі з них:

- платформи на основі карданного валу: ці платформи є пристроями з карданним механізмом, який забезпечує точну стабілізацію дрону під час калібрування. Вони дозволяють дрону залишатися у фіксованому положенні, що важливо для ретельного налаштування та калібрування його систем навігації та керування;

- платформи з повітряною динамікою: ці платформи імітують аеродинамічні умови польоту, надаючи інформацію про поведінку дрону у різних сценаріях. Вони можуть створювати потоки повітря, що змінюються

швидкості та напрямки, що дозволяє перевірити стабільність та керованість дрона у різних умовах польоту;

– спеціалізовані стенди для калібрування сенсорів: ці стенди призначені для перевірки та калібрування сенсорів, таких як гіроскопи, акселерометри та компаси, що використовуються у дронах. Вони можуть забезпечити точне налаштування сенсорів на різних етапах калібрування, що є важливим для забезпечення стабільного польоту та точності навігації;

– платформи з імітацією GPS сигналу: ці платформи створюють імітацію GPS сигналу, який приймається дроном, що дозволяє перевірити його реакцію на різні сценарії польоту та різні умови навігації. Це важливо для забезпечення точної навігації та надійної роботи автопілота у реальних умовах експлуатації.

Роль цих тестових платформ полягає у забезпеченні надійності, стабільності та точності роботи дронів. Вони дозволяють проводити ретельне налаштування та калібрування всіх систем дрону перед його використанням у реальних умовах, що в кінцевому підсумку сприяє підвищенню безпеки та ефективності його експлуатації [16].

## 2 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

### 2.1 Огляд потреб та вимог до стенду для калібрування FPV дронів

У цьому підрозділі проведено детальний огляд та аналіз потреб користувачів і вимог до стенду для калібрування FPV дронів. Розглянуті різноманітні аспекти, такі як типи дронів, їх технічні характеристики, особливості роботи, а також вимоги щодо калібрування, включаючи точність вимірювань та швидкість процесу калібрування.

Типи дронів, для визначення потреб користувачів розглянули різновиди FPV дронів, які будуть піддаватися калібруванню. Це можуть бути мініатюрні квадрокоптери для гоночних змагань, дрони для аерофотозйомки або дрони, використовувані в агрокультури або рятувальних операціях.

Технічні характеристики дронів, для вирішення вимог до стенду врахували різноманітні технічні параметри дронів, такі як їх розмір, вага, типи вбудованих датчиків (гіроскопи, акселерометри, компаси), потужність двигунів, максимальна швидкість та маневреність.

Вимоги щодо калібрування, кожен дрон потребує точного та надійного калібрування для забезпечення стабільності та ефективності його роботи. Вимоги до точності вимірювань та швидкості процесу калібрування можуть відрізнятися залежно від конкретних потреб користувача та характеристик дрона.

Аналіз цих аспектів дозволив зрозуміти, які саме функції та можливості має мати стенд для калібрування FPV дронів, щоб задовольнити потреби користувачів і відповідати їх вимогам. На основі аналізу було прийнято рішення створити калібрувальний стенд для FPV дронів [17].

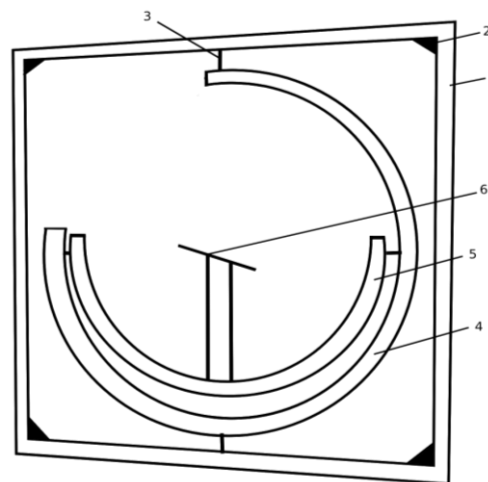
Характеристики калібрувального стенду зазначені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Характеристики калібрувального стенду для FPV дронів

№	Характеристики	Значення
1	Розмір стенду, см	60×60×42
2	Матеріал корпусу	Верстатний профіль Алюмінієвий
3	Кількість осей	2
4	Тип передачі даних	Через LCD екран
5	Кількість акселерометрів	1
6	Максимальна ширина дрону, см	40×40×15
7	Живлення, В	5

## 2.2 Кінематична схема стенду для калібрування FPV дронів

Кінематична схема стенду для калібрування, являє собою стандартне інженерне рішення для калібрування дронів. Кінематична схема наведена на рисунку 2.1.



- 1 – корпус стенду; 2 – алюмінієвий кут для верстатного профілю;  
 3 – лінійний напрямний вал з утримувачем валу; 4 – Кільце калібрування по горизонтальній осі; 5 – кільце калібрування по вертикальній осі;  
 6 – платформа кріплення дрону

Рисунок 2.1 – Кінематична схема стенду

Стенд для калібрування дронів складається з корпусу «1» який з'єднаний алюмінієвими кутами «2». До корпусу приєднаний напрямний вал з утримувачем валу «3», який відповідає за оберт кільця калібрування по горизонтальній осі «4». Кільце калібрування по вертикальній осі «5» приєднано до кільця калібрування по горизонтальній осі «4» за допомогою валу «3». Платформа кріплення дрону «6» знаходиться у центрі конструкції, це дозволяє проводити калібрування одночасно по осі X та осі Y. Ця конструкція дозволяє відкалібрувати дрон за двома осями.

### 2.3 Вибір механічних компонентів

Для створення корпусу стенду використовується алюмінієвий верстатний профіль, представлений на рисунку 2.2, а його технічні характеристики зазначені в таблиці 2.2.

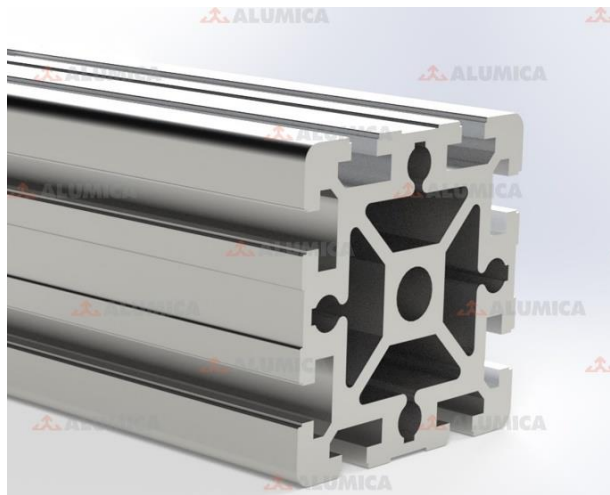


Рисунок 2.2 – Верстатний алюмінієвий профіль 20×20 [18]

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики верстатного профіля

Характеристика	Значення
Переріз профілю, мм	20 × 20
Вага, кг/м	0,44
Матеріал	алюмінієвий сплав

Алюмінієвий кут використовується для надійного кріплення верстатного профілю між собою, для надійності утвореної конструкції, представлений на рисунку 2.3, а його технічні характеристики зазначені в таблиці 2.3.



Рисунок 2.3 – Алюмінієвий кут для верстатного профілю [19]

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики алюмінієвого кута

Характеристика	Значення
Розміри, мм	20 × 17 × 20
Матеріал	алюмінієвий сплав
Тип з'єднання	під кутом 90

Профільна кругла труба використовується для створення кільця обертання по осі X та Y. Матеріал легкий та зручний у використанні (рис. 2.4).



Рисунок 2.4 – Профільна кругла труба [20]

Технічні характеристики зазначені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики профільної труби

Характеристика	Значення
Діаметр, мм	20
Висота, мм	20
Ширина, мм	20
Товщина, мм	2
Матеріал	алюмінієвий сплав
Покриття	анодоване

Лінійний направляючий вал використовується для з'єднання кільця обертання з корпусом стенду, зовнішній вигляд представлено на рисунку 2.5, а технічні характеристики зазначені в таблиці 2.5.



Рисунок 2.5 – Лінійний направляючий вал [21]

Таблиця 2.5 – Технічні характеристики лінійного валу

Характеристика	Значення
Матеріал	Сталь С45
Діаметр, мм	8
Твердість поверхні валу	HRC 60-64

Було вирішено використати тримач валу KFL08 з підшипником, тому що він дешевий та надійний та підходить до обраного валу з діаметром 8 мм (рис. 2.6).



Рисунок 2.6 – Тримач валу

## 2.4 Вибір електричних компонентів

Плата мікроконтролера Arduino UNO була обрана через її компактні розміри, зручність підключення компонентів до плати завдяки наявності двох десятків контактів та звичайно через зручність написання коду і виконання програми, зовнішній вигляд представлено на рисунку 2.7, а технічні характеристики зазначені в таблиці 2.6.

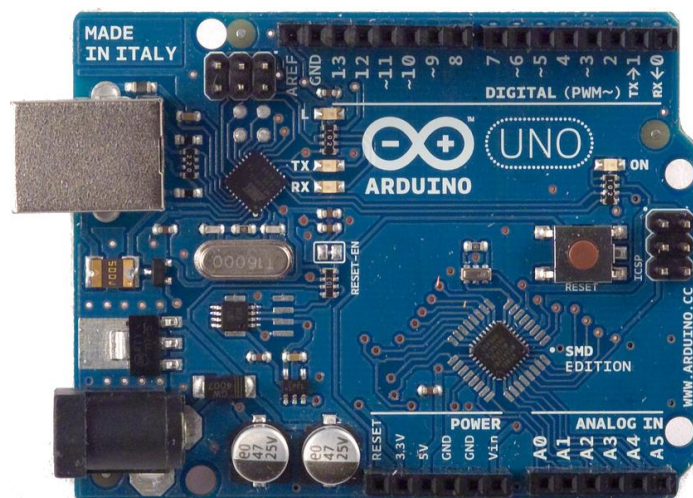


Рисунок 2.7 – Arduino UNO [22]

Таблиця 2.6 – Технічні характеристики Arduino UNO

Характеристика	Значення
1	2
Мікроконтролер	ATmega328
Робоча напруга, В	5
Цифрові входи/виходи	14 (6 з яких можуть використовуватися як виходи ШІМ)

## Продовження таблиці 2.6

1	2
Аналогові входи	6
Флеш пам'ять, Кб	32 (ATmega328) з яких 0,5 використовуються для завантажувача
ОЗУ, Кб	2 (ATmega328)

Плата акселерометра та гіроскопа MPU-6050 була обрана через те, що вона має 3 осьовий акселерометр та гіроскоп, а це дозволяє повністю закрити потребу по налаштуванню дрону. Також ця плата вирізняється своєю точністю та надійністю при цьому вона достатньо бюджетна, зовнішній вигляд представлено на рисунку 2.8, а технічні характеристики зазначені в таблиці 2.7.

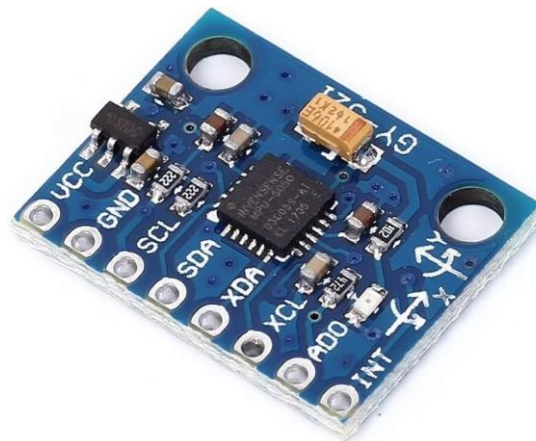


Рисунок 2.8 – Плата MPU-6050 [23]

Таблиця 2.7 – Технічні характеристики MPU-6050

Характеристика	Значення
Робоча напруга, В	3,5 – 6
Діапазон гіроскопу, ° / с	± 250 500 1000 2000
Діапазон акселерометра, г	± 2 ± 4 ± 8 ± 16
Інтерфейс зв'язку	I2C
Габарити, мм	15 × 20

LCD модуль був обраний через бюджету вартість та через повне задоволення потреб проекту. 32 символи буде достатньо для відображення інформації з акселерометру та гіроскопу, зовнішній вигляд представлено на рисунку 2.9, а технічні характеристики зазначені в таблиці 2.8.



Рисунок 2.9 – LCD модуль 2×16 [24]

Таблиця 2.8 – Технічні характеристики LCD модулю

Характеристика	Значення
Робоча напруга, В	5
Розмір дисплею	16 символів x 2 рядки
Варіант підключення	16-контактний роз'єм
Габарити, мм	80 × 36 × 11

Ковзний контакт використовується для зручного з'єднання всіх компонентів стенду. Загальний вид представлено на рисунку 2.10, а технічні характеристики зазначені в таблиці 2.9.



Рисунок 2.10 – Ковзний контакт

Таблиця 2.9 – Технічні характеристики ковзного контакту

Характеристика	Значення
Кількість контактів, шт	12
Діаметр, мм	22
Діаметр фланця, мм	44,5
Висота, мм	26
Максимальна (постійна/мінлива), В	напруга 210/240
Максимальний струм, А	2
Робоча швидкість обертання, об/хв	250

Акумуляторний відсік буде використовуватися для живлення всього стенду. Нам не потрібна велика напруга, тому було прийнято рішення жити стенд за допомоги звичайних батарейок типу АА, або акумуляторами того ж розміру. Це надасть стенду мобільності та зручності у використанні. Загальний вид представлено на рисунку 2.11, а технічні характеристики зазначені в таблиці 2.10.



Рисунок 2.11 – Акумуляторний відсік [25]

Таблиця 2.10 – Технічні характеристики ковзного контакту

Характеристика	Значення
Кількість акумуляторів	2
Матеріал	Пластик
Напруга, В	5

## 2.5 Схема підключення компонентів

Використовуючи обрані компоненти зробимо схему підключення всіх модулів (рис. 2.12).

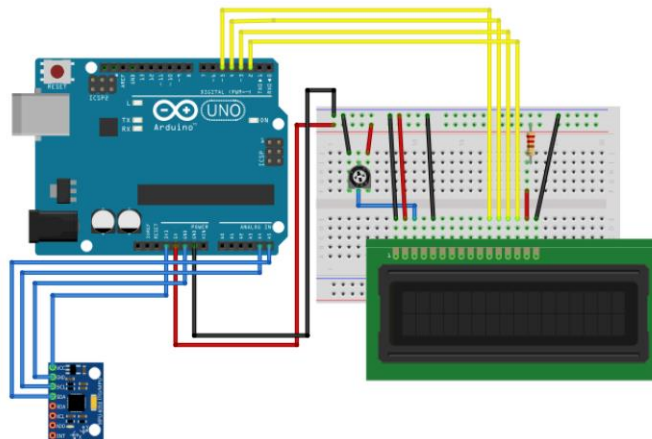


Рисунок 2.12 – Схема підключення компонентів

Таке підключення дозволяє отримувати сигнали від акселерометра та гіроскопа MPU-6050, оброблювати отриману інформацію на Arduino Uno та передавати значення та зміни на LCD панель. Це надає системі максимальну мобільність та швидкодію.

Для підключення MPU-6050 та LCD дисплея до Arduino Uno використовуються наступні з'єднання:

Акселерометр MPU-6050: VCC – 3В; GND – GND; SDA – A5; SCL – A4.

LCD дисплей: VCC – 5В; GND – GND; SDA – 5; SCL – 3.

Для того, щоб все це працювало, була створена програма на мові програмування Arduino. Ця програма отримує значення від MPU-6050, та якщо відбуваються зміни координат, то виводить їх на LCD дисплей. Код програми зазначено в Додатку А.

## 2.6 Цифрова фільтрація сигналу акселерометра та гіроскопа MPU-6050

Для отримання чистого та точного сигналу від MPU-6050 використаємо цифровий фільтр.

Цифровий фільтр це апаратна або програмна реалізація математичного алгоритму, входом якого є цифровий сигнал, а виходом – інший цифровий сигнал, форма якого амплітудна та фазова характеристики спеціальним чином модифіковані. В аналогових системах під фільтром розуміють деякий лінійний пристрій зі спеціальною частотною характеристикою, яке перетворює вхідний сигнал у вихідний, придушуючи або, навпаки, підсилюючи при цьому перші частоти в спектрі вхідного сигналу (рис. 2.13).

$$y(t) = s(t) * h(t) = \int_{-\infty}^{\infty} s(\tau)h(t - \tau) d\tau = \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau)s(t - \tau) d\tau s(t)$$

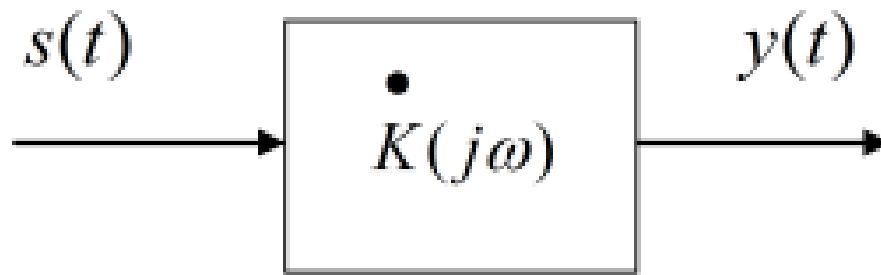


Рисунок 2.13 – Цифровий фільтр

Згідно із технічним завданням заносимо початкові дані до таблиці 2.11.

Таблиця 2.11 – Значення параметрів САУ

Найменування	Позначення	Значення
Коефіцієнт підсилення ЗБ	$K_{ЗБ}$	1200
Коефіцієнт підсилення Д	$K_{Д}$	1,3
Стала часу	$T_1$ [с]	1,35
Стала часу	$T_2$ [с]	0,45
Коефіцієнт підсилення АК	$K_{АК}$	0,0003
Стала часу ВП	$T_{ВП}$	0,025

До табл. 2.12 заносимо вимоги, яким повинна задовольняти вихідна САУ.

Таблиця 2.12 – Вимоги, щодо якості процесу управління

Найменування	Позначення	Значення
Час перерегулювання	$\sigma$	30
Час регулювання	$t_{рег}$	3

Функціональна схема САУ зазначена на рисунку 2.14.

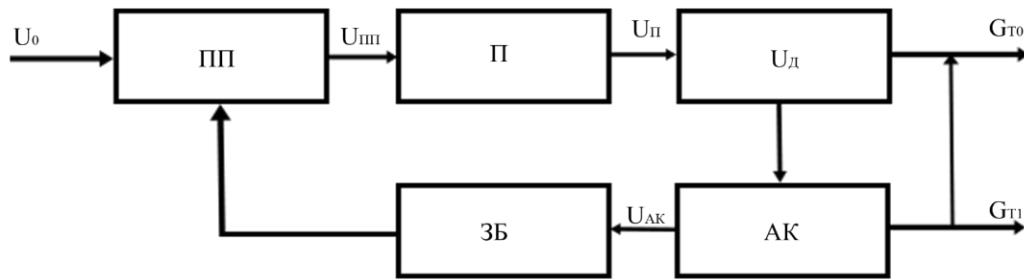


Рисунок 2.14 – Функціональна схема САУ

Лінійна неперервна САУ даних з дрону (Д) містить: Д як об'єкт регулювання, плата керування (ПП), запобіжник (ЗБ), підсилювач (П) і акселерометр та гіроскоп (АК).

Лінійна неперервна САУ регулювання даних з гіроскопу дрону (Д) містить: Д як об'єкт регулювання, вимірювальний пристрій у ланцюзі негативного зворотного зв'язку, елемент порівняння, підсилювач (П) і запобіжник (ЗБ).

Формула елемента порівняння, можливо описати рівнянням:

$$U_{\text{ПП}} = U_0 - U_{\text{АК}} . \quad (2.1)$$

де  $U_{\text{ПП}}$  – вихідна напруга ПП;

$U_0$  – вихідне значення напруги;

$U_{\text{кз}}$  – напруга на виході АК.

Формула підсилювача, можливо описати рівнянням:

$$U_{\text{П}} = K_{\text{П}} - U_{\text{ПП}} . \quad (2.2)$$

де  $U_{\text{П}}$  – напруга на виході підсилювача напруги;

$K_{\text{П}}$  – коефіцієнт посилення підсилювача напруги.

Передавальна функція підсилювача, можливо описати рівнянням:

$$W_{\Pi}(s) = K_{\Pi} . \quad (2.3)$$

Формула запобіжника, можливо описати рівнянням:

$$\begin{aligned} \frac{dG_{T0}}{dt} &= K_{ЗБ} U_{\Pi} , \\ \frac{dG_{T1}}{dt} &= K_{ЗБ} U_{AK} , \end{aligned} \quad (2.4)$$

де  $G_T$  – витрата току;

$K_{ЗБ}$  – коефіцієнт ЗБ.

Передавальна функція коробки запобіжника, можливо описати рівнянням:

$$W_{ЗБ}(s) = \frac{K_{ЗБ} U_{\Pi}}{s U_{\Pi}} = \frac{K_{ЗБ}}{s} = \frac{1200}{s} . \quad (2.5)$$

Формула опису акселерометра та гіроскопа дрону, можливо описати рівнянням:

$$T_2^2 \frac{d^2 n_D}{dt^2} + T_1 \frac{dn_D}{dt} + n_D = K_D \left( \tau_1 \frac{dG_T}{dt} + G_T \right) , \quad (2.6)$$

де  $n_D$  – частота обертання газотурбінного двигуна;

$K_D$  – коефіцієнт посилення газотурбінного двигуна;

$T_1, T_2$  – сталі часу газотурбінного двигуна.

Функція штатного акселерометру та гіроскопу, можливо описати рівнянням:

$$\begin{aligned}
 W_D(s) &= \frac{n_D}{G_T} , \\
 W_D(s) &= \frac{G_T K_D (\tau_1 s + 1)}{(T_2 s^2 + T_1 s + 1) G_T} , \\
 W_D(s) &= \frac{K_D (\tau_1 s + 1)}{(T_2 s^2 + T_1 s + 1)} , \\
 W_D(s) &= \frac{1,3(1,1s + 1)}{(0,45s^2 + 1,35s + 1)} .
 \end{aligned}
 \tag{2.7}$$

Формула вимірювального пристрою, можливо описати рівнянням:

$$T_{AK} \frac{dU_{AK}}{dt} + U_{AK} = K_{AK} n_D .
 \tag{2.8}$$

де  $T_{K3}$  – стала часу АК;

$K_{K3}$  – коефіцієнт посилення АК.

Передавальна функція вимірювального пристрою, можливо описати рівнянням:

$$\begin{aligned}
 W_{AK}(s) &= \frac{U_{AK}}{n_D} , \\
 W_{AK}(s) &= \frac{K_{AK} n_D}{(T_{AK} s + 1) n_D} , \\
 W_{AK}(s) &= \frac{K_{AK}}{(T_{AK} s + 1)} , \\
 W_{AK}(s) &= \frac{0,0003}{(0,025s + 1)} .
 \end{aligned}
 \tag{2.9}$$

Структурна схема нескоригованої системи зображена на рисунку 2.15.

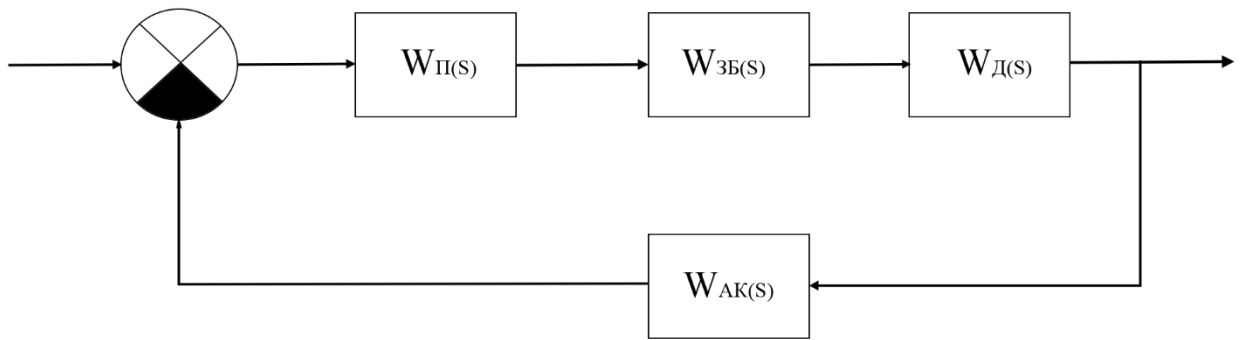
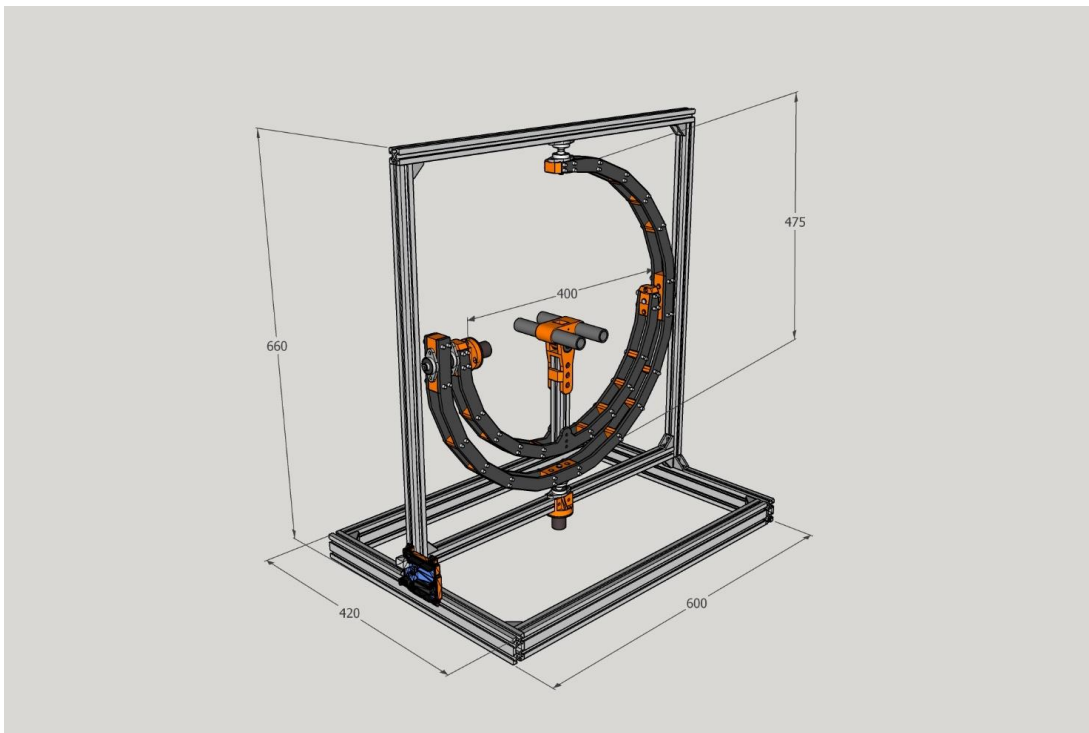


Рисунок 2.15 – Структурна схема нескоригованої системи

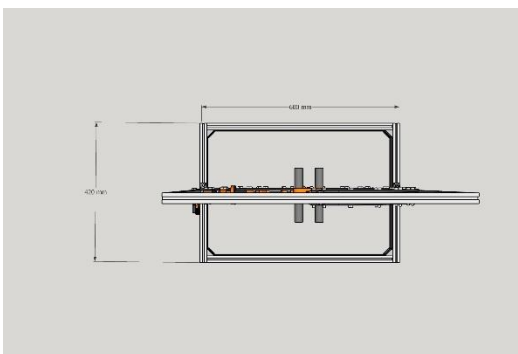
## 3 РОЗРОБКА 3D-МОДЕЛІ

### 3.1 Розробка рами

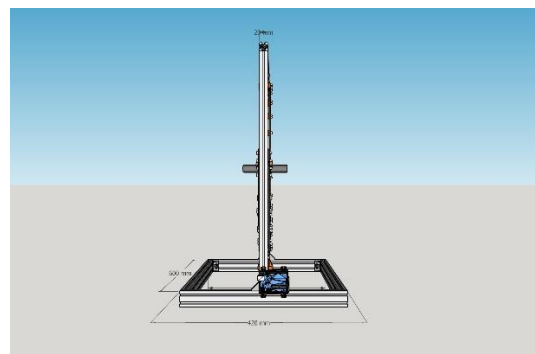
Згідно кінематичної схеми та обраних компонентів була розроблена 3D модель стану для калібрування FPV дронів (рисунок 3.1).



а)



б)



в)

а – ізометричний вигляд; б – вигляд зверху; в – вигляд збоку

Рисунок 3.1– Загальний вигляд 3D моделі

Розміри стенду складають 600 мм × 420 мм × 620 мм, що задовольняє вимогам технічного завдання. Модель складається з багатьох компонентів (рис. 3.2).

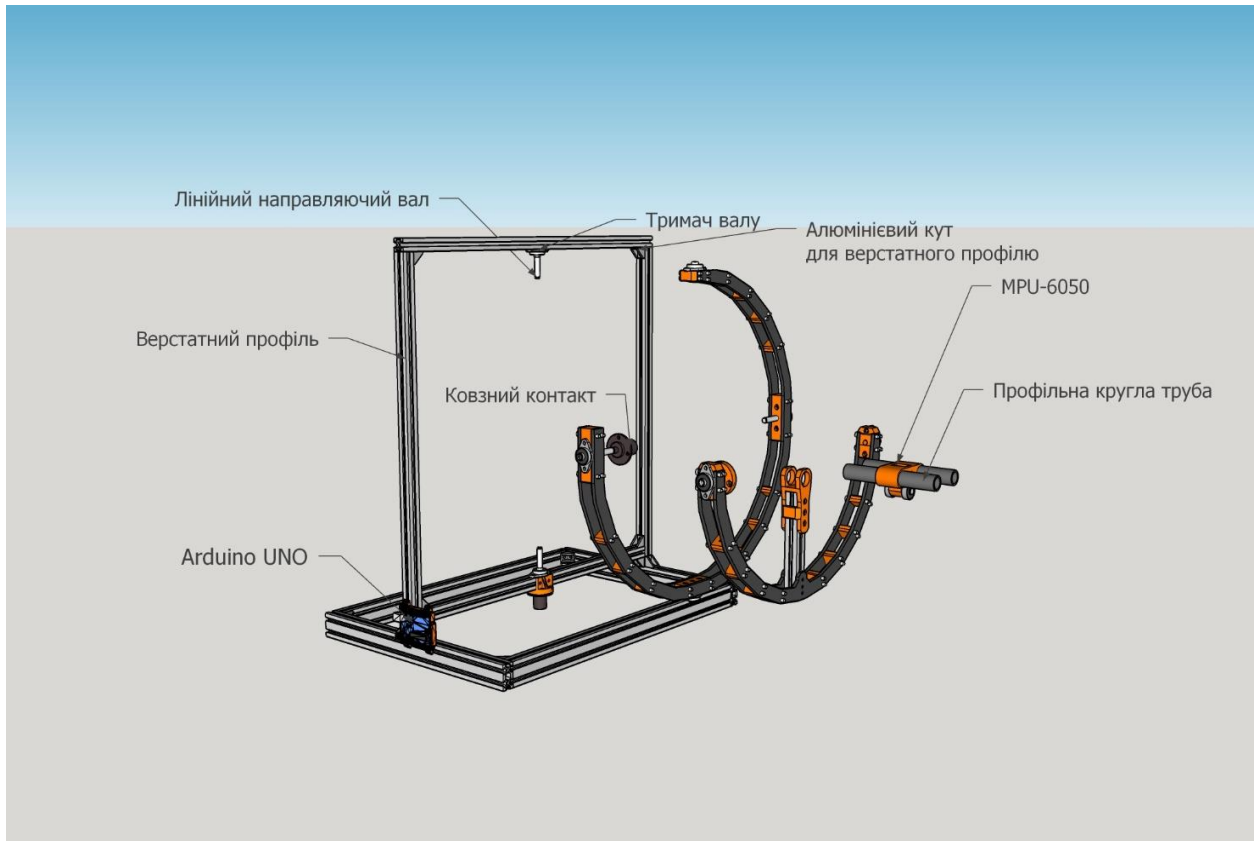
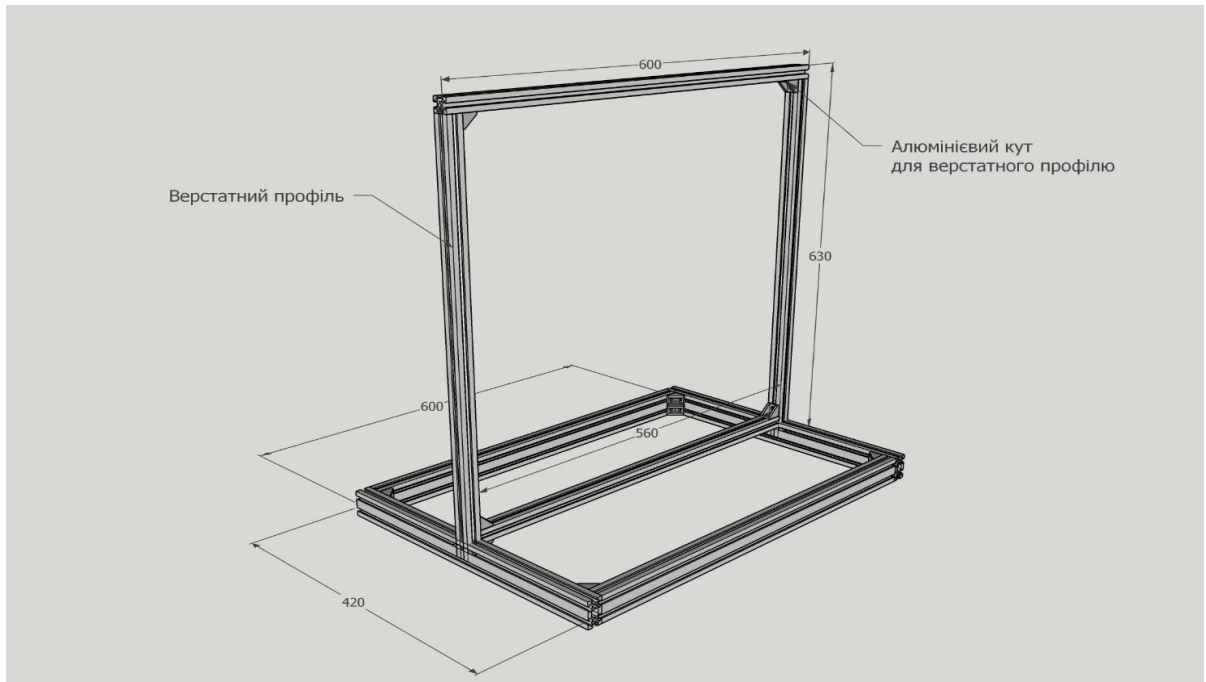


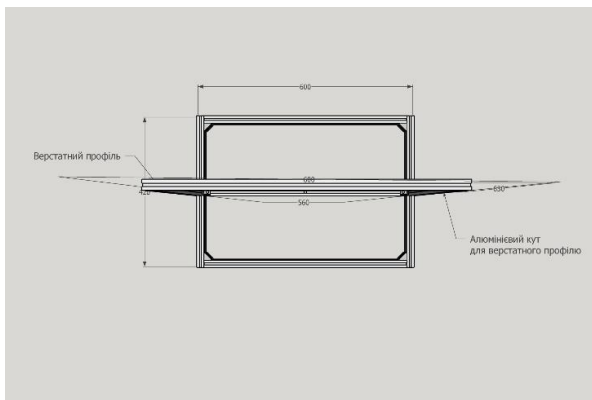
Рисунок 3.2 – Складові компоненти конструкції

Корпус стенду створений з верстатного алюмінієвого профілю 20 мм × 20 мм який фіксується один з одним завдяки алюмінієвим кутам та утворює каркас 420 мм × 600 мм.

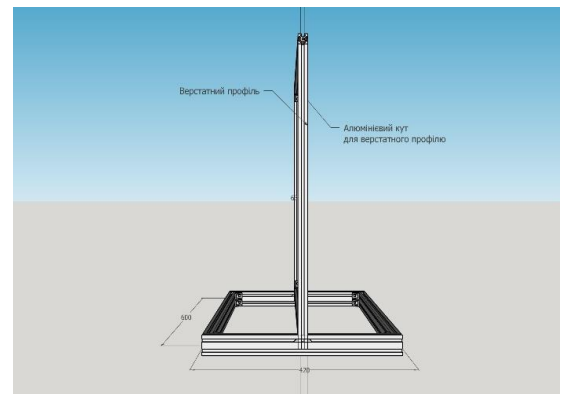
Це зроблено для того щоб утворити вертикальну раму яка також кріпиться завдяки алюмінієвим кутам та утворюють каркас 600 мм × 630 мм. У профілі також зроблені отвори 5 мм та 8 мм для кріплення тримача валу (рис. 3.3).



а)



б)



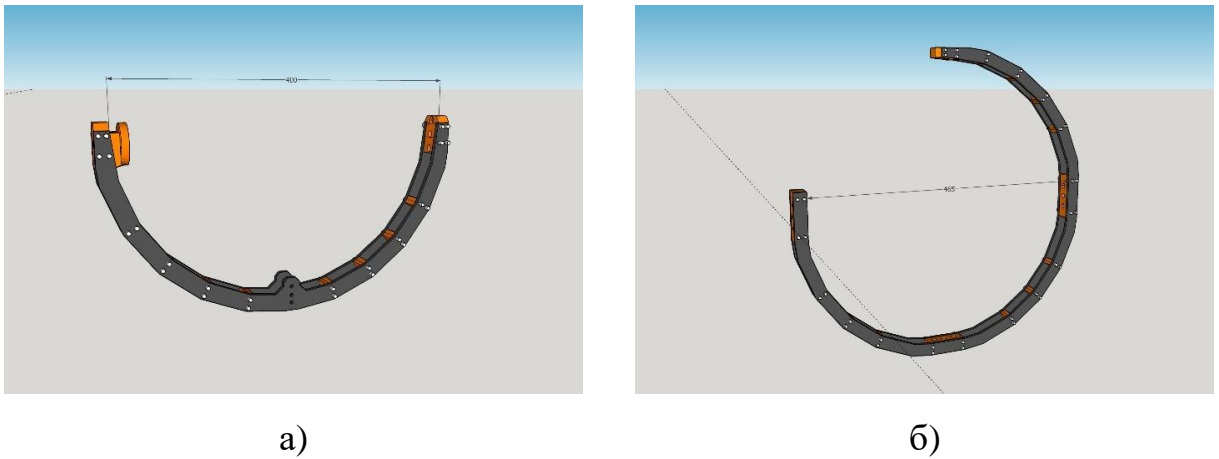
в)

а – ізометричний вигляд рами; б – вигляд зверху; в – вигляд збоку

Рисунок 3.3 – Рама макету

В стенді використовуються півкільця які обертаються по осях Х та Y. Вони зроблені з ABS пластику товщиною 4 мм. Це дозволяє зручно нарізати пластик, надати йому форму півкола з діаметром 465 мм та 400 мм, а також зменшити вагу на півкілець.

Також проріжемо отвори діаметром 5 мм та 8 мм для кріплення валу (рис. 3.4).



а – півкільце радіусом 400 мм осі X; б – півкільце радіусом 465 мм осі Y

Рисунок 3.4 – Півкільця осей X та Y

Для закріплення півкільць які обертаються по осям ми використовуємо лінійний направляючий вал який кріпиться до рами за допомогою тримача валу та фіксується на конструкції (рис. 3.5).

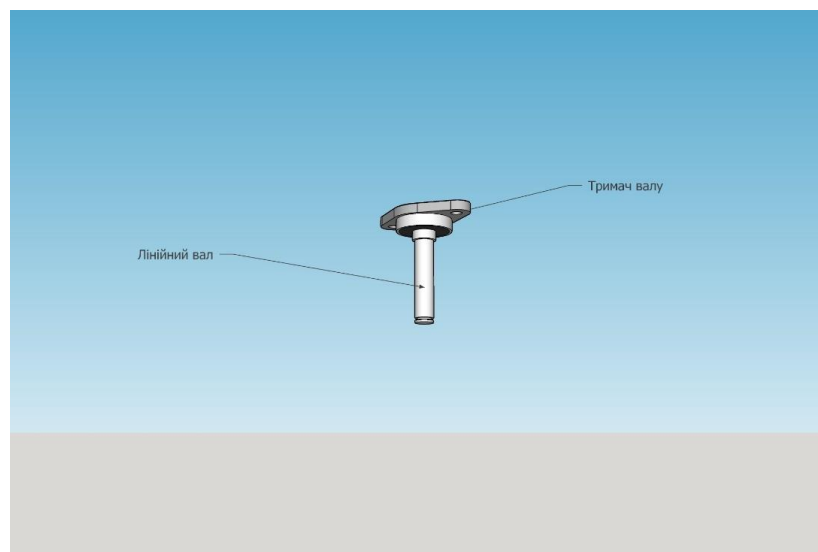


Рисунок 3.5 – Лінійний вал та тримач валу

Після закріплення півкільць за допомогою лінійних валів та тримачів ми отримуємо конструкцію яка може обертатися по двох осях. Також додаємо два ковзаючих контакти для майбутнього з'єднання акселерометру-гіроскопу MPU-6050 з Arduino UNO (рис. 3.6).

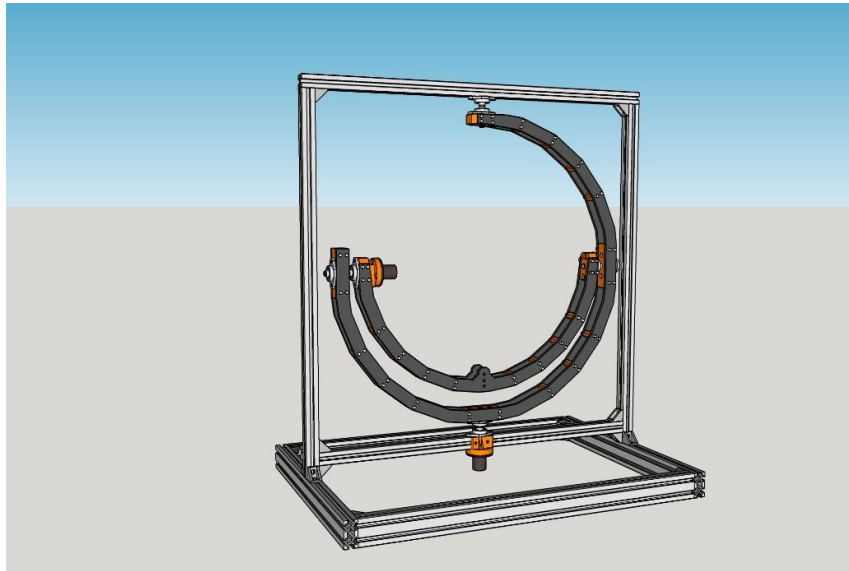
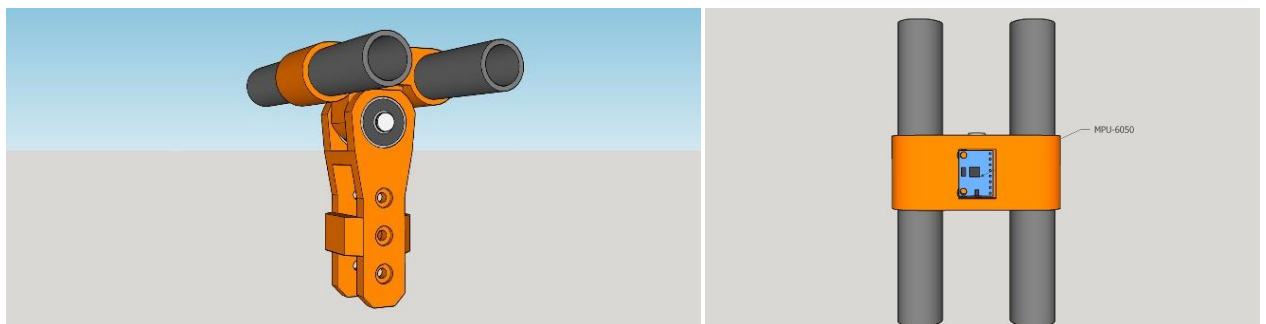


Рисунок 3.6 – Фіксація півкілець та ковзаючих контактів

Платформа для дрону фіксується у центрі обох півкілець, це необхідно для більш точного налаштування дрону. Також платформа має кріплення для надійної фіксації дрону. В середині платформи кріпиться плата акселерометру-гіроскопу яка буде передавати дані про положення платформи на плату Arduino (рис. 3.7).

Сама площадка для фіксації дрону зроблена з двох частин надрукованих на 3D-принтері. Частини з'єднані за допомогою двох підшипників АВЕС-8 та валу діаметром 8 мм, що в свою чергу дає ще одну рухому вісь, яка дозволяє моніторити крен дрону під час налаштування.



а)

б)

а – ізометричний вигляд рами; б – вигляд зверху

Рисунок 3.7 – Платформа для дрону

Платформа для дрону з'єднується з півкільцем осі Y за допомоги верстатного алюмінієвого профілю який ми використовували в створенні корпусу. До корпусу кріпиться плата Arduino Uno яка буде отримувати координати від MPU-6050 та виводить ці дані на LCD панель. Після цього ми маємо готову 3D-модель стенду для калібрування FPV дронів (рис. 3.8).

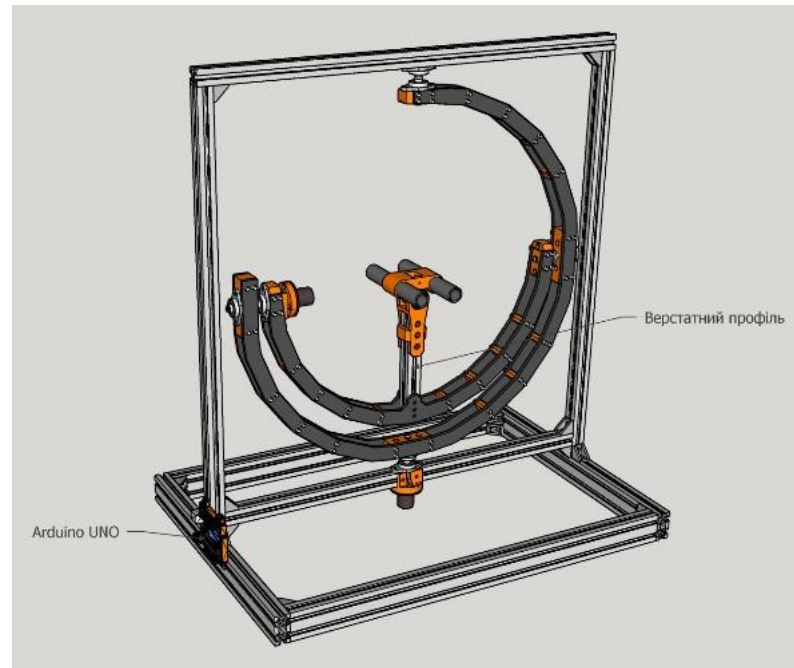


Рисунок 3.8 – Готова 3D модель стенду

### 3.2 Охорона праці

Під час виконання дипломної роботи бакалавра на тему “Розробка стенду для точного калібрування First Person View (FPV) дронів” уся розробка повинна виконуватись із врахуванням вимог техніки безпеки на робочому місці, пожежної безпеки, відповідно з діючими нормативно-правовими актами та встановленими нормами.

Для забезпечення безпечної роботи з ПК та скорочення негативного впливу на здоров'я користувача, потрібно дотримуватись норм, визначених у наступних документах:

- Закон України “Про охорону праці”;
- НПАОП 0.00-7.15-18 “Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями”;
- ДСанПІН 3.3.2.007-98 “Гігієнічні вимоги до організації роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин”;
- НПАОП 40.1-1.21-98 “Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів”;
- НАПБ А.01.001-2004 “Правила пожежної безпеки в Україні”.

Перед початком розробки стенду для калібрування дронів було проведено інструктажі з охорони праці, техніки безпеки та протипожежної безпеки.

У приміщенні де проводиться розробка, площа на одне робоче місце повинна становити не менше ніж  $6,0 \text{ м}^2$ , а об'єм не менше ніж  $20,0 \text{ м}^3$ .

Дотримано вимог стосовно освітлення, оптимальних умов мікроклімату, ергономічних характеристик основних елементів робочого місця, рівнів 71 шуму, електромагнітного, ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювання та електростатичного поля викладених у ДСанПіН 3.3.2-007-98.

Приміщення, у якому передбачається експлуатація ПК, не повинно межувати з будівлями, у яких рівні шуму і вібрації перевищує допустимі значення за нормативними документами ДСН 3.3.6.037-99, ДСН 3.3.6. 039-99.

Крім цього, необхідно передбачити звукоізоляцію огорожувальних конструкцій приміщень з ПК від шуму, що задовольняє вимогам ДСТУ 2325-93, ДСТУ 3130-95.

Оскільки, основне навантаження під час розробки стенду для калібрування дронів припадало на зорову систему, тому штучне освітлення в приміщеннях з робочими місцями, обладнаними ПК, здійснювалось

системою загального рівномірного освітлення, а значення освітленості на поверхні робочого столу в зоні розміщення документів становила 300-500 лк. За умов коли ці значення освітленості неможливо було забезпечити системою загального освітлення, використовувалось місцеве освітлення. Також, потрібно робити короткі перерви кожні 20 хв., що дозволить зменшити напруженість зорового нерву і відповідно знизити імовірність його травмування. Рекомендується, час від часу, робити спеціальний комплекс вправ для зниження втомлюваності очей та зменшення нервового напруження.

Для профілактики загальної втоми і особливо зорового аналізатора важливе значення має організація режиму праці та відпочинку. Загальна тривалість робочого дня не повинна перевищувати 8 годин. Частота і тривалість перерв залежать від типу та інтенсивності виконуваних робіт. Під час робіт, які виконуються з великим навантаженням, рекомендуються перерви на 10-15 хвилин через кожну годину, а при неінтенсивній і монотонній роботі – на 10-15 хвилин через кожні дві години. Кількість мікропауз (тривалістю до хвилини) потрібно регулювати індивідуально.

Зміст регламентованих перерв може бути різний: виробнича гімнастика 72 (вправи для очей, гімнастика, спрямована на корекцію вимушеної робочої пози, поліпшення венозного кровообігу, часткову дисфункцію рухової активності), альтернативна допоміжна робота, приймання їжі тощо.

Так, як розробка стенду для калібрування дронів потребує високої концентрації уваги важливим аспектом є забезпечення шумоізоляції, для цього обладнання, яке становило джерело шуму було розміщено в окремих приміщеннях.

Згідно з правилами протипожежної безпеки приміщення в яких відбувалося дослідження було обладнано системою автоматичної протипожежної сигналізації та необхідною кількістю вогнегасників. Для захисту користувачів ПК та дотримання регламентованих норм світлового

випромінення використовувалися екранні світлофільтри та локальні світлофільтри.

#### Робота з електронними компонентами

- всі електронні компоненти повинні бути заземлені для запобігання електричним ударам;
- необхідно використовувати антистатичні браслети та килимки для захисту компонентів від статичної електрики;
- з'єднання проводів повинні бути виконані акуратно та ізольовані для уникнення коротких замикань.

Використання інструментів, таких як паяльники, викрутки та мультиметри, повинні використовуватись відповідно до їх призначення та з дотриманням інструкцій виробника.

#### Підготовка до калібрування:

- робоче місце повинно бути обладнане витяжкою або вентиляцією для видалення шкідливих випарів під час пайки;
- перед початком калібрування необхідно перевірити стан дрона та його комплектуючих на відсутність пошкоджень;
- робоче місце повинно бути звільнене від зайвих предметів, які можуть перешкоджати роботі або стати причиною травм.

#### Захист оператора:

- оператор повинен використовувати засоби індивідуального захисту (ЗІЗ), такі як захисні окуляри та рукавиці;
- оператор повинен знаходитись на безпечній відстані від дрона під час його роботи для уникнення травм у випадку неконтрольованого руху дрона.

#### Пожежна безпека:

- у приміщенні, де проводяться роботи, повинні бути встановлені вогнегасники, а працівники повинні бути ознайомлені з правилами їх використання;

– легкозаймісті матеріали повинні зберігатися в спеціально відведених місцях, подалі від джерел тепла та відкритого вогню.

Надання першої допомоги:

– у приміщенні повинна бути аптечка першої допомоги, оснащена всіма необхідними засобами для надання першої медичної допомоги у випадку травм;

– працівники повинні бути навчені навичкам надання першої допомоги та знати порядок дій у разі виникнення нещасного випадку.

Дотримання вимог охорони праці є невід'ємною частиною процесу розробки та експлуатації стенду для точного калібрування FPV дронів. Виконання всіх заходів з охорони праці дозволить забезпечити безпеку працівників, знизити ризики виникнення нещасних випадків та створити комфортні умови для ефективної роботи [26].

## ВИСНОВКИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дипломної роботи, сформульовано її мету та завдання, що вирішуються, наведено об'єкт, предмет, методи дослідження, практичне значення отриманих результатів.

В розділі 1 дипломної роботи проведено аналіз предметної області, розглянуті основні галузі використання дронів, види дронів та методи їх калібрування.

В розділі 2 проведено аналіз технічного завдання, обрані компоненти і дослідженні їх характеристики, які будуть використовуватись при створенні стенду.

В розділі 3 створено 3D-модель стенду. Описаний функціонал та технології з'єднання обраних компонентів та модулів.

В розділ «Охорона праці» присвячений вимогам з охорони праці та техніки безпеки відповідно до нормативних документів щодо протипожежних заходів, виробничої санітарії та гігієни, проведено оцінку дії електромагнітного поля на людину та способів захисту від нього.

Також розглянуто питання оцінки стійкості системи управління і постачання суб'єктів господарювання, підготовка до відновлення порушеного виробництва.

В дипломній роботі розроблено стенд для калібрування FPV дронів, проведено порівняльний аналіз дронів та технологій калібрування, аналіз доступних технологій та програмних реалізацій для створення надійного та простого стенду для калібрування дронів.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ 3008-15. Документація. Звіти у сфері науки та техніки. структура та правила оформлення. – Введ. 2015-06-22. – К. Держстандарт України, 2017 – 29 с.
2. Невлюдов, І.Ш. Дипломне проектування для студентів усіх форм навчання спеціальностей 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» [Текст]: навч. посіб. / І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.В. Токарева, Г.В. Пономарьова. – Київ-58, пр. Космонавта Комарова, 1, 2016. – 320 с.
3. Методичні вказівки з підготовки кваліфікаційної роботи для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної і заочної форми навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Упоряд.: І.Ш. Невлюдов, О.І. Филипченко, О.В. Токарева, С.П. Новоселов, О.В. Сичова. Харків: ХНУРЕ, 2023. 64 с.
4. Момотюк, В. О. (2020). Проблеми правового забезпечення використання дронів на благо людства в Україні (Doctoral dissertation, Національний авіаційний університет).
5. Ковальчук, А. Ю., & Ковтюх, Н. П. (2020). Сучасний стан і перспективи використання БПЛА у цивільній авіації України. In Актуальні проблеми інноваційного розвитку кластерного підприємництва в Україні. Київський національний університет технологій та дизайну.
6. Леонова, С., Басараб, Н., & Рудник, Л. (2024). Пріоритети використання бпла в логістичному забезпеченні будівництва. Економіка та суспільство, (61).

7. Юхименко, К., & Писаренко, Н. (2020). Нові ринки для використання БПЛА в умовах надзвичайних ситуацій. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/33616>.
8. Шатрава, С., Джафарова, О., Денищук, Д., Крицак, І., & Погорілець, О. (2022). Використання безпілотних літальних апаратів в діяльності Національної поліції.
9. Мосов, С. (2024). Роїння дронів військового призначення: реалії та перспективи. Збірник наукових праць Центру воєнно-стратегічних досліджень НУОУ імені Івана Черняхівського, 77-86.
10. Квадрокоптер DJI Phantom 2 Vision Plus // NeoSegway, 2024. URL: <https://neosegway.com.ua/kvadrokopter-phantom-2-vision-plus> (дата звернення: 27.04.2024).
11. Як турецький БПЛА Bayraktar TB2 підсилює ЗСУ // DefenseExpress, 2024. URL: [https://defence-ua.com/weapon\\_and\\_tech/jak\\_turetskij\\_bp\\_la\\_bayraktar\\_tv2\\_pidsiljuje\\_zsu5983.html](https://defence-ua.com/weapon_and_tech/jak_turetskij_bp_la_bayraktar_tv2_pidsiljuje_zsu5983.html) (дата звернення: 28.04.2024).
12. Безпілотний кілер танків: Що за дрон-вертоліт RZ-500 розробили в Україні // DepoUA, 2024. URL: <https://www.depo.ua/ukr/war/bezpilotniy-kiler-tankiv-shcho-za-dron-vertolit-rz-500-rozrobili-v-ukraini-202112091400078> (дата звернення: 28.04.2024).
13. В Україні розробили ударний FPV-дрон KH-S7 // Militarnyi, 2024. URL: <https://mil.in.ua/uk/news/v-ukrayini-rozrobyly-udarnyj-fpv-dron-kh-s7/> (дата звернення: 29.04.2024).
14. Ланцет: застосування та протидія // Militarnyi, 2024. URL: <https://mil.in.ua/uk/articles/lantset-1/> (дата звернення: 29.04.2024).
15. Лоточук О. М. Дослідження і розробка віртуального симулятора для навчання управлінням FPV дроном: пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи здобувача вищої освіти на другому (магістерському)

рівні, спеціальність 122 Комп'ютерні науки / О. М. Лоточук; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – Харків, 2024. – 52 с.

16. Крючок Д. В. Методика та застосунок системи підвищення життєдіяльності безпілотних апаратів. - Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра спеціальності «Інженерія програмного забезпечення». - Національний авіаційний університет. – Київ, 2023. – 105 с.

17. Павлюк Д.Л. Методика оцінки енергоефективності коптерних схем БПЛА. - Кваліфікаційна робота на здобуття ступеня магістр спеціальності "Авіаційний транспорт". - Національний авіаційний університет. - Київ, 2023. - 78с.

18. Гладських К. І. Моделювання впливу механічних параметрів DLP 3D-принтера на якісні показники 3D друку: пояснювальна записка до атестаційної роботи здобувача вищої освіти на другому (магістерському) рівні, спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка / К. І. Гладських; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – Харків, 2020. – 78 с.

19. Бойко Д. О. Оптимізація механічних параметрів 3D-принтера з кінематикою Cartesian: пояснювальна записка до атестаційної роботи здобувача вищої освіти на другому (магістерському) рівні, спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка / Д. О. Бойко; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки, кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки. – Харків, 2020. – 102 с.

20. Давидюк, Д. Л. (2023). Обґрунтування сучасних методів реконструкції та реновації інженерних сітей з використанням інноваційних технологій і матеріалів // eu-conf.com, 2024 <https://eu-conf.com/wp-content/uploads/2023/04/Scientific-fundamentals-of-solving-modern-scientific-problems.pdf> (дата звернення: 08.05.2024).

21. Боклаг Д. К. Моделювання впливу параметрів точності 3D-принтеру H-BOT з модифікацією changing tool на якісні показники друку:

пояснювальна записка до атестаційної роботи здобувача вищої освіти на другому (магістерському) рівні, спеціальність 151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології / Д. К. Боклаг; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки – Харків, 2021 – 78 с.

22. Arduino UNO R3 (ch340) з кабелем // uAmper.com, 2024. URL: [https://uamper.com/index.php?route=product/product&path=60&product\\_id=25&gad\\_source=1&gclid=CjwKCAjwgpCzBhBhEiwAOSQWQeGwCxyzDNUMsitFOXTR3k85ibIqkb20tLndBkjp86hqzXuC81D\\_bhoCKtQQA\\_vD\\_BwE](https://uamper.com/index.php?route=product/product&path=60&product_id=25&gad_source=1&gclid=CjwKCAjwgpCzBhBhEiwAOSQWQeGwCxyzDNUMsitFOXTR3k85ibIqkb20tLndBkjp86hqzXuC81D_bhoCKtQQA_vD_BwE) (дата звернення: 08.05.2024).

23. Акселерометр ADXL345 (GY-291) // uAmper.com, 2024. URL: [https://uamper.com/index.php?route=product/product&path=165&product\\_id=230&gad\\_source=1&gclid=CjwKCAjwgpCzBhBhEiwAOSQWQWQ7TgWFkZAEPe-gfcDC121xRjqdlJ9S6lTvb3yYO9vAXVjqrcVx7RoCngsQA\\_vD\\_BwE](https://uamper.com/index.php?route=product/product&path=165&product_id=230&gad_source=1&gclid=CjwKCAjwgpCzBhBhEiwAOSQWQWQ7TgWFkZAEPe-gfcDC121xRjqdlJ9S6lTvb3yYO9vAXVjqrcVx7RoCngsQA_vD_BwE) (дата звернення: 10.05.2024).

24. Символьний LCD 1602 (синій) // uAmper.com, 2024. URL: [https://uamper.com/index.php?route=product/product&path=180&product\\_id=78&gad\\_source=1&gclid=CjwKCAjwgpCzBhBhEiwAOSQWQZwLeMLsmu5BuEf v480t0ay0G2vTJsirZMs53qot4uGTWa21VBXnChoCWwsQA\\_vD\\_BwE](https://uamper.com/index.php?route=product/product&path=180&product_id=78&gad_source=1&gclid=CjwKCAjwgpCzBhBhEiwAOSQWQZwLeMLsmu5BuEf v480t0ay0G2vTJsirZMs53qot4uGTWa21VBXnChoCWwsQA_vD_BwE) (дата звернення: 10.05.2024).

25. Тримач батарей 2x18650 // uAmper.com, 2024. URL: [https://uamper.com/index.php?route=product/product&path=268&product\\_id=3440&gad\\_source=1&gclid=CjwKCAjwgpCzBhBhEiwAOSQWQaDZ5ZXEA7GPQ U3oKysCGIzr9DQJjnI4ds\\_KFzAQhIQqoLBmKTMcnRoC8LwQA\\_vD\\_BwE](https://uamper.com/index.php?route=product/product&path=268&product_id=3440&gad_source=1&gclid=CjwKCAjwgpCzBhBhEiwAOSQWQaDZ5ZXEA7GPQ U3oKysCGIzr9DQJjnI4ds_KFzAQhIQqoLBmKTMcnRoC8LwQA_vD_BwE) (дата звернення: 12.05.2024).

26. Євтушенко Н. С. Щодо важливості питань з охорони праці на підприємстві / Н. С. Євтушенко, Н. Є. Твердохлебова // Безпека людини у сучасних умовах: зб. доп. 12-ї Міжнар. наук.-метод. конф. та 144-ї Міжнар. наук. конф. Європ. Асоц. наук з безпеки (EAS), 3-4 грудня 2020 р. = Human safety in modern conditions: coll. of 12th Intern. Sci. and Methodological Conf.,

144 Intern. Sci. Conf. of the Europ. Assoc. for Security (EAS), December 3-4, 2020 / Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т" [та ін.]. – Харків: Панов А. М., 2020. – С. 40-42.