

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Факультет _____ АКТ _____
Кафедра _____ КІТАР _____
Рівень вищої освіти _____ перший (бакалаврський) _____
Спеціальність _____ 172 Телекомунікації та радіотехніка _____
Тип програми _____ Освітньо-професійна _____
Освітня програма _____ Інтелектуальні технології засобів радіоелектроніки _____
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри КІТАР _____
(підпис)

« 08 » квітня 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові _____ Бабаєву Єгору Сергійовичу _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка конструкції цивільного повітряного робота для перевезення вантажів

Затверджена наказом по університету від 20.05.2024 р. № 479 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 24.06.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи розробка моделей в середовищі Fusion360, проведення досліджень моделей в SolidWorks Simulation

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

4.1 Вступ, обґрунтування актуальності роботи; _____

4.2 Визначення мети, предмету та об'єкту розробки; _____

4.3 Аналіз літературних джерел; _____

4.3 Аналіз існуючих конструкцій; _____

4.4 Моделювання конструкції повітряного робота; _____

4.5 Розробка конструкції повітряного робота; _____

4.6 Питання забезпечення безпечних умов при проектуванні ПР; _____

4.7 Висновки _____

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій

Графічний матеріал у вигляді презентації – 12 арк. ф. А 4

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	Актуальність роботи, постановка задачі	22.04.24 – 30.04.24	виконано
2	Визначення мети, предмету та об'єкту розробки	01.05.24 – 08.05.24	виконано
3	Аналіз літературних джерел. Аналіз існуючих конструкцій	09.05.24 – 14.05.24	виконано
4	Вибір системи для розробки моделі	15.05.24 – 25.05.24	виконано
5	Моделювання конструкції повітряного робота	26.05.24 – 30.05.24	виконано
6	Розробка конструкції повітряного робота	31.05.24 – 04.06.24	виконано
7	Подання роботи на перевірку автоматизованою системою щодо дотримання академічної доброчесності	05.06.24 – 09.06.24	виконано
8	Оформлення пояснювальної записки	10.06.24 – 13.06.24	виконано
	Подання роботи на рецензію	14.06.24 – 16.06.24	виконано
9	Подання роботи на підпис зав. кафедри	17.06.24 – 20.06.24	виконано
11	Подання кваліфікаційної роботи в ЕК	21.06.2024	виконано

Дата видачі завдання 08.04.2024 р.

Студент _____ Бабаєв Є.С.
(підпис)

Керівник роботи _____ доц. Демська Н.П.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

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

17.06.2024



Єгор БАБАЄВ

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 83с., 22 табл., 45 рис., 1 дод., 25 джерел

КОМП'ЮТЕРНА МОДЕЛЬ, ТРИВИМІРНЕ ПРОЕКТУВАННЯ, КОНСТРУКЦІЯ, МОДЕРНІЗОВАНІ ЕЛЕМЕНТИ ПОВІТРЯНОГО РОБОТУ

Мета роботи – розроблення конструкції повітряного робота зі змінними платформами для перевезення вантажів.

Об'єкт розробки – процес побудови моделі кріплення для цивільного повітряного робота засобами систем тривимірного проектування.

Предмет розробки – комп'ютерна модель повітряного робота.

В роботі проведено аналізування галузей в яких застосовується сучасні повітряні роботи, дослідження компонентів, їх особливості, дослідження щодо практичного використання та основні характеристики ресурсопридатності.

Проведені роботи з проектування модернізованих елементів повітряного робота, проведений аналіз типів матеріалів, розглянуті оптимальні показники руху з різною масою додаткового тягаря з урахуванням територіальних норм та кращої швидкості для виконання задачі.

Невідокремлена частина це моделювання платформ для літального апарату та дослідження роботи повітряного робота з різними варіаціями.

ABSTRACT

Explanatory note: 83 p., 22 tabl., 45 pic., 1 applications, 259 sources.

COMPUTER MODEL, THREE-DIMENSIONAL DESIGN,
CONSTRUCTION, MODERNIZED ELEMENTS OF AERIAL ROBOT

The purpose of the work is to develop the design of an aerial robot with changeable platforms for cargo transportation.

The object of development is the process of building a model of a mount for a civil aerial robot by means of three-dimensional design systems.

The subject of development is a computer model of an aerial robot.

The paper analyzes the industries in which modern aerial work is used, studies of components, their features, studies of practical use and the main characteristics of serviceability.

Work was carried out on the design of modernized elements of aerial work, an analysis of the types of materials was carried out, optimal indicators of movement with different masses of additional burden were considered, taking into account territorial norms and the best speed for completing the task.

An integral part is the modeling of platforms for the aircraft and the study of the operation of the aerial robot with various variations.

ЗМІСТ

Перелік скорочень	4
Вступ.....	5
1 Аналіз існуючих конструкцій та сфер використання.....	7
1.1 Аналіз особливостей конструкцій повітряних роботів	7
1.2 Аналіз особливостей джерел живлення повітряних роботів	10
1.3 Аналіз основних видів закріплення вантажа на повітряних роботів.	12
2 Розробка конструкції повітряного робота	19
2.1 Вибір та обґрунтування середовища розробки	19
2.2 Моделювання існуючої конструкції повітряного робота.....	20
2.3 Симуляція існуючої конструкції повітряного робота	29
2.4 Дослідження мотора за критерієм стійкості	34
3 Розробка конструкції перевезення для повітряного робота	43
3.1 Аналіз інформації щодо конструкції для перевезення.....	43
3.2 Розробка конструкції повітряного робота для перевезення з дистанційним скиданням.....	44
3.3 Експериментальні дослідження щодо роботи повітряного робота з конструкцією електромагніта з різною масою вантажів	49
3.4 Розробка модульної конструкції для повітряного робота задля перевезення вантажу	59
3.5 Проведення досліджень щодо роботи повітряного робота з конструкцією модульних кейсів з різною масою вантажів.....	70
Висновки	78
Перелік джерел посилання	80
Додаток А Демонстраційний матеріал.....	84

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ДКАС – дистанційно керовані авіаційною системою;

ЕРС – електрорушійної сили;

НДР – науково-дослідна робота;

ПЗ – програмне забезпечення;

САПР – система автоматизованого проектування

ЧПУ – числове програмне управління;

CAD – Computer Aided Design;

CAE – Computer Aided Engineering;

CAM – Computer Aided Manufacturing

FPV – трансляція відео в режимі реального часу.

ВСТУП

На сьогоднішній день великого технічного прогресу набувають повітряні роботи, які мають безліч напрямів використання. Вони можуть бути розміром з руку, або як автомобіль, зможе перевозити на собі декілька центнерів додаткового вантажу. Одна з галузей, яку значимо може покращити повітряний робот, це сфера перевезень, завдяки тому, що транспортування не залежатиме від доріг, а шлях до кінцевої точки буде напростець [1].

Повітряні роботизовані технології мають потенціал для використання в широкому спектрі застосувань цивільного будівництва. Така технологія потенційно пропонує недорогі методи заміни дорогих заходів моніторингу здоров'я структур, таких як візуальний огляд. Повітряні роботи також можуть використовуватися в цивільному будівництві та для регіональних досліджень [2].

Дослідження і розробка конструкції для цивільного повітряного робота, задля того, щоб покращити цей процес логістичної операції та забезпечити для пілота зручний варіант платформи перевезення додаткового вантажу. Вона покращить такі фактори, як швидкість виконання доставлення вантажу, зменшить фінансові витрати, зможе вдосконалити процес відвезення, аби він не був виснажливим.

Під час аналізування проводиться огляд цивільного повітряного робота, розгляд модернізації його елементів задля подальшої розробки конструкції для перевезення вантажів. Проводиться дослідження, аби розуміти його максимальну дальність та час польоту з різним, за масою, тягарем. Пропонуються варіанти щодо покращеного адаптування цього у наші реалії.

Мета розробки – розроблення конструкції повітряного робота для кращого транспортування.

Об'єкт розробки – процес створювання тривимірної моделі повітряного робота з платформами для перевезення, використовуючи засоби графічного проектування.

Предмет розробки – комп'ютерна модель модернізованого повітряного робота.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз сфер застосування повітряних роботів;
- розглянути типологію та особливості компонентів повітряних роботів;
- проаналізувати конструкцію цивільного повітряного робота;
- розробити 3D-модель повітряного робота з кріпленням та провести аналіз вантажних особливостей;

оформити кваліфікаційну роботу згідно [3], а також з методичними вказівками з підготовки й оформлення кваліфікаційної роботи [4].

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ТА СФЕР ВИКОРИСТАННЯ

1.1 Аналіз особливостей конструкцій повітряних роботів

Спочатку треба визначити що ж таке повітряний робот, це безпілотний літальний апарат, що здатний літати без людини-пілота на борту. Зазвичай ними дистанційно керує людина на землі або вони можуть літати автономно, використовуючи заздалегідь запрограмовані плани польоту або координати GPS. На сьогоднішній день існує безліч варіантів повітряних роботів: від крихітних, що може керувати дитина до тих, що мають свій запрограмований алгоритм та можуть літати, проклавши самі собі маршрут. Але попри це, все одно повітряні роботи мають свої види за якими їх прийнято розрізняти [2].

Літальний роботизований апарат з нерухомим крилом – це повітряний робот з виглядом звичайного літака, що не може зависати в одній точці, це ускладнює запуск їх у небо і роблять це використовуючи споруду «катапульта» (рис. 1.1) або запускають з висоти, аби робот набрав початкову швидкість польоту [5].



Рисунок 1.1 – Повітряного робота з фіксованим крилом з установи
«катапульта»

Після зльоту повітряний робот продовжує планувати, як звичайний літак, використовуючи нормальну аеродинаміку, що робить їх недефективними з точки зору потужності [5].

Але мінус, який ще не встигли виправити, це його оглядова діяльність, коли літальний апарат повинен швидко обертатися або зависати в одному місці, повітряний робот залишається таким самим неповоротким і в цьому програє своїм опонентам.

Повітряний робот з одним ротором. По своєму вигляду та і, суто кажучи, по сенсу роботи, це маленькі гелікоптери. Зверху гвинт, корпус та двигун, який забезпечує довготривалу роботу [6].

Запускати їх та довготривалий політ не доступний звичайній людині, тільки ви отримаєте спеціальну ліцензію, то тоді вам дозволено керувати одногвинтовим роботом. А також це передбачає складну посадку, яка взагалі не схожа на зупинку повітряного робота з одним крилом чи кількома лопастями гвинта, це складний процес оскільки присутня непередбачуваність у певних кліматичних умовах [7].

Ці «гелікоптери» відомі у галузі геодезії та професіонального будівництва, де є потреба піднімати вантажі вагою до 40 кг. Так як однороторні повітряні роботи ефективні при підйомі та витрачають менше ресурсу батареї або палива під час польоту, то це надає їм зацікавленість від забудовників щодо прогресивності створення інфраструктури.

На рисунку 1.2 представлений однороторний повітряний робот PDH-GS120, який пролетів 5 км над морем в автоматичному режимі, сам політ був пов'язаний з врятуванням серфінгіста, тобто в найближчому майбутньому повітряні літальні апарати зможуть рятувати людей в рази швидше та надання медичної допомоги буде за лічені хвилини, оскільки умова заторів чи поганої дороги не буде проблемою [7].



Рисунок 1.2 – Вигляд повітряного робота PDH-GS120

Багатороторні повітряні роботи – це один з найголовніших, на даний момент, вид робота, що працює у повітрі, вони є просто у осіб, що люблять поманіврувати по своєму району до корпорацій комп'ютерно-іноваційних технологій [7], які є лідерами на світовому ринку, в свою чергу вони впроваджують штучний інтелект в цю невелику літальну техніку (рис. 1.3).



Рисунок 1.3 – Загальний вид мультироторного повітряного робота

Це багатороторний повітряний робот з вертикальним зльотом і посадкою, які потребують багато енергії, аби забезпечувати усі мотори з

лопастями для утримання в повітрі.

Основне сучасне використання таких повітряних роботів це зйомка різноманітних відео, ця сфера зайнята їми, тому що більшість з них мають невелику камеру для аерофотозйомки в повітрі з пакувальної коробки.

У порівнянні з іншими безпілотними літальними апаратами, які зазнали технологічного прогресу, багатороторні безпілотні літальні апарати є менш ефективними з точки зору споживання енергії, і тому здатні літати лише близько 30 хвилин із невеликим корисним навантаженням [7]. Потрохи з'являються версії, що можуть переносити великі вантажі, один з них буде розглянутий пізніше. Щодо потенціалу даних повітряних роботів – він гігантський, це не тільки розвиток в галузі важких перевезень, наприклад, якщо вони отримають штучний інтелект, то багато державних служб зможуть стежити за порядком дистанційно або повітряний робот буде використовувати алгоритм для запису правопорушників.

1.2 Аналіз особливостей джерел живлення повітряних роботів

Вид паливної системи одне з основних критеріїв, які розглядають майбутні власники. Майже у всіх повітряних роботів, не зважаючи від їхнього призначення чи розміру, виникає одна і та сама проблема: подолання обмеженої витривалості польоту [8].

На сьогоднішній день їх доволі велика кількість, якщо порівнювати з іншою галуззю роботизованої техніки, котрі з них мають автономність для постачання енергії у свою систему. Системи живлення в сучасних повітряних роботах:

- акумулятори (рис. 1.3, а);
- газові двигуни та газоелектричні гібриди (рис. 1.3, б);
- водневі паливні елементи (рис. 1.3, в);
- сонячні батареї та гібриди сонячних батарей (рис. 1.3, г);
- технологія бездротової зарядки (рис. 1.3, д).



а)



б)



в)



г)



д)

а) двигун внутрішнього згорання; б) гібридний двигун; в) водневий модуль IES; г) сонячні батареї; д) технологія бездротової зарядки.

Рисунок 1.3 – Приклад системи живлення в сучасних повітряних роботах

Акумулятори є найзвичнішим елементом живлення для сучасного користувача електроніки. Їх можна зустріти від маленьких пристроїв, по типу як смарт годинники, до масивних – електромобілі та літальні апарати.

Повітряні роботи з самого свого початку почали використовувати акумулятори задля своєї роботи [9].

1.3 Аналіз основних видів закріплення вантажа на повітряних роботах

Для розглядання та розробки конструкцій для перевезення вантажу треба дізнатись які взагалі існують види кріплень для транспортування. Оскільки попит на ефективні та швидкі послуги перевезень продовжує зростати, повітряні роботи стали тими, хто може втілити бажаний результат швидкості роботи транспортної компанії. Пропозиція гарної швидкості і доступності потрохи робить свою справу. Найбільшою популярністю задля виконання завдань у сфері логістики є промислові повітряні роботи [10]. При цьому існують різні розміри (рис. 1.4) та різні можливості щодо виконання операції вантажоперевезення.



Рисунок 1.4 – Промисловий повітряний робот малих розмірів

Характеристики даного літального апарата, які пов'язані з вантажоперевезенням, мають доволі середні показники: максимальний час польоту 40 хв, горизонтальна швидкість 80 км/год, максимальна вага додаткового вантажа, яка не буде обмежувати властивості, 1.2 кг. Повітряний робот має можливість додати контейнер для перевезення між шасі, тому цей

екземпляр можна використовувати задля комерції щодо перевезення малих речей [10].

Наступний повітряний робот (рис. 1.5) в разі габаритніше, він вже має в собі декілька модифікацій для транспортування, що дає перевагу в виборі апарата для вантажного перевезення.



Рисунок 1.5 – Повітряний робот для масивних вантажоперевезень

Якщо ви хочете оптимізувати своє виробництво чи значимо покращити ефективність транспортувань, то це ваш вибір, якщо обирати по можливостям та характеристикам, але фінансове питання може відокремити кількість бажаючих. Штатні модифікації, що можна приєднати до цього повітряного робота, це лебідка, яка може тримати товар 5-40 кг, в залежності від кількості акумуляторів, та вантажний кейс, що дозволяє вмістити в себе товару до 40 кг. При такій функціональності мається також і непогана, для його розміру, рухова властивість [11]. Характеристики, що стосується сфери перевезень:

- максимальна горизонтальна швидкість з вантажем 30 кг в ідеальних умовах дорівнює 72 км/г – для того, щоб надати дані у справжніх умовах потрібно проводити експериментальні дослідження, адже завжди існує опір повітря, тому, на свій розсуд, я думаю, що реальна швидкість це від -10% до -12% від швидкості в штучно створених умовах;

- найбільша дальність польоту з вантажем 30 кг, при умові використання обидвох акумуляторів, це 16 км – експериментальні дослідження проводились у ідеальних умовах для того, щоб дослідити розмір

точного можливого польоту, в реальних умовах це біля 14 км;

– найдовший час польоту, що можна досягти в безвітряну погоду, перевозячи 30 кг та живитись від двох батарей є 18 хвилин – авжеж, ідеальні кліматичні умови це рідкісне явище, а отже можемо прикинути, що реальний результат в повсякдення буде 12 – 15 хвилин.

Обидва роботи одного класу – промислові, але наскільки ж вони різні за своєю будовою та результативністю. Використання першого для вантажних перевезень може бути проривом у сфері доставлення дрібного товару завдяки невеликій ціні, порівняно з іншими товарами в цій галузі, отриманому якості функціоналу пристрою, маневреними здібностями. В свою чергу, використання другого повітряного робота задля покращення вантажних операцій може створити великий переворот у сфері логістики, тобто якщо, наприклад, транспортні компанії будуть володіти в своєму арсеналі повітряного робота, що може доставити 30 кг на відстань 14 км за 15 хвилин, при цьому не мати витрати на паливо, на спорядження, на працівників та бути впевненим, що гарантовано вантаж прийде на пункт завершення. Впровадження цієї технології в свою робочу галузь принесе велику кількість покращень та транспортного процесу [11].

Для повного використання потенціалу таких літальних апаратів вирішальним компонентом стали спеціальні вантажні пристосування. Ці пристосування не тільки розширюють асортимент предметів, що поставляються, але й вирішують конкретні проблеми, пов'язані з транспортуванням за допомогою промислових повітряних роботів. Спеціальне навісне обладнання для вантажу частіше передбачає ящик з кришкою, який прикріплений до корпусу повітряного робота. Контейнер для перевезення призначений для безпечної доставки цінних або конфіденційних речей, і він забезпечує захищеність транспортування для товару (рис. 1.6).



Рисунок 1.6 – Демонстрація навісного обладнання для повітряного апарата

Основні переваги цього виду пристосування це простота користування та безпека для вантажа всередині. Окрім кришки та механічного встановлення кейса більше функціоналу немає, тому такий варіант займає велику популярність серед додатків до повітряного робота [12].

Лебідки та тросові системи мають багато спільного з системою кейса, розглянутого вище, адже трос так само має легку для розуміння конструкцію, а лебідка це і є той самий трос, тільки з невеликим електромотором. Троси для повітряних апаратів, зазвичай, виготовляють з таких матеріалів:

- троси з синтетичних волокон – легкі та міцні канати з синтетичних волокон, таких як кевлар, що володіють відмінним співвідношенням міцності до ваги, що робить їх придатними для транспортування вантажів за допомогою повітряних роботів, їх перевага в тому, що це стійкі до стирання, ультрафіолетового випромінювання та хімічного впливу канати;

- сталеві троси – виняткова міцність і довговічність, але важче за синтетичні альтернативи, вони більш підходять для застосувань, що вимагають високої міцності на розрив або стійкості до екстремальних температур;

- гібридні кабелі – гібридні кабелі поєднують синтетичні волокна зі сталевую серединою, забезпечуючи баланс міцності, ваги і гнучкості, це

дозволяє отримати універсальний кабель, який поєднує всі властивості [13].

Електролебідки використовують такі ж самі кабелі, але ще і можна налаштовувати міцність і довжину троса в моменті перевезення (рис. 1.7).



Рисунок 1.7 – Приклад електролебідки, яка є додатком до повітряного робота

Електричні лебідки є розширеним пристроєм, якщо справа стосується перевезення вантажу промисловим повітряним роботом через те, що вони прості в конструкції, не мають складного керування та низькі вимоги до обслуговування. Живлення відбувається від бортової батареї повітряного робота або спеціалізованого джерела живлення, що робить їх придатними для різних платформ. Електричні лебідки забезпечують точний контроль над довжиною та натягом троса, що забезпечує плавний та керований підйом вантажу [13].

Маніпулятор дають новий підхід до транспортування, забезпечуючи як переваги, так і проблеми порівняно з вже відомими видами компонентів для вантажа. Такі літальні апарати можуть бути оснащені невеликими роботами або захватами, що дозволяє їм точно забирати та переносити. Цей вид може бути дуже різноманітними за своєю будовою, але переважно основні структури це роботизовані руки та захвати [14]. Роботизовані руки це доволі

розповсюджений механізм, але в іншій галузі техніки, шарнірні механізми, що встановлені на повітряних роботах, їх функціонал захоплювати об'єкти та рухати ними, забезпечуючи точне розміщення та обробку вантажу. У свою чергу, захвати мають більш просту будову, так як їх задача це надійно утримувати та відпускати корисні навантаження, коли цього попросить система, пропонуючи легше та енергоефективніше рішення порівняно з роботизованим механізмом (рис. 1.8).



Рисунок 1.8 – Демонстрація конструкція з маніпулятивною структурою

В загальному, головний плюс такого виду конструкції для закріплення один – це тонкість керування вантажем для пілота, яка здійснюється шляхом додавання віджета керування маніпулятором на екран дистанційного пульта від повітряного робота або мається окремий пристрій саме від роботизованих рук [15]. А якщо розглядати недоліки, то їх побільше:

- вага приладу – таке обладнання в будь-якому випадку буде мати велику, відносно маси літального вантажного робота, вагу, адже воно повинно мати ресурсну міцну будову деталей для виконання їх задачі;

- вплив на ємність акумулятора – це доволі великий пристрій, що потребує постійне з'єднання, тому така конструкція буде або мати частку від батареї повітряного робота, або мати свій елемент живлення, що знов таки

додає вагу.

Перші два види конструкції для закріплення вантажа, на сьогодні, більш поширені у повітряних роботах. А для того, щоб запровадити повністю маніпуляторну структуру тримачів, треба здійснити новий виток у галузі виробництва повітряних роботів, аби запобігти тих недоліків, які є зараз.

Коли літальні апарати будуть мати більш покращену базу елементів в своїй будові, то тоді і можна дослідити впровадження роботизованих рук на постійній основі, затьмаривши цим системи з тросами та навісні коробки [15].

2 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ПОВІТРЯНОГО РОБОТА

2.1 Вибір та обґрунтування середовища розробки

Для того, щоб почати працювати з розробкою, треба взагалі дізнатись про таке поняття, як САПР [16].

САПР (система автоматизованого проектування) – це ПЗ, яке використовується для автоматизації різних ступенів процесу проектування у багатьох галузях, таких як автомобілебудування, інженерна діяльність, архітектура, авіабудування і тп. САПР дає змогу дизайнерам та конструкторам засоби для створення, моделювання, аналізу та оптимізації різних систем, компонентів і конструкцій [16].

Система автоматизованого проектування включає в себе процеси для виконання різноманітних задач, тому і існують такі види САПР [17]:

- CAD (Computer Aided Design – проектування за допомогою комп'ютера) – існуються модулі моделювання тривимірної об'ємної конструкції (деталі) і оформлення креслень і текстової конструкторської документації;

- CAE (Computer Aided Engineering – автоматизована система інжинірингу) – великий клас систем, які дозволяють вирішувати певну розрахункову групу задач, починаючи від розрахунків на міцність, аналізу та моделювання теплових процесів, гнучкість тощо. У CAE-системах зазвичай використовується тривимірна модель виробу, створена в CAD-системі;

- CAM (Computer Aided Manufacturing – комп'ютерна підтримка виготовлення) – проектування обробки виробів на верстатах з числовим програмним управлінням (ЧПУ) та видачі програм для багатьох верстатів (фрезерних, свердлильних, токарних і тд.).

Кожні з цих підвидів САПР служать для того, щоб оптимізувати процес розробки та проектування. Наприклад, CAE має дуже велику користь в

етапах виробництва, адже завдяки цьому можна провести дослідження виробу, не використовуючи фізичні експериментальні випробування. Тому це забезпечує об'єднання технологічних процесів.

Аби почати конструювати виріб користувачу потрібно вирішити в якому програмному забезпеченні він це буде робити, адже для точної реалізації задумки потрібно мати комфорт на робочому місці, щоб нічого вас не обмежувало. Критерії, насамперед, на які потрібно звертати увагу при виборі програми це швидкість обробки заданих операцій, чи якісні елементи мають в системі, різноманітність доступних функцій. На теперішній час існує значна кількість програмних систем для автоматизованого проектування, які мають різну спеціалізацію та прикладну спрямованість.

Найпопулярнішими САПР-програмами, на даний момент, є SolidWorks, AutoCAD, Fusion 360 [17].

Програмне забезпечення для проектування AutoCAD, розробниками якої є компанія Autodesk, широко відоме програмне забезпечення для автоматизованого проектування, яке вже багато років займає почесне місце у галузі. Завдяки широкому набору функцій і потужним можливостям AutoCAD є кращим вибором для професіоналів у різних сферах праці архітектури та інженерії [17].

2.2 Моделювання існуючої конструкції повітряного робота

Для того, щоб почати розроблювати конструкцію для цивільного роботу перша задача це дослідити штатну конфігурацію повітряного робота, аби інтегрувати в неї свою задумку. Треба визначитись якою буде основна фігура, що буде використовуватись для перевезень, тобто яка модель повітряного апарата буде братись для розроблення [17].

Аби зробити якийсь зачіп на майбутнє, тоді і працювати треба з сучасними технологічними повітряними роботами, які займають місце в класі промислових. Потрібен технологічний літальний апарат, що має гарну

вантажопідйомність, інноваційний функціонал щодо польоту та виготовлений з ресурсних матеріалів. До того ж він має доволі багато додаткових пристроїв для більш широкого використання [17].

Програмне середовище, яке я обрав для моделювання повітряного робота – це Fusion360, на мій погляд, це універсальна CAD-програма, що трошки обігнала своїх конкурентів, завдяки різноманітності можливостей та великою кількістю функцій. Великою перевагою є те, що можна зберегти файл у потрібному вам форматі і він без проблем визначиться у іншій CAD-програмі, при цьому без усіляких помилок [17].

Поступово буде йти процес моделювання та розглядання кожного основного елемента у повітряному роботі, який є певним критерієм у виборі апарата для використання з метою перевезення вантажів (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 – Модель елемента шасі у розглянутому повітряному роботі

Елементом на який приземлюється повітряний робот є конструкція, що складається з з'єднання з карбону, пластику та гумових наконечників. Конструкція міцна, з'єднується вона шляхом примикання до головного корпусу робота, та мають велику вагу – трохи біля 540 грам на дві ноги. Ще мінус таких «ног» це те, що вони статичні, що дає умову для пілота – сідати тільки на рівну поверхню, аби уникнути перевертання літального апарата та робить його недоступним для замиської місцевості.

Варіант, який я вважаю виправить цей недолік це амортизоване шасі. Воно буде тонкіше, але самих стоек буде більше, ніж дві. Таким чином, кожен амортизований елемент буде відпрацьовувати навантаження, та пілот буде мати можливість сісти туди, де немає рівної поверхні. Навіть таке доопрацювання вже робить повітряного робота універсальніше для сьогоденних завдань.

Наступна деталь, на яку звертають увагу у виборі будь-якого безпроводного пристрою це джерело живлення, в цьому випадку тут технологічні акумулятори (рис. 2.2).



Рисунок 2.2 – Розроблена модель зовнішнього акумулятора для повітряного робота

Повітряний робот має з'ємний акумулятор, який має потужність 37,5 Вт, такої ємності вистачає для того, щоб здійснювати політ до 2.5 годин.

Без зовнішніх акумуляторів повітряний робот теж може працювати, до 40 хвилин часу, але для забезпечення довгого польоту використовують ще й зовнішній спосіб живлення. Також існують станції, які забезпечують можливість мати додаткові батареї, які можна за лічені секунди замінити та продовжувати роботу повітряного робота.

Щодо покращення цієї системи, на даний момент часу, нових впроваджень, що дадуть колосальний результат я не бачу. Це станеться тоді, коли більшість повітряних роботів прийдуть до того, що будуть мати інший вид акумуляторів чи взагалі іншу систему живлення.

Частина, що займає головну роль у повітряному роботі це його системний блок. В цьому повітряному роботі знаходиться безліч датчиків та блоків управління саме в корпусі літального апарата (рис. 2.3). Кожен прозорий елемент це вихід для того, щоб датчик або камера мали змогу ловити та відслідковувати сигнали, передаючи їх пілоту на пульт керування.

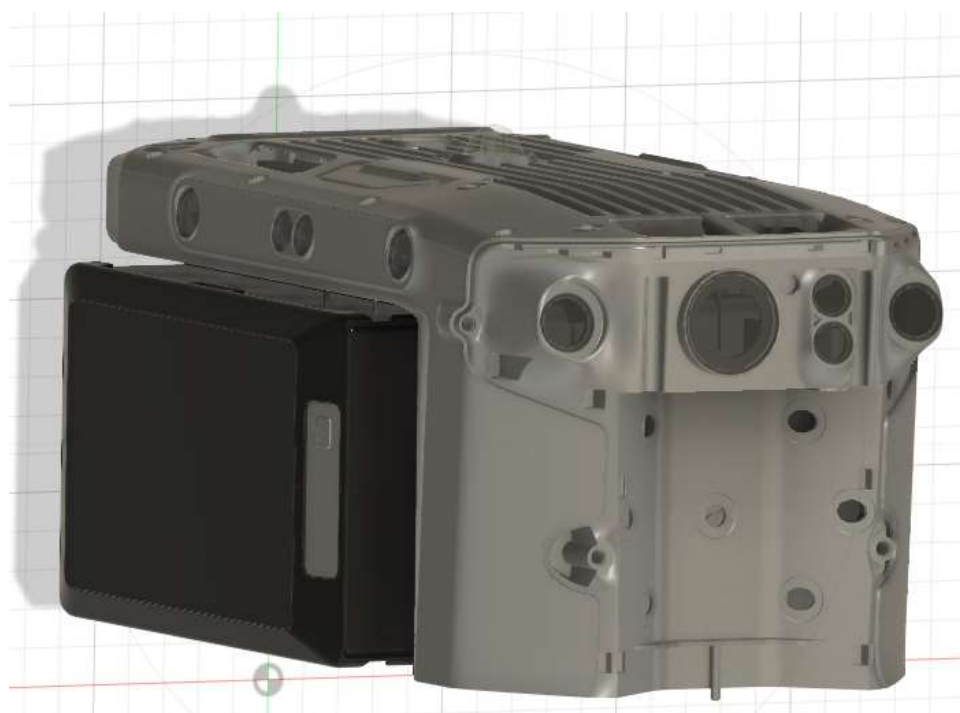


Рисунок 2.3 – Модель корпусу повітряного робота

Основний системний блок ззовні виготовлений з алюмінієво-магнієвого сплаву, всередині більша частина це міцний пластик, таке поєднання дає міцність при невеликій вазі, всередині все скомпоновано так,

щоб мати всі можливі алгоритми та системи, але при цьому не займати багато місця. Така герметичність та надійність корпусу робиться для того, аби всі системи працювали справно та, при діагностиці перед зльотом, не було помилок в процесах.

В цьому літальному апараті інженери інтегрували систему зондування на 360 градусів, оновлені системи огляду, інтелектуальний спосіб збору даних під час польоту, шифрований алгоритм передачі даних. Він має багатий софт для будь-якого користувача [17].

Для того, щоб вдосконаливати софт, треба аби були якісь недостачі, пов'язані з роботою повітряного апарата. На сьогоднішній час, він має навіть забагато функціоналу для будь-якого користувача. Періодичні оновлення, регулярне поповнення бібліотеки додатків робить повітряного робота постійно прогресуючим. А отже, основні доробки це саме фізичні запровадження в будову, а поки їх не так багато, бо немає на це попиту.

Ті самі елементи, які просять постійного вдосконалення та можуть зробити цей повітряний апарат більш переможним серед аналогів – це мотори та крила (рис. 2.4).

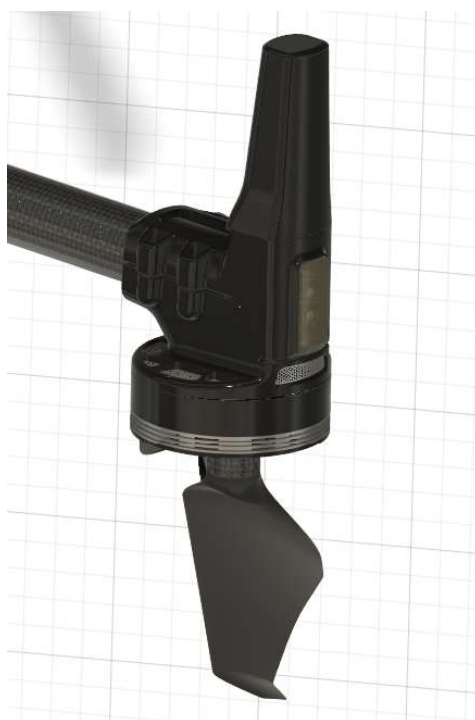


Рисунок 2.4 – Модель передніх двох крил повітряного робота

Так виглядають тільки два з чотирьох крил у повітряному роботі, верхня частина крила це передавальна антена, яка забезпечує стабільний зв'язок між контролером та внутрішніми системами. Завдяки своїй конструкції з магнієвого сплаву та пластикового кожуху, крило може витримувати політ у складних умовах, по типу, вітру до 50 км/г або дощу. Прозорий елемент, на зовнішній частині крила це світлодіоди ESC, це система, яка інтерпретує команди пілота, що подаються з контролера і таким способом збільшує або зменшує напругу, яка подається на кожен окремий двигун. Нижню частину крила займає саме мотор та пропелер, що і відтворює усі рухи повітряного робота, в цих двох передніх крилах оберти йдуть за годинниковою стрілкою, в той час як задні крутяться в зворотному напрямку, а також вони мають іншу конструкцію, адже їх функціонал відмінний від передніх крил.

Задні два крила також мають елементи електронного контролера швидкості та мотори з пропелерами, але компонент, який саме і робить цього повітряного робота інноваційним літальним пристроєм це є антени RTK модуля (рис 2.5). Модуль RTK це нова система супутникового позиціонування, яка в режимі реального часу відслідковує позицію з точністю до пари сантиметрів, незалежно від умов. Система дозволяє записати маршрут та зберегти його, та потім, при потребі, запустити його та літальний апарат буде в точності слідувати йому. Така технологія може бути гарно розвинена в сфері використання робота з метою комерції. Якщо це будуть перевезення товарів на адреси або за пройденими маршрутами, то пілоту потрібно буде тільки обрати точку та не керувати самому. Можливість проаналізувати та записати місцевість є великим плюсом, адже, наприклад, ви можете облітати територію, яку обробить повітряний робот та потім створити траєкторії маршрутів, це дозволить зробити базу адресатів, куди ви можете доставляти вантажі.



Рисунок 2.5 – Вигляд заднього крила з антеною RTK

Загальний вид крила можна побачити на рисунках 2.4 та 2.5, але також розглянемо їх спільні компоненти, а тобто пропелер та мотор.

Пропелер складається з двох матеріалів – це нейлон та армоване вуглецеве волокно (рис. 2.6). Через те, що частка карбону займає тут 38% це забезпечує велику надійність елемента навіть при великому навантаженні. При вазі, що вища за нормою більше отримує двигун, аніж пропелери, вони були протестовані та навіть при нарузці біля 10 кг вони, порівняно з більшістю лопастей, спокійно це витримують. Також конструкція та будова вигину пропелера робить його обертання майже безшумними, нібито розрізаючи повітря при обертанні. Спосіб кріплення звичний усім, використовуючи маленькі гвинти, тому якщо одна з частин відломиться можна її замінити.

Якщо розглянути їх варіативність модифікації, то це покращення матеріалів, наприклад, як повністю виготовити з вуглецю або іншого аеробного компоненту. Прогресивний крок це буде вторгнення електроніки для позиціонування пропелера: рухома конструкція дозволить у різних етапах польоту змінювати напрям пропелера, що надасть ефективніше керування та маневреність навіть важких повітряних роботів.

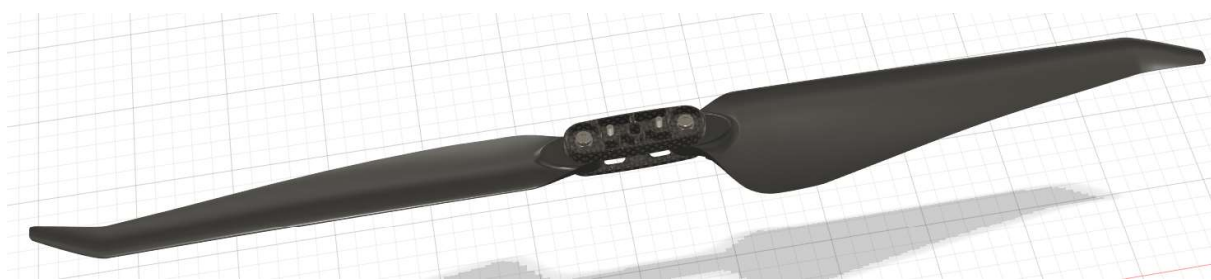


Рисунок 2.6 – Створена модель пропелера

Мотор в цьому літальному апараті зазнав деяких вдосконалень, порівняно з іншими двигунами в схожих промислових літальних апаратах, вони мають фіксований корпус задля кращої надійності та зберігання, а також поєднання з новим електронним регулятором швидкості (рис. 2.7). Двигуни в них безщіткові, тобто постійний магніт встановлений на роторі, що в центрі, а електромагніт – ззовні, на статорі. Ротор ретельно виготовлений з високо магнітного матеріалу неодим-залізо-бор, а статор посилений і захищений міцною епоксидною смолою для стійкості до високих температур.

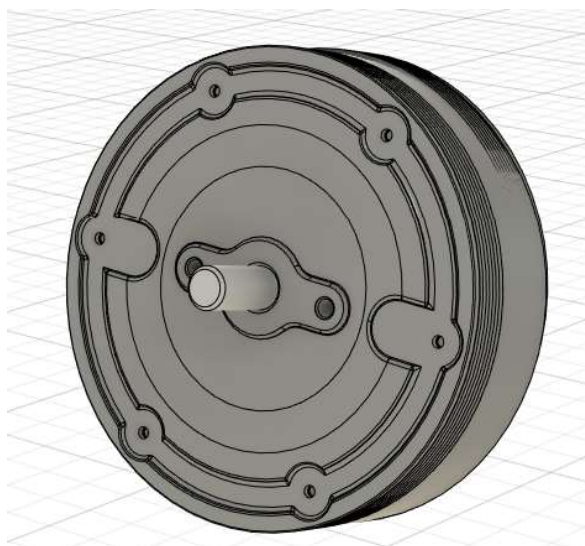


Рисунок 2.7 – Змодельований мотор повітряного робота

Така будова дає велику ресурсність та потужність без затримок та забезпечує безпеку навіть у критичних погодних умовах. Про термін служби відповідає системна діагностика мотора, яка в разі відказу двигуна під час

польоту активує режим аварійної посадки, що регулює тягу трьох двигунів, що залишилися та здійснює посадку.

Явним покращенням для цього літального робота є зміна двигунів, але оглядаючи штатні властивості, встановлювати це можна тільки для покращення його вантажопідйомності, і з цього випливає момент, що для цього треба повністю переробляти будову апарата.

Отже, розробивши всі основні елементи цивільного повітряного робота, можемо скласти повну модель (рис. 2.8). Він має доволі середній розмір, порівнюючи свої аналоги промислових повітряних апаратів. Конструкція робота дозволяє розробити платформи для різноманітного використання, по структурі є місця в які можна підключити існуючі додатки або розробити свої.

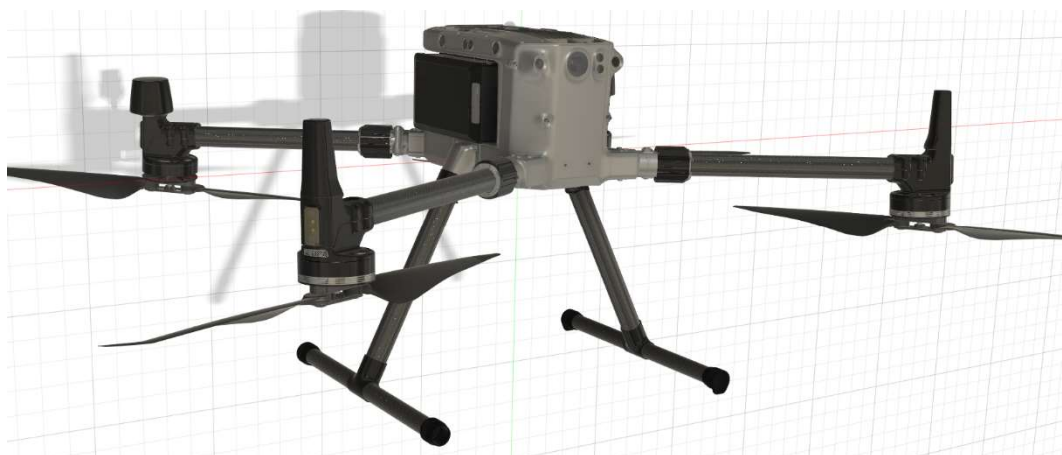


Рисунок 2.8 – Модель цивільного повітряного робота

Щодо подальшої його актуальності у сучасному світі це залежить тільки від мислення людини, адже навіть сьогодні ним користуються картографи та геодезисти, використовуючи модифікацію з підвісом та камерою з Lidar-ом. Одне з надзвичайних рішень застосування цього повітряного робота винайшли Збройні Сили України – вони зробили платформу, яка може перевозити на собі 82-мм мінометні міни. А якщо розглядати цей апарат з метою комерції, то він гарно вписується в процес доставки, пошти тощо, тільки потрібні інженери, що зроблять потрібні для

цього платформи.

2.3 Симуляція існуючої конструкції повітряного робота

Середовище SolidWorks Simulation [16] це один з атрибутів програми SolidWorks, що дозволяє дізнатись поведінку виробу шляхом віртуального тестування. Пакет надає можливості лінійного, нелінійного статичного та динамічного аналізу. Застосовуючи її інженери та дизайнери можуть оптимізувати свої проекти, знизити витрати на створення фізичних прототипів і швидше вивести свою продукцію на ринок, забезпечуючи при цьому структурну цілісність і продуктивність.

SolidWorks Simulation [18] це обчислювальний підхід, який використовує математичні моделі для складної поведінки твердих тіл, коли вони взаємодіють з іншими об'єктами або піддаються впливу зовнішніх сил. Ці моделі ретельно враховують безліч фізичних явищ, що охоплюють механіку, деформацію, поширення руйнування, сили тертя, механізми теплопередачі та багато інших аспектів. В основі Solid Simulation лежать складні комп'ютерні програми, які використовують ці математичні моделі для розрахунку руху і складних взаємодій твердих тіл при заданих параметрах і граничних умовах [19].

В середовищі буде протестована конструкція повітряного робота, аби зрозуміти його слабкі місця та дослідити балансування відношення ваги компонентів при навантаженні знизу. Модель для тестування це буде найлегша варіація літального апарата, а тобто без зовнішніх акумуляторів, суто внутрішнє джерело енергії, задля кращого розуміння. Основні моменти на які треба буде звернути увагу це розважування основного корпусу при вантажі знизу та міцність крил до корпусу. Якщо дійсно будуть проблеми в місцях кріплення крил до корпусу, то є потреба дослідити їх конструкцію.

Першим буде протестована конструкція за стресом Вона Мізеса, це спосіб виміряти, наскільки сильно навантажений матеріал, і визначити, чи не

почне він деформуватися або ламатися під навантаженням. Так як в подальшому будуть створюватись конструкції для перевезення вантажів, тоді і треба дізнатись в яких місцях є крихкі місця, адже платформа для вантажу передбачає під собою роботу з різними по масі речами. Такий тест дозволить зрозуміти яким стикам між деталями треба приділити більше уваги під час розробки та використання [19].

На рисунку 2.9 аналізується навантаженість в місцях кріплення трубкового елемента крила до корпусу. Авжеж, інженери спробували зробити округлі грані для цього з'єднання, але, на мою думку, якби воно повністю з'єднувалось, окрім бокової сторони літального апарата, ще і з його нижньою частиною, то цього можна було б уникнути. Таким способом, ми отримаємо більшу площу упору і це навантаження буде рівномірно розповсюджуватись.

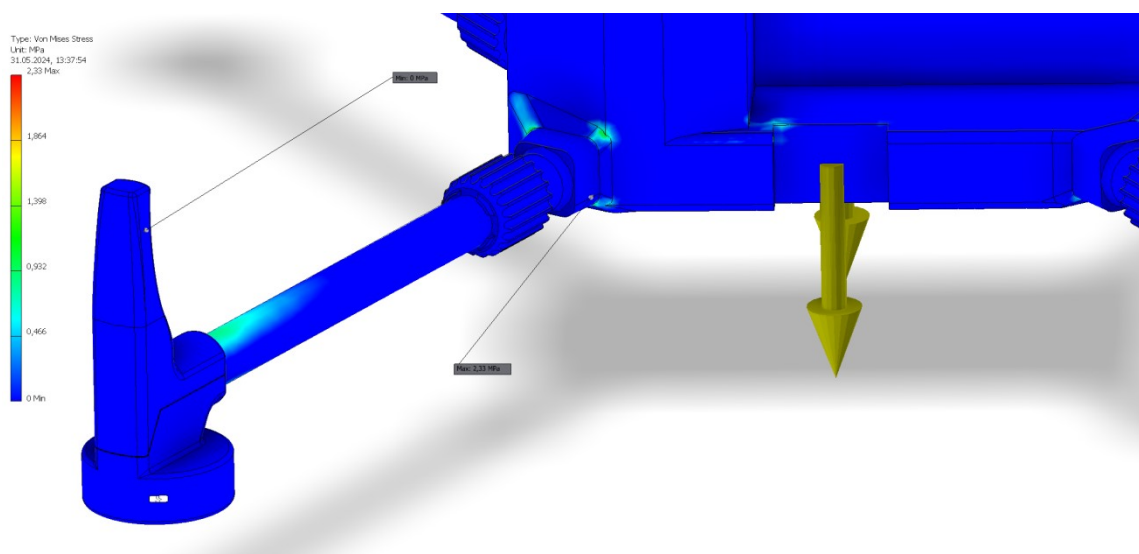


Рисунок 2.9 – Демонстрація навантаження в області з'єднань крил до корпусу за стресом Вона Майзеса в SolidWorks Simulation

Помічено також навантаження на дальню частину труби при з'єднанні з фіксатором антени та рухомої частини (рис. 2.10). Я вважаю, що це не дуже критично, оскільки навіть при статичній позиції повітряного апарата в

повітрі трубковий елемент буде трохи просідати, адже мотор з гвинтом будуть підійматись вгору, а корпус, завдяки силі тяжіння, прагнути до низу. Не будемо забувати, що цей елемент складається з композитного матеріалу – вуглецю, тому таке невелике прогинання особливо нічого не змінює в надійності карбонового елемента [19].

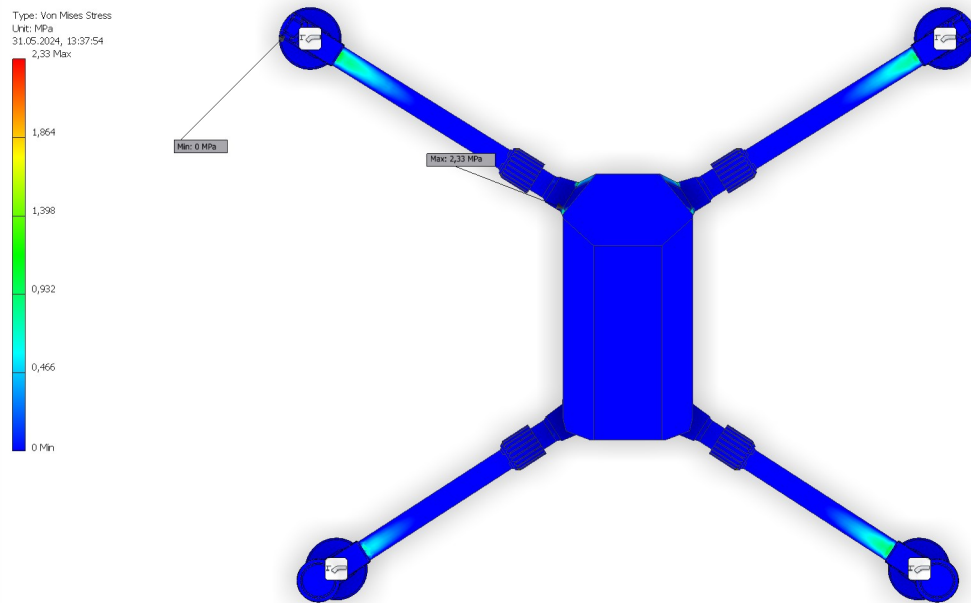


Рисунок 2.10 – Демонстрація загального навантаження на всі трубкові елементи біля фіксатора за стресом Вона Майзеса

Можемо бачити, що більш-менш навантаження на усі частини однакові, а отже ці деталі мають міцний матеріал та відмінне балансування. Тобто при великому вантажі під повітряним апаратом, навантаження буде рівномірно розподілено між трубами в крилах [20].

Наступний етап – це тест щодо зміщення при навантаженні знизу повітряного робота. Цим тестом дослідимо яка частина літального пристрою буде найбільш навантажена в разі прикріпленого вантажа до нижньої частини. Це дозволить нам зрозуміти як відцентрована вага, що надасть дані для втручання у зовнішні елементи [20]. Наскільки рівномірно збалансована вага компонентів всередині головного корпусу, аби розробляти конструкцію,

відштовхуючись від того, що чи є критичним навантаження спереду чи позаду основного системного блока літального апарата.

На рисунку 2.11 можемо бачити, що найбільш напружена ділянка, яка помічена червоним кольором, це передня частина основного корпусу. Сині ділянки це деталі, що отримують деформацію, але зовсім не значну. Це пов'язано з тим, що в цьому місті розташована головна система, а тобто процесори, плати, лінзи, датчики та посилені елементи, і її маса є важчою. Так як в задня частина розрахована для кріплення зовнішніх акумуляторів, то само собою вона є легшою.

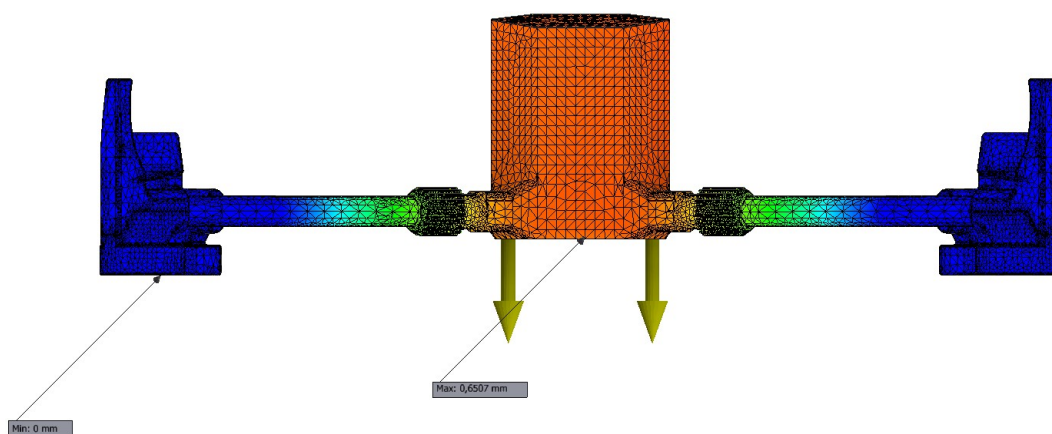


Рисунок 2.11 – Результат симуляції переміщення при навантаженні

Бачимо, що навантаження по центру до низу робить критично ураженою передню частину, в той час як задня, відносно передньої, сильного урону не отримує.

Також на рисунках 2.11 та 2.12 помітні помірні навантаження на трубкові елементи кріплення крил до корпусу, що помічені блакитно-зеленим кольором, але вони складаються з вуглецевого матеріалу та пластику, а отже до цього навантаження вони більш поблажливі, ніж корпус повітряного робота.

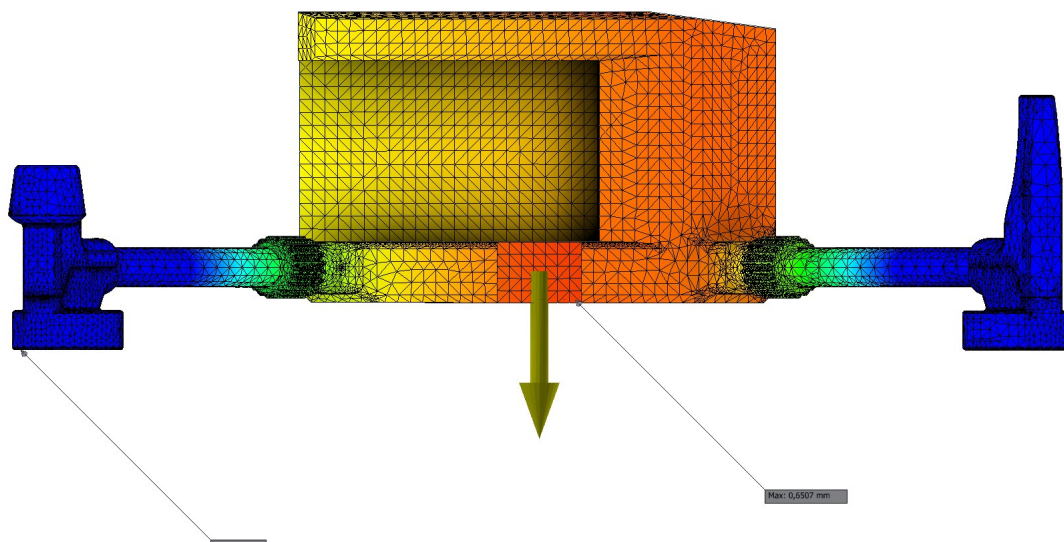


Рисунок 2.12 – Демонстрація симуляції переміщення на повітряний робот, вид збоку

Дивлячись на рисунок 2.13 можна бачити, що навіть при величезному центровому тягарі знизу, по криловим елементам навантаження рівномірно розподіляється. Не має напруги на якесь одне крило, що піддається критичній ламкості.

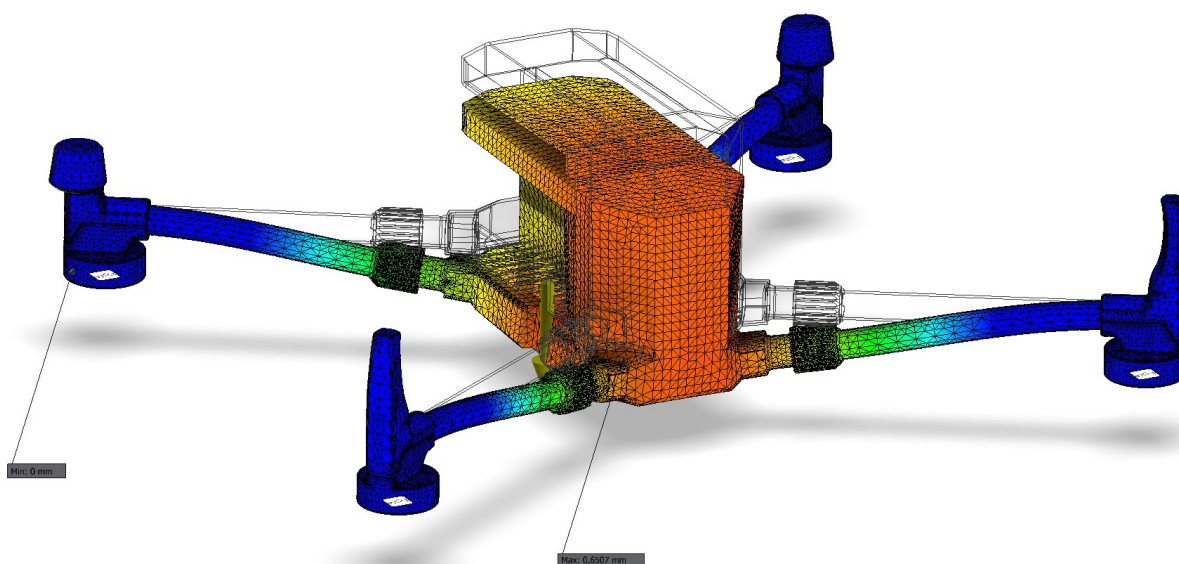


Рисунок 2.13 – Демонстрація симуляції переміщення, в разі штучного збільшення навантаження

При такій умові літальний апарат зможе злетіти з, перевищеною за норми, вагою, але час його польоту буде недовгий, він буде балансовано послаблювати свою потужність та знижувати висоту. Також, завдяки датчикам діагностики, буде отримано попередження про стан та зовелику вагу для вильоту.

Щодо поведінки навантаженого робота, маючи батарею, то таке зміщення буде більш рівномірним, тобто передня та задня частина буде мати збалансована навантаження, через те, що позаду є батареї і вони є дуже впливовим фактором. За тестами, маса нижнього тягаря, з яким може летіти апарат, використовуючи дві батареї, це біля 5 кг, але час польоту дуже малий та це дається дуже важко.

2.4 Дослідження мотора за критерієм стійкості

Дослідження мотора повітряного робота за критерієм стійкості дозволяє оцінити, наскільки стабільною буде його робота в різних ситуаціях. Стійкість мотора є критичним фактором, що відповідає за безпеку та ефективність польоту [21].

Нестійка робота моторів може призвести до непередбачуваних ситуацій, таких як втрати контролю над дроном, аварійних випадків та збоїв в системі. Ці дослідження проводяться аби покращити конструкцію моторів, оптимізувати алгоритми систем управління, та забезпечити стабільність роботи повітряних роботів у різних умовах [21].

Дані мотора, що використовується в повітряному роботі наступні (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Характеристики двигуна

Модель мотору	Пропелер	Напруга, В	Сила струму, А	Швидкість, RPM	Тяга, г	Потужність, Вт
Tarot 6009	Tarot 2110	53.5	0.12	669	70	6.6
			0.42	1281	340	23.1
			1.12	1855	800	60
			2.49	2510	1500	130
			3.84	2916	2050	204
			6.5	3478	2850	350
			9.4	3905	3650	501
			12.6	4305	4400	668

Для того, щоб нам розрахувати критерій стійкості мотору треба дізнатись такі значення [21]:

- опір обмотки ($R = 2$) Ом;
- константа крутного моменту ($k_t = 0.01$) Н·м/А;
- константа проти-ЕРС ($k_b = 0.01$) В·с/рад;
- момент інерції ротора ($J = 0.01$) кг·м²;
- коефіцієнт в'язкого тертя ($b = 0.1$) Н·м·с/рад;

Перший параметр, що будемо шукати це опір обмотки. Розраховуємо його для кожного значення струму:

$$R1 = \frac{53,5}{0,12} = 445,83 \text{ (Ом);}$$

$$R2 = \frac{53,5}{0,42} = 127,38 \text{ (Ом);}$$

$$R3 = \frac{53,5}{1,12} = 47,77 \text{ (Ом);}$$

$$R4 = \frac{53,5}{2,49} = 21,49 \text{ (Ом);}$$

$$R5 = \frac{53,5}{3,84} = 13,93 \text{ (Ом);}$$

$$R6 = \frac{53,5}{6,5} = 8,23 \text{ (Ом);}$$

$$R7 = \frac{53,5}{9,4} = 5,69 \text{ (Ом);}$$

$$R8 = \frac{53,5}{12,6} = 4,25 \text{ (Ом).}$$

Для отримання єдиного значення опору, яке можна використати в передавальній функції, обчислимо середнє арифметичне значення цих опорів:

$$(445,83+127,38+47,77+21,49+13,93+8,23+5,69+4,25)/8 = 84,32 \text{ (Ом)}.$$

Далі параметр, що треба розрахувати це константа крутного моменту, що розраховується за формулою:

$$K_t = T/I,$$

де T – це крутний момент (Nm);

I – сила струму (A).

Так як нам відома тяга двигуна на різній швидкості обертів та радіус пропелера, що використовується, то для пошуку крутного моменту можемо зробити розрахунок за такою формулою:

$$T = F \times r,$$

де F – тяга (N);

r – радіус пропелера (м).

Отже, спочатку переведемо всі дані тяги в грамах – в ньютони.

Таблиця 2.2 – Тяга двигуна в ньютоних

Відома тяга в грамах (г)	Переведена тяга в ньютоних (N)
70	0.687
340	3.334
800	7.85
1500	14.71
2050	20.1
2850	27.9
3650	35.8
4400	43.1

Радіус пропелера в нашому випадку потрібно визначити на основі діаметра. Пропелер має діаметр 21 дюйм, отже знайдемо радіус:

Знайдемо крутний момент за вже відомою формулою:

$$r = \frac{21}{2} \times 0.0254 = 0.2667(\text{м}).$$

Таблиця 2.3 – Розрахований крутний момент

Тяга в ньютонах (N)	Крутний момент (Nm)
0.687	0.183
3.334	0.889
7.85	2.09
14.71	3.92
20.1	5.36
27.9	7.44
35.8	9.55
43.1	11.5

Тепер підставляємо значення крутного моменту та силу струму для знаходження константи крутного моменту:

$$K_{t1} = 0.183/0.12 = 1.53 \text{ (Нм/А)};$$

$$K_{t2} = 0.889/0.42 = 2.11 \text{ (Нм/А)};$$

$$K_{t3} = 2.09/1.12 = 1.87 \text{ (Нм/А)};$$

$$K_{t4} = 3.92/2.49 = 1.57 \text{ (Нм/А)};$$

$$K_{t1} = 5.36/3.84 = 1.4 \text{ (Нм/А)};$$

$$K_{t1} = 7.44/6.5 = 1.14 \text{ (Нм/А)};$$

$$K_{t1} = 9.55/9.4 = 1.02 \text{ (Нм/А)};$$

$$K_{t1} = 11.5/12.6 = 0.9 \text{ (Нм/А)}.$$

Знайдемо середнє значення:

$$(1.53+2.11+1.87+1.57+1.4+1.14+1.02+0.9)/8 = 1.45 \text{ (Нм/А)}$$

Наступним для розрахунку йде константа проти електрорушійної сили (ЕРС). Розраховується вона наступним чином:

$$Kb = V/\omega,$$

де V – напруга (В);

ω – кутова швидкість (рад/с).

Кутова швидкість (ω) можна визначити з частоти обертання, яка існує в обертах на хвилину (RPM), за формулою:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}$$

Підставивши наші значення ми дізнаємось кутову швидкість для кожної частоти обертання.

$$\omega_1 = \frac{2\pi \times 669}{60} = 70.06$$

$$\omega_2 = \frac{2\pi \times 1281}{60} = 134.2$$

$$\omega_3 = \frac{2\pi \times 1855}{60} = 194.3$$

$$\omega_4 = \frac{2\pi \times 2510}{60} = 262.8$$

$$\omega_5 = \frac{2\pi \times 2916}{60} = 305.4$$

$$\omega_6 = \frac{2\pi \times 3478}{60} = 364.2$$

$$\omega_7 = \frac{2\pi \times 3905}{60} = 408.9$$

$$\omega_8 = \frac{2\pi \times 4305}{60} = 450.8$$

Тепер ми кожне значення підставляємо в формулу для знаходження константи проти ЕРС:

$$Kb1 = \frac{53.5}{70.06} = 0.76;$$

$$Kb2 = \frac{53.5}{134.2} = 0.4;$$

$$Kb3 = \frac{53.5}{194.3} = 0.28;$$

$$Kb4 = \frac{53.5}{262.8} = 0.2;$$

$$Kb5 = \frac{53.5}{305.4} = 0.18;$$

$$Kb6 = \frac{53.5}{364.2} = 0.15;$$

$$Kb7 = \frac{53.5}{408.9} = 0.13;$$

$$Kb8 = \frac{53.5}{450.8} = 0.12.$$

Середня константа проти ЕРС:

$$(0.76+0.4+0.28+0.2+0.18+0.15+0.13+0.12)/8 = 0.28 \text{ (В*с/рад)}.$$

Тепер можемо розрахувати момент інерції. Для цього потрібні відомі значення, як маса (кг) та радіус (м). Відомо, що маса мотору 185 грам, переводимо в кілограми – 0.185 кг.

Радіус мотора, що вказаний виробником це 33.25 мм, що в метрах є 0.03325 м.

Тепер підставимо числа в формулу і дізнаємось момент інерції:

$$J = \frac{mr^2}{2} = \frac{0.185 \times 0.03325^2}{2} = 0.000102265 = 1.02265 \times 10^{-4} \text{ (кг} \cdot \text{м}^2)$$

Знаючи момент інерції, легко можна порахувати коефіцієнт в'язкого тертя за формулою:

$$B = \frac{J}{10},$$

де J – якраз наш момент інерції.

Підставляємо наше число і отримуємо коефіцієнт в'язкого тертя:

$$B = \frac{0.000102265}{10} = 0.0000102265 = 1,02265 \times 10^{-5} (\text{Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}/\text{рад})$$

Тепер ми можемо підставити ці значення у таку передавальну функцію:

$$G(s) = \frac{Kt}{s(Js + b) + (R + Kbs)}$$

Отримана передавальна функція з нашими розрахованими числами:

$$G(s) = \frac{1.45}{s(0.000102265s + 0.0000102265) + (84,32 + 0.28s)}$$

Спрощений вираз буде мати такий вигляд:

$$G(s) = \frac{1.45}{0.0000284154s^3 + 0.00867856954s^2 + 0.0008697088s}$$

Тепер перевіримо його за критерієм Найквіста, використовуючи для цього MathLab.

Для розрахунку будемо використовувати команду, що виглядає наступним чином:

```
syms s
eq=1.45/((0,0000284154*s^3)+(0.00867856954*s^2)+0.0008697088*s)
res = solve(eq,s)
```

З результату ми отримали нуль правих коренів, вона не охоплює точку $(-1; j0)$, тобто система є стабільною.

Графік, щодо цього критерію стійкості, представлено на рис. 2.14.

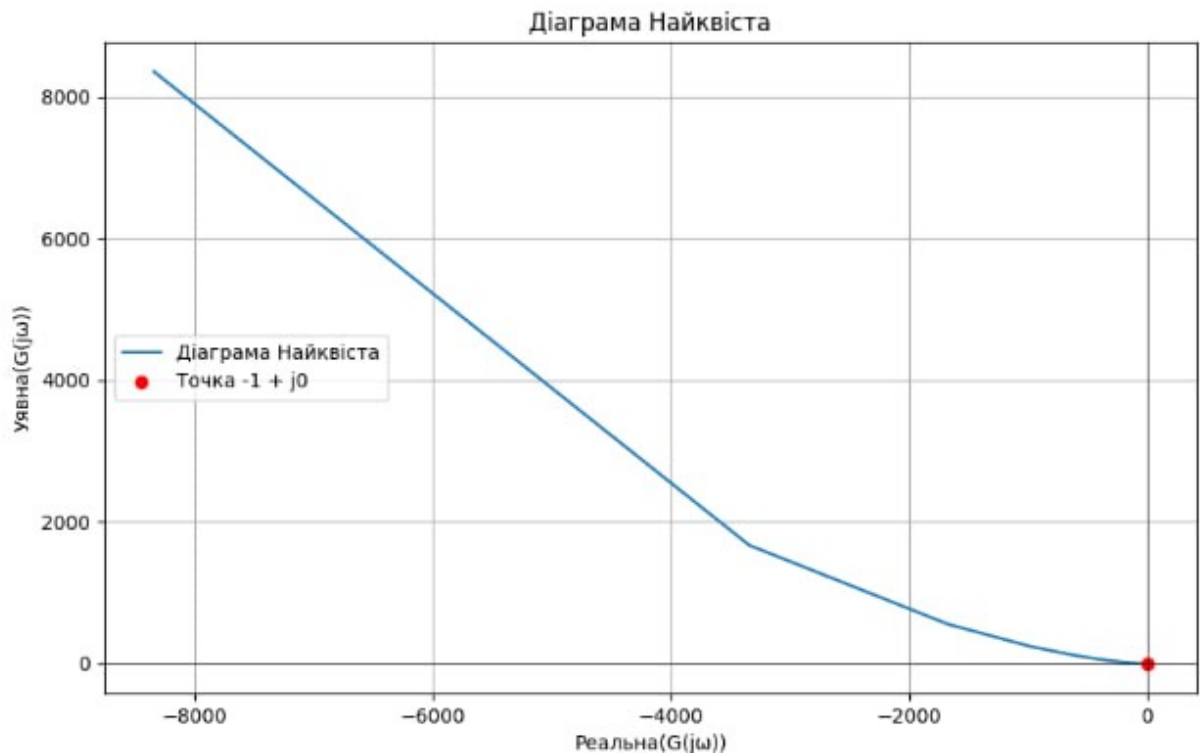


Рисунок 2.14 – Отриманий результат, що демонструє графік Найквіста

Висновок щодо двигуна такий, що ця система є стійкою та може забезпечити стабільну якісну роботу. Пілот може бути впевнений, що ця деталь в повітряному роботі є міцною та не буде мати роль розхідника. Мотор не буде мати неконтрольовані коливання чи зриви при зміні навантаження або зовнішніх умов, адже якщо під час польоту у вас відмовить мотор, то, вірогідніше всього, будуть поломані і це зовсім інший напрям подій, оскільки мотор це те, що тримає вас в повітрі, а при відмові, якщо повітряний робот не має спеціалізованої аварійної системи, ви полетіти стрімко вниз і спіймати чи забалансувати в повітрі – не вийде, тому в цій ситуації треба буде міняти не тільки двигун [21].

Ця стійкість є основою в забезпеченні безперервного і точного управління літальним апаратом, яке сприяє безпечному виконанню польотів і

завдань, підвищуючи надійність і ефективність експлуатації в різних середовищах та сценаріях.

3 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ДЛЯ ПОВІТРЯНОГО РОБОТА

3.1 Аналіз інформації щодо конструкції для перевезення

Сучасне перевезення вантажів має дуже велику сферу, особливо комерційна діяльність. Тому варто розглядати варіант, якщо платформи для різного способу перевезення можуть взаємно замінюватися, то тоді це може бути більш бюджетний варіант. Оскільки для того, щоб скористатися різним типом перевезення потрібно буде мати іншу конструкцію, а не ще один повітряний робот [22].

Розглянемо два варіанти конструкції для перевезень:

– дистанційне управління тримачем: дасть змогу мати можливість відкріплювати товар дистанційно, спосіб можна буде використовувати у сфері бізнесу, даруючи багато переваг;

– механічний функціонал і велика надійність: модульний об'єкт надасть широкий вибір речей і простору для транспортування, універсальний метод кріплення передбачає роботу, яка не залежить від інструменту, та не обмежуючи при цьому функціонал.

Матеріали обрано з огляду на їхню ресурсність, вагу і способи перевезення. Одні з тих, хто легкий і міцний – є вуглецеве волокно, також сьогодні є багато полімерних пластмас, які не поступаються у властивостях деяким металам. З приводу металу, він також має місце бути в платформі, оскільки при вантажі знизу має бути чіткий елемент, який не дасть провисання або коливань, і важлива деталь – це елемент утримання гвинтів, тобто з часом, бо постійно діє сила тяжіння, пластикове різьблення може зноситися, і це, за своєю суттю, будуть, такі собі, витратні матеріали, з металевим елементом до цього моменту заміни час буде довшим [22].

Найголовнішим є сама основа – це повітряний робот, на мій погляд, його потрібно обирати за фактором ціна, якість, технології. Також логічніше докласти зусилля, щоб підібрати для мети перевезення різногабаритних вантажів такий пристрій, який зможе потягнути цей вид діяльності та впродовж його роботи тільки змінювати платформи для потрібної вам галузі, бо потенціал у розроблення цих конструкцій є, але поки що це не дуже велике, порівняно з іншими сферами розробки, коло іноваторів.

3.2 Розробка конструкції повітряного робота для перевезення з дистанційним скиданням

Аби мати вантажний пристрій, яким ви зможете транспортувати предмети та брати їх або відпускати, при цьому знаходячись вдома чи в офісі, доцільним рішенням буде повітряний промисловий робот, що має електромагніт (рис. 3.1), який дозволяє тримати вантаж та дає змогу пілоту тримати або не тримати тягар.

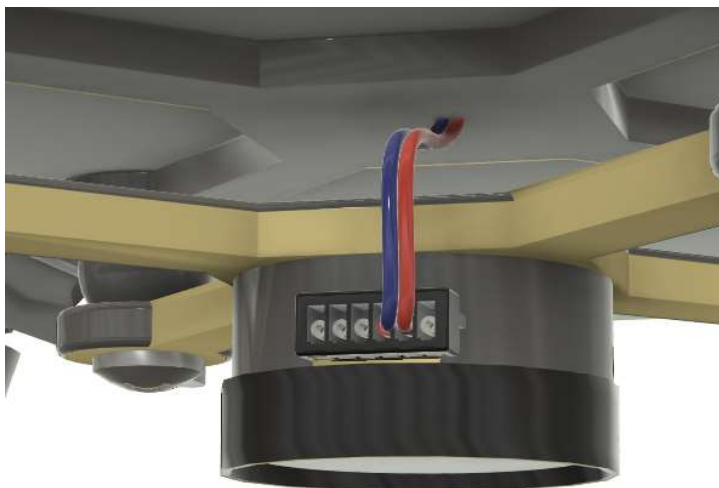


Рисунок 3.1 – Вигляд електромагніту в даній конструкції

Магніт буде розташований знизу по центру, що дає можливість розмістити між шасі доволі велике по габаритам пакування, адже літальний

апарат є середніх розмірів. Параметри магніту наступні: діаметр 50 мм, товщина 10 мм, сила зчеплення 10 кг.

Для того, щоб електромагніт не мав змоги доторкнутись своїми дротами до металевих елементів запроваджені ізольовані дроти та корпус для магніта, який також виступає бортом, щоб коли магніт мав товар, то в нього не було змоги зісковзнути, сам корпус зроблений з пластику АБС, що є одним з найміцніших пластикових речовин. Окрім дротів живлення в цьому корпусі мається плата, яка посилює напругу на електромагніт. Акумулятор, що міститься у повітряному роботі, видає напругу 7.4 вольт, для цього в корпусі доданий посилювач напруги, аби магніт отримував свої 12 вольт. Загалом, електромагніт та його корпус важать 150 грам, а потреба такого пристрою 2 вата на годину. Підвіс до якого кріпиться ця конструкція це металевий краб з гвинтовим кріпленням, що забезпечує витривалість та стабільність при перевезенні вантажу, його вага разом з електромагнітом складає 430 грам.

Щодо впливу електромагніту на компоненти повітряного робота, то вони мають від цього захист, яку саме систему запровадили інженери виробник не розголошує, але власники дають позитивні відгуки щодо цього та розробляють магнітні кріплення для своєї техніки.

Активування та відключення буде відбуватись, використовуючи бібліотеку віджетів у пульті керування, тобто на екрані буде ярлик щодо електромагніта та пілот може його ввімкнути, якщо виконується операція перевезення. Це дозволить не витратити марно ємкість акумулятора, коли повітряний робот летить без товару.

Наступний інтегрований елемент це змінене шасі, в штатній версії він має статичні ножки з карбонової труби. Якщо брати більшість нашої місцевості, то це нерівна плоскість, усюди є ухили, кочки і тд., що може заважати повітряному роботу робити посадку та рівно стояти. Стокові ножки через доволі швидкий час стираються в місті прилягання з дорогою. Також вони статичні та не мають ніякого відпрацювання навантаження. Тому

гарним покращенням будуть саме амортизовані ножки шасі (рис. 3.2), що забезпечать м'якість посадки та стабільність знаходження на землі, а також ресурс.



Рисунок 3.2 – Демонстрація змодельованої однієї з ног шасі

Для того, щоб посадка відбувалась м'якою та не шкодила елементам роботи, я прибрав централізоване розташування шасі та зробив замість двох ніг – чотири, які регульовані по висоті та в нижній частині мають всередині амортизований елемент у вигляді внутрішнього еластомеру. Еластомер – це будь-який гумовий матеріал, що складається з довгих ланцюжкових молекул або полімерів, які здатні відновлювати свою початкову форму після розтягування. Використання такої амортизації у виконанні окремих шасі дозволить сідати на будь-яку не рівну поверхню, адже ця підвіска буде відпрацьовувати кожне навантаження [22].

Щодо зовнішніх матеріалів, то я залишив такі самі, а тобто карбон та пластик. Кріплення до корпусу залишилось штатним, бо сама система надійна та не має якихось явних недоліків, а також на кінцівках додані гумові накладки, аби шасі служили довше. Вага стала трохи менше, штатні ножки

важили 550 грам разом, тут їх стало чотири та тепер вони можуть регулюватись, а їх вага залишилась не змінною [23].

Повітряний робот має в центрі на верхній частині корпусу камеру (рис. 3.3), через яку пілот може оглядатись куди він летить. За зразок вигляду камери був взятий один з існуючих пристроїв до повітряного роботів. Камера встановлена зверху на підвіс, що дозволяє обертати камеру на 360 градусів, її підключення відбувається через дрiт, що якраз вставляється в корпус під підвісом, живиться від самого літального апарата, який відключає камеру FPV та фокусує живлення в сторону камери та потреби інших підсистем, що не мають на даний момент високого пріоритету користування, приглушує.



Рисунок 3.3 – Демонстрація комплекту для зручнішого огляду

Матеріал підвісу металічний, кріплення до корпусу робиться за допомогою гвинтів, що забезпечить довгострокову службу, завдяки своїй будові. Вага такого комплекту 640 грам, що не дуже і багато, враховуючи те, який функціонал воно дає. В свою чергу, FPV камера, яка має фіксовані положення лінз, в тому числі і в нижній частині, може бути ввімкнена, коли є потреба в моніторингу стану примагніченого товару та мати призначення при відвантаженні коробки. Також її застосування може бути, коли вага предмета з комплектом перевищує максимальну вагу повітряного робота, таким чином можна обирати та розглядати додаткові маси пакувань [23].

Загальна модель представлена на рис. 3.4.



Рисунок 3.4 – Змодельований повітряний робот з конструкцією перевезення різногабаритних вантажів з електромагнітом

Вага такої конструкції – 1070 грам, з усіма інтегрованими елементами, де присутні матеріали – це метал та пластик, що забезпечить велику тривалість роботи без потреби обслуговування.

Щодо пакування для такого типу перевезення різногабаритних вантажів, то зараз продавці не мають упаковки, що може примагнічуватись, тому як зачіп на майбутнє розроблено пакування, яке можна використовувати для такого типу перевезення. Єдине, що коробка повинна в середині своїх граней бути зміцнена, по типу, як каркас, використовувати можна якийсь полімер, що не додасть великої ваги. Це буде заважати їй сомнутись в разі сильного впливу від факторів польоту та впливу на неї сили тяжіння на протязі довгого часу. Щодо проблем під час перепадів висоти чи якоїсь маневреності, то це вилучено через те, що робот має функцію летіти тільки горизонтально, керуючи окремо кожним своїм мотором, при цьому розподіляти навантаження, аби зберігався баланс навіть у вітряному середовищі. Картонне пакування з полімерним каркасом представлено на рисунку 3.5.

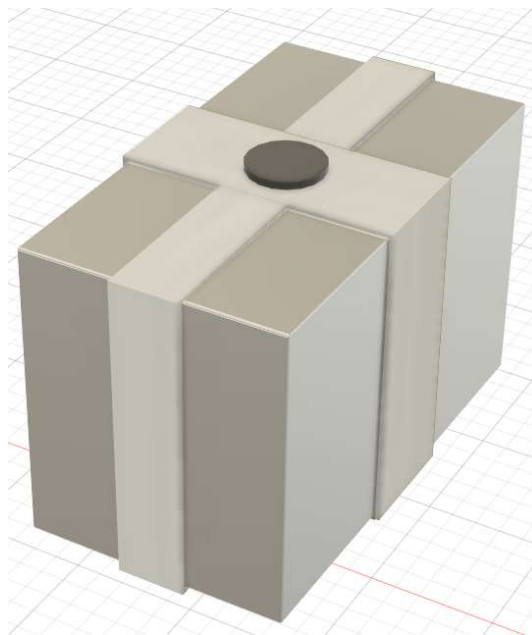


Рисунок 3.5 – Приклад картонного пакування для даного виду конструкції для перевезення

Само собою, картонне пакування, не єдиний вид упаковки на сьогоднішній день, можливо навіть найпопулярніший вид пакування це поліетилен і саме на нього прикріпити металевий елемент не є великою проблемою. При такій упаковці він може бути чи товстим, чи тонким, головне аби діаметр співпадав та сам предмет був не занадто великий по габаритам.

3.3 Експериментальні дослідження щодо роботи повітряного робота з конструкцією електромагніта з різною масою вантажів

Перевезення вантажів на бездротовому обладнанні передбачає собою розрахунків щодо споживання потужності повітряним роботом, а також треба дослідити залежність часу польоту від маси вантажа. Аби зробити такий розрахунок треба використати офіційне джерело [24]. Дослідження проводились китайськими тестувальниками з метою розрахування тривалості польоту з аксесуарами до робота: високоякісні камери, тепловізори та пристрої для геодезистів. Даний графік залежності представлено на рис. 3.6.

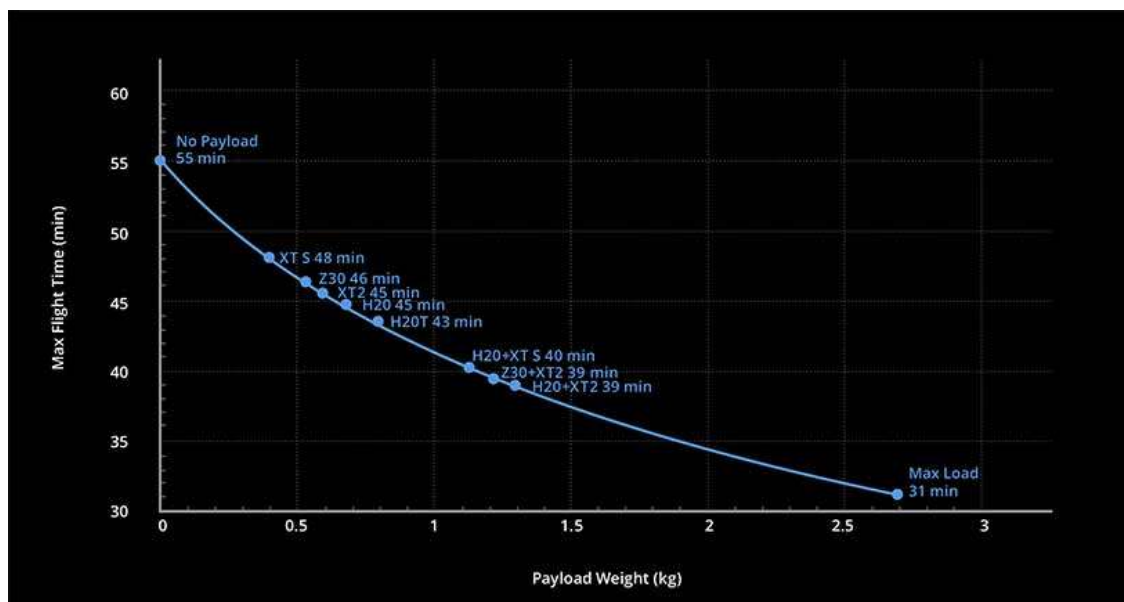


Рисунок 3.6 – Графік залежності часу польоту від навантаженої маси

Обчислення тільки до ваги 3 кг та 30 хвилин, але для розрахунку з різною масою треба збільшити область значень на осях. Умови при яких це відбувалось: швидкість 30 км/г та відстань 8 км, адже в Китаї діє сертифікат SRRC, що дозволяє тільки такий максимальний кілометраж. Для цього буде використано математичний метод сплайн, аби продовжити цю залежність на наступні значення осей (рис. 3.7).

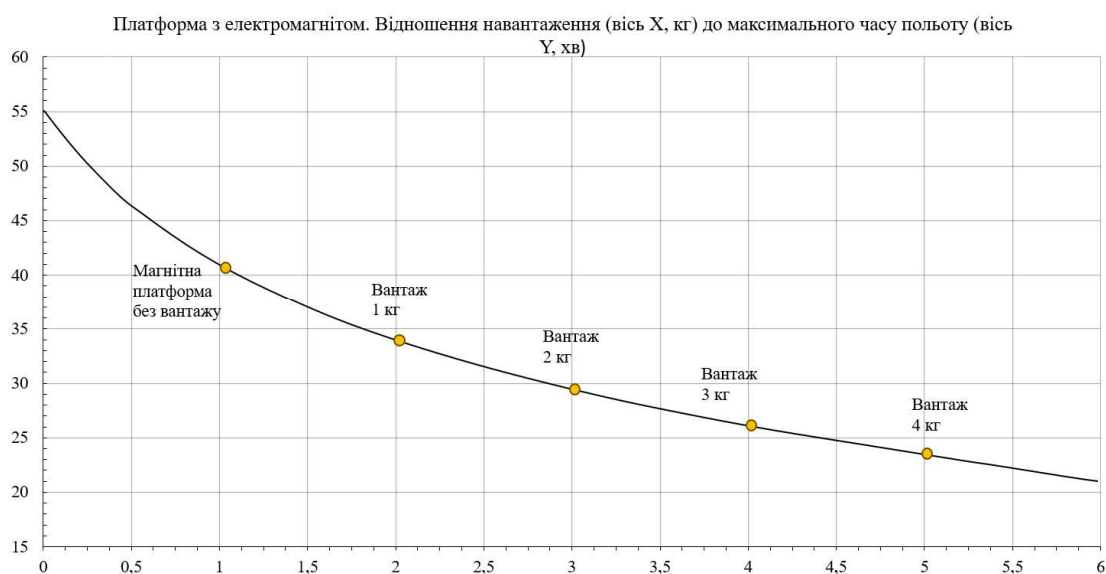


Рисунок 3.7 – Графік залежності навантаження до максимального часу польоту

Версія з магнітною конструкцією важить 1070 грам, тому перше і найлегше значення – це є саме платформа з електромагнітом, що не має на собі вантажа. Враховуючи точність математичного проектування ми можемо знайти час польоту при різних масах додаткового вантажа. Будемо розраховувати додатковий вантаж до 4 кг, бо якщо більше, то повітряний робот авжеж злетить, але це не буде довгий повноцінний політ, це нашкодить самому апарату, його виробники затвердили, що максимальна вага зльоту апарата 9 кг.

Аналізуючи графік ми дізнались доступний час польоту при додаткових тягарях (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Час польоту магнітної конструкції з різними тягарями

Вага конструкції, кг	Вага додаткового вантажу, кг	Доступний час польоту, хв
1,070	1	34
	2	29
	3	26
	4	24

У повітряному роботі акумулятор має потужність при повному заряді 37.5 вата, це нам дає змогу дізнатись скільки буде витрачатись потужності на версію з електромагнітом щохвилино для кожного варіації додаткової ваги (табл. 3.2). Для цього застосуємо такі обчислення:

$$P_{minute} = \frac{P_{bat}}{t_n},$$

де P_{bat} – повний заряд акумулятора;

t_n – доступний час польоту при додатковій n-масі.

Обчисленні дані цього параметру виглядають:

Таблиця 3.2 – Розраховане споживання потужності повітряного робота на хвилину

Вага додаткового вантажу, кг	Споживання потужності в хвилину, Вт/хв
1	1,10
2	1,29
3	1,44
4	1,56

Так як в нас є електромагніт, то треба розрахувати скільки він потребує потужності на хвилину.

Електромагніт має силу зчеплення 10 кг, напругу 12 В та споживний струм 0,51 А. Знайдемо його потужність:

$$P = 12 \times 0.51 = 6.12 \text{ (Вт)}$$

Відповідно, для того, щоб знайти споживання потужності на хвилину, цей показник ділимо на 60:

$$P_{\text{mag.minute}} = \frac{6.12}{60} = 0.102 \text{ (Вт)}$$

Таку кількість ват потрібно електромагніту для стабільної роботи.

Але ж, окрім самого електромагніту мається ще перетворювач напруги з стандартних, що видає акумулятор, 7.4 вольт на 12 вольт, і його потужність 1.08 Вт.

Тому розрахуємо скільки буде потрібно потужності корпусу з електромагнітом похвилинно:

$$P_{\text{setup minute}} = \frac{7.2}{60} = 0.12 \text{ (Вт)}$$

Для різної маси додаткових вантажів ці показники представлені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Похвилинна потужність установки з електромагнітом

Вага додаткового вантажу, кг	Споживання енергії з увімкненим електромагнітом, Вт/хв
1	1,22
2	1,41
3	1,56
4	1,68

Наступний етап перед експериментальним дослідженням це розрахування загального часу польоту при тій умові, що електромагніт буде ввімкнений та везти додатковий вантаж (табл. 3.4). Зробимо це таким шляхом:

$$t_{\text{елект}} = \frac{37.5}{P_{\text{min}}}$$

в якій 37.5 – загальна ємність акумулятора; P_{min} – це споживання потужності установки на хвилину Вт/хв. І отримали такі часові проміжки:

Таблиця 3.4 – Час польоту, при якій повітряний робот використовує активований електромагніт

Вага додаткового вантажу, кг	Загальний час польоту з ввімк. електромагнітом, хв
1	30,66
2	26,54
3	24,00
4	22,29

Тепер дослідимо це експериментально, бравши за умову швидкість 30 км/г, аби не перенапружувати рухові елементи та відстань 8 км, так як в

Україні діє сертифікат СЕ, та за ним цей кілометраж є максимальною відстанню передачі.

Перше що треба дізнатись для розрахунку це скільки хвилин займе такий політ при наданих умовах:

$$t = \frac{8}{30} = 0,266667(\text{г}) = 16 (\text{хв})$$

Знаючи час, який було затрачено на транспортування, можна дізнатись скільки витратилось батареї для перевезення додаткового вантажу різної маси, використовуючи для цього дані з таблиці 3.3. Після цього ми зможемо дізнатись скільки заряду залишилось після такого, майже максимального, польоту, використовуючи для цього спосіб віднімання. Отже, витрачена енергія на різні додаткові вантажі розраховувалась за формулою (приклад оснований на умові, що додатковий вантаж 1 кг):

$$P_{\text{витр.пот.}} = P_{\text{пот.за хвил.}} \times 16 = 1.22 \times 16 = 19.57(\text{Вт}),$$

де $P_{\text{пот. за хвил.}}$ – це потужність, яку споживає електромагнітний комплект за хвилину. Отримана витрачена потужність для вантажів представлена в табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Витрачена потужність при здійсненні перевезення на максимальну відстань маршруту

Вага додаткового вантажу, кг	Витрачена потужність на цей вантаж, Вт
1	19,57
2	22,61
3	25,00
4	26,92

Зараз можемо вирахувати який залишок батареї (табл. 3.6) після такого перевезення, аби потім дізнатись залишок часу роботи та розрахувати відстань на яку ще відстань зможе полетіти повітряний робот.

Знайдемо залишки потужності після транспортування на 8 км різних по масі вантажів (на прикладі додаткового вантажа 2 кг):

$$P_{\text{залиш.}} = P_{\text{бат}} - P_{\text{внутр.пот.}} = 37.5 - 22.61 = 14.89(\text{Вт})$$

Розраховані залишки після 8 км наступні:

Таблиця 3.6 – Залишкова ємність потужності в акумуляторі

Вага додаткового вантажу, кг	Залишок батареї після вантажоперевезення на 8 км, Вт
1	17,93
2	14,89
3	12,50
4	10,58

Тепер вирахуємо скільки споживає повітряний робот потужності в хвилину, коли електромагнітний комплект відключений. По графіку на рисунку 3.7 визначаємо, що це може літати 40 хвилин, тому тепер рахуємо скільки такий повітряний робот потребує потужності в хвилину.

$$P_{\text{відкл.}} = \frac{P_{\text{бат.}}}{t} = \frac{37.5}{40} = 0.94 (\text{Вт/хв})$$

Тобто стільки потребує звичайний пустий літальний апарат без додаткової маси вантажу та не активованої електромагнітної конструкції, аби летіти в зворотному напрямку. Знайдемо скільки залишилось часу в акумуляторі для того, щоб летіти в такому стані (приклад для вантажу 2 кг):

$$P_{\text{пуст}} = \frac{P_{\text{зал.}}}{P_{\text{відкл.}}} = \frac{14.89}{0.94} = 15.84 \text{ (хв)}$$

Отже, після відвезеного вантажу повітряний робот може ще літати майже 16 хвилин. Дізнаємось ці значення для інших маста заносимо у таблицю 3.7.

Таблиця 3.7 – Значення залишку після вантажоперевезення

Вага конструкції, кг	Вага додаткового вантажу, кг	Залишок часу роботи після вантажоперевезення, хв
1,070	1	19,08
	2	15,84
	3	13,30
	4	11,26

Коли ми знаємо час, який ще є для подальшої роботи, то також можемо знайти відстань, котру ще можна пролетіти на одному акумуляторі.

Будемо використовувати стандартну функцію для розрахунку відстані, знаючи швидкість та час(приклад для залишку часу після вантажоперевезення 1 кг):

$$S = v \times \left(\frac{t_{\text{залиш.}}}{60} \right) = 30 \times \left(\frac{19.08}{60} \right) = 9.54 \text{ (км)}$$

Залишкова відстань після закінчення транспортування вантажа 1 кг, яку він може пролетіти не маючи підключеного електромагніта це 9.54, що є відмінним показником (табл.. 3.8).

Таблиця 3.8 – Відстань, що можна пролетіти після відвантаження с відключеним електромагнітом

Вага конструкції, кг	Вага додаткового вантажу, кг	Залишкова відстань польоту, км
1,070	1	9,54
	2	7,92
	3	6,65
	4	5,63

Враховуючи те, що таку конструкцію більш раціональніше використовувати в місті, то те, що після польоту на максимально доступну відстань маються ще варіанти, коли це повторно можна зробити на одному акумуляторі, це є гарним плюсом. Призначенням такого виду перевезення може сприйматись в чергу покращення комерційних перевезень, аби оптимізувати швидкість та ефективність роботи.

Окрім варіації конструкції з електромагнітом та камерою, я ще дослідив скільки будуть ці параметри, але з використанням тільки камери FPV. Такий процес керування буде виглядати трохи дубіше, але ви будете мати більше ресурсність пристрою на одному заряді, враховуючи полегшення ваги (табл. 3.9).

Отже, умови при яких будуть проводитись тестування такі самі, як і версії з камерою. Спочатку дослідимо приріст щодо часу польоту та зниження споживання енергії.

Таблиця 3.9 – Дані показники з версією без камери

Вага конструкції, кг	Дод. вантаж, кг	Доступний час польоту, хв	Споживання енергії, Вт/хв	Споживання енергії з ввімк. електромагніто м, Вт/хв	Загальний час польоту з ввімк. електромагніто м, хв
0,43	1	37	1,01	1,13	33,08
	2	31	1,21	1,33	28,20
	3	28	1,34	1,46	25,70
	4	25	1,50	1,62	23,15

Приріст часу польоту з ввімкненим електромагнітом складає від 3.7% до 7.3%, що, є непоганим показником, особливо для версії з додатковим вантажем 1 кг, яка займає позицію самого вагомого зросту. Бачимо, що споживання енергії знизилось (табл. 3.10), а отже і залишок при закінченні транспортування буде більше, але наскільки.

Таблиця 3.10 – Показники повітряного роботу для подальшої роботи

Дод. вантаж, кг	Витрачена енергія на цей вантаж, Вт	Залишок батареї після вантажоперевезення на 8 км, Вт	Залишок часу роботи після перевезення, хв	Залишкова відстань польоту, км
1	18,14	19,36	20,60	10,30
2	21,27	16,23	17,26	8,63
3	23,35	14,15	15,05	7,53
4	25,92	11,58	12,32	6,16

Очікувано, витрачена енергія стала меншою, адже споживання знизилось, це дало більший час користування ємності акумулятора. Залишок часу збільшився, в середньому, на 1.5 хвилини, що в кілометрах є 0,75, це дає пілоту більше ресурсу для польоту. Зростання відстані, яку можна пролетіти після відвантаженого тягача, варується від 0,5 км до 0,75 км, в залежності від маси вантажа, та є непоганим показником, враховуючи, що зняли ми тільки камеру (рис. 3.8).

Висновок такий, варіативність версій дасть змогу використовувати цю конструкцію в різних напрямках перевезень, особливо доставка та пошта. Все залежить від задумки та поставленої задачі від людини. Можна розглянути версію без додаткової камери для більш «зеленої» місцевості, бо додаткова камера може надати зручність та деталізацію зображення, також завдяки її конструкції це дозволяє пілоту наче обертати головою, аби політ був комфортніше. Авжеж, вага стає меншою, через те і з'являється більший проміжок часу, аби користуватись даним апаратом, але і самі можливості орієнтування будуть обмежені. Тому пристосування, що тримає камеру,

можна легко прикріпити, а отже вибір стоїть вже перед користувачем та напрямком куди він буде перевозити товар.

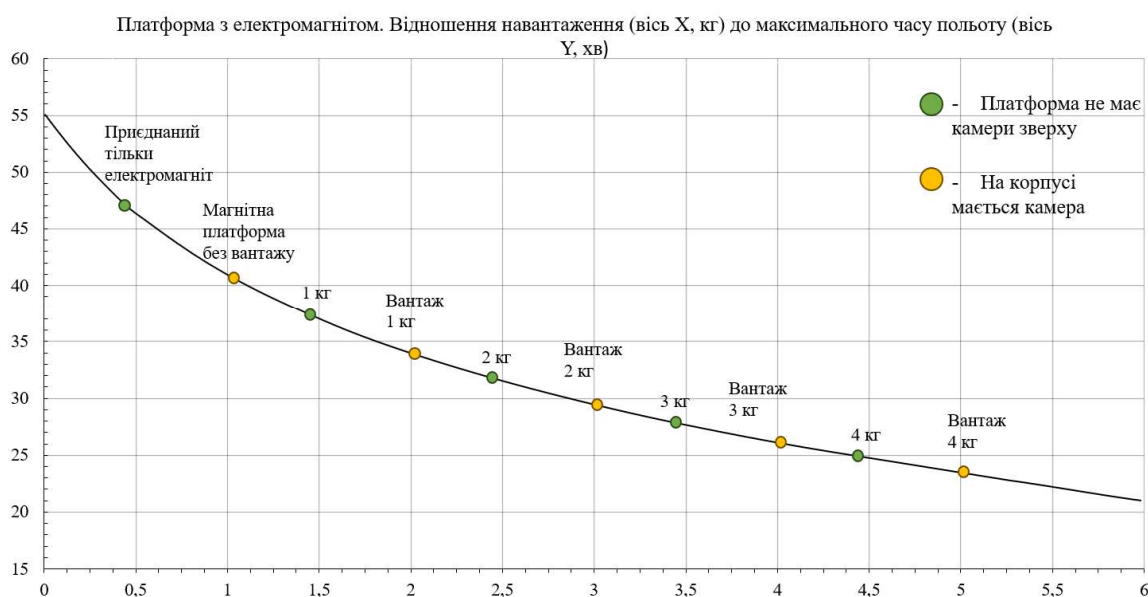


Рисунок 3.8 – Графік, що демонструє відмінності варіантів присутності камери

3.4 Розробка модульної конструкції для повітряного робота задля перевезення вантажу

Для того, щоб обернути ще більше сфер користування, де пов'язано з якимось вантажем, також треба запровадити варіант конструкції, що має таку саму функцію – перевезення різногабаритних вантажів, але робить це не за допомогою електромагніта, а простим механічним шляхом. Так як магніт все ж таки з часом може втратити силу, та й до того працює з спеціальними пакуваннями, що поки невідомі сучасному світу, треба щось універсальне та знайоме кожному. Кращий варіант, з яким впорається хто завгодно це кейс або декілька кейсів, які кріпляться до самого апарата. Наразі тільки деякі повітряні роботи мають кейси для перевозок, в основному це промислові та великі вантажні однокрилі літальні апарати, тому розроблення такої платформи ще можна назвати новим. Усі мали валізи, пластикові пакування з

кріпленнями тощо, а отже такий спосіб кріплення не потребує інструкції для тих, хто нещодавно почав використовувати повітряного робота.

Перше, що треба розробити це як буде виглядати кейс [23], в якості основного компонента для перевезення. Звичайний цільний кейс це є гарним варіантом, але це дуже повсякденно і має тільки одну варіацію використання. Можна роздивитись варіант створення модульних кейсів, які зможуть приєднуватись одне до одного та, в разі потреби, використовуватись окремо.

Варіант, який підходить під цей критерій, є – це кріплення виду «фастекс», його заціпки можуть використовуватись в обох напрямках та вони міцні для своєї легкої ваги. Наступне питання, яке потребує процесу обдумання, це яким способом вони можуть водночас існувати окремо, але, при бажанні користувача, треба з'єднатись разом – стінки, що знімаються. Запровадивши таку структуру, то вони зможуть створювати місце для різного габариту товарів, утворюючи різний об'єм [23].

Отже, елемент, який ми хочемо запровадити є, екземпляр кріплення до корпусу повітряного робота також маєтись. Треба тепер зрозуміти як це з'єднати, адже кріплення не має стільки вільного простору та місця для кріплення декількох кейсів [25]. Створимо раму, на яку будемо прикріпляти кейси, її треба розробити шляхом вибору міцного та легкого матеріалу, що зможе утримувати навантаження – карбон. Він здатен мати в своїй конструкції різьбові елементи та має довгостроковий термін працездатності.

Для початку розробимо раму з карбону (рис. 3.9), яка буде кріпитись на металевий підвіс з нижньої сторони корпусу.

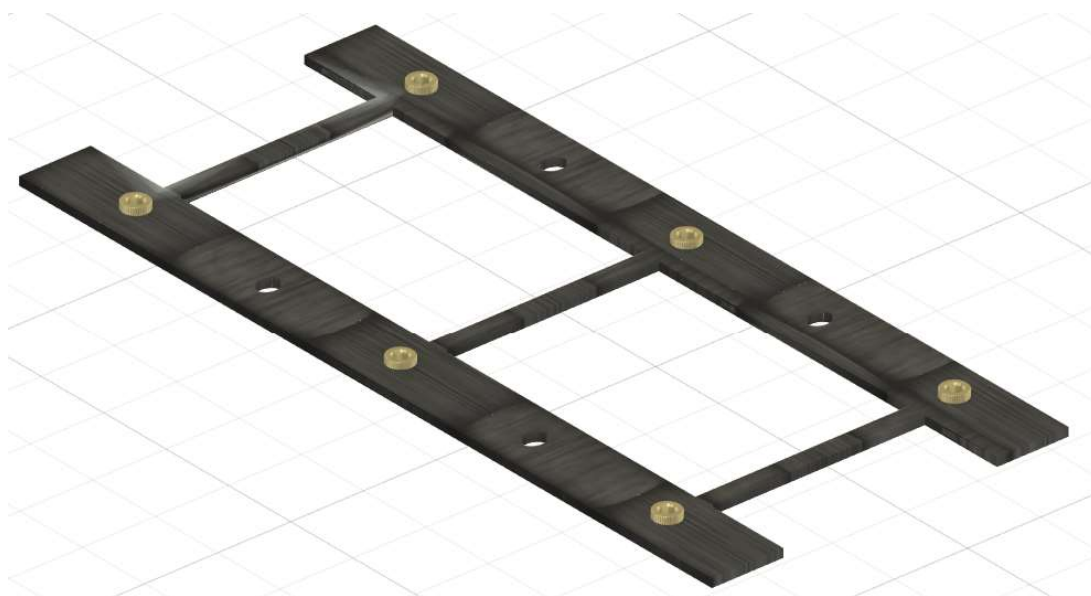


Рисунок 3.9 – Вигляд карбонової рами

Рами з карбону мають високу міцність і стійкість до ударних навантажень, що робить їх придатними для жорстких умов експлуатації та жорстких посадок. Їх міцність гарантує витримати вантажоперевезення, а ще має стійкість до корозії, на відміну від металевих рам, вуглецеве волокно стійке до корозії, що особливо важливо для періодичних польотів, що можуть працювати в поганих умовах або поблизу води. Її розміри наступні: ширина 15 см, довжина 24 см, товщина 4 мм, вага рами 159 грам. Такі параметри забезпечать гарну стійкість до підвішеного вантажу.

Карбонова рама має різьбові втулки для гвинтового з'єднання. Різьбові втулки (рис. 3.10) допоможуть розподілити навантаження на більшу площу, зміцнюючи раму і запобігти пошкодженню від болтових з'єднань. До того ж це велика перевага в нашому випадку – кріплення вантажа знизу рами, якщо б винти вкручувались просто в карбонову раму, то стан такої різьби доволі відчутно з часом погіршувався, різьбові металічні втулки будуть тримати в рази більше, тому їх використання цілком і повністю корисне для тривалості праці платформи.

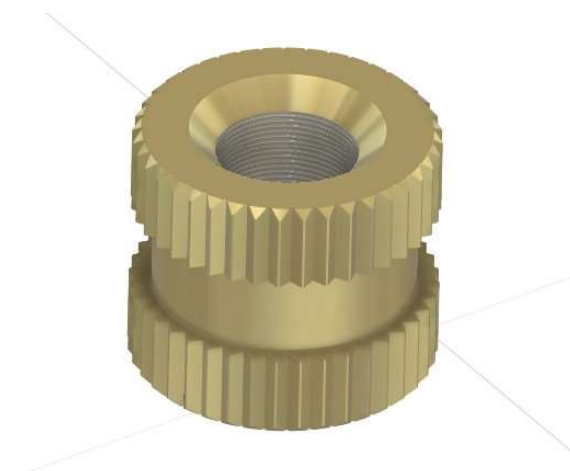


Рисунок 3.10 – Загальний вигляд різьбової втулки

Така невелика доробка в карбонову раму надасть в рази більше терміну кріпленню компонентів до вуглецевої рами. Вага шести втулок – 42 грами, їх параметри: висота 10 мм, зовнішній діаметр 7 мм, внутрішній діаметр 5.

Винт, що будуть мати кейси для кріплення має свій невід’ємний плюс – це відсутність потреби в інструменті, адже я обрав пелюсткові гвинти, що мають наступні розміри: довжина вхідної частини 12 мм, діаметр вхідної частини 5 мм, вага усіх шести 48 грам.



Рисунок 3.11 – Вид пелюсткового гвинта, що використовується в конструкції

Аби кейси були універсальні для кріплення я обрав гвинт, що можна закрутити та відкрутити в будь-яких умовах власноруч. Матеріал для нього це нержавіюча сталь, аби протягом часу не прийшло проблеми, що не має можливості прикріпити кейс, бо гвинт увесь іржавий (рис. 3.12). Вид гвинта з пелюстками дозволить додати та відчепити кейс будь-коли, ви можете використовувати один кейс, а залишкові чотири будуть прикручені у втулки, та при потребі під'єднати кейс, навіть не перебуваючи в умовах, де поблизу є викрутка.

Тепер перейдемо до самого кейсу, його задача – мати легку вагу та велику місткість, а тому він з пластику, але для того, щоб ця річ була міцніше, то виготовлений він з відливої пластмаси.



Рисунок 3.12 – Вид одного пластмасового кейсу для перевезення

Таких мається три штуки, їх спільна вага 750 грам, а розміри одного: висота 8 см, ширина 10 см, довжина 16.5 см. Матеріал забезпечить довгу витривалість гарного стану при перевезеннях та звичайному користуванні. Один кейс не дуже має багато місця, а вже може вмістити безліч мілкового вантажу, що можна перевозити, але знов таки ця технологія вже всім знайома. Кріпиться до рами він шляхом вкручування гвинтів у різьбову втулку у рамі (рис. 3.13 та рис. 3.14).

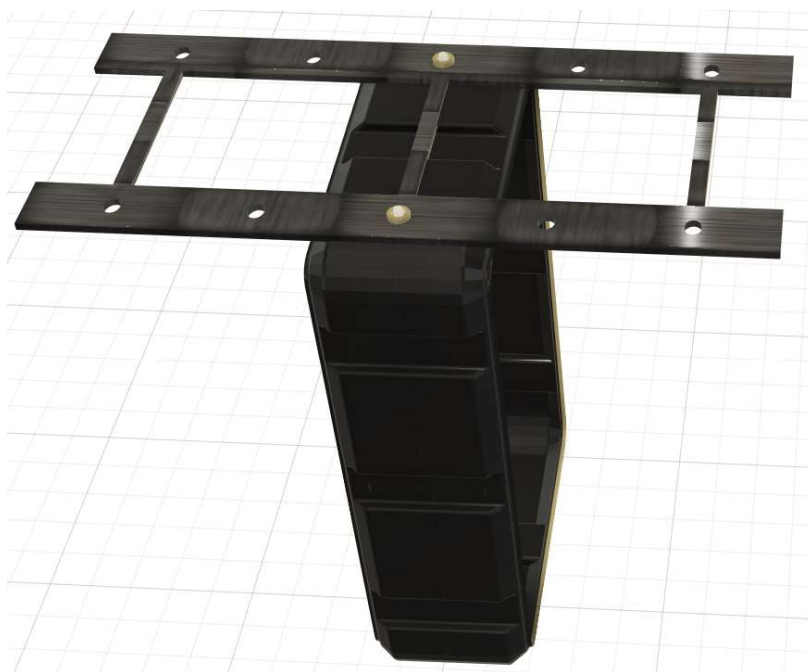


Рисунок 3.13 – Кріплення коробки до рами, вигляд ззовні



Рисунок 3.13 – Вигляд внутрішнього прикріплення кейса до карбонової платформи

Це буде міцне з'єднання, аби перевозити вантажі на повітряному роботі та завдяки матеріалам не піддаватись зовнішньому впливу. Запровадимо елемент з'єднання – фастекс, він пластиковий та відливається одразу в кутах кейса (рис. 3.14). Не потребує інструменту та може бути використаний багато

разів, дія для фіксації якого є просто зштовхування одного до іншого, а для того, щоб від'єднати треба його зажати в пазах та потягнути на себе.



Рисунок 3.14 – Конструкція для з'єднання кейсів між собою

Його термін ресурсопридатності необмежений, тому для фіксації кейсів між собою це гарний варіант, аби мати завжди операцію модульності, при потребі додати кейс та перевезти велику кількість вантажу.

Стосовно елемента для м'якості посадки, то шасі з версії повітряного робота з конструкцією електромагніта, є так само ефективними і безпечними для варіанта конструкції з модульними кейсами. Пом'якшувальні ноги забезпечать охайне приземлення та в разі перевезення крихких матеріалів ніяк втрат не наслідуює. Шасі з амортизацією дозволять вантажному літальному апарату працювати на більш широкому діапазоні поверхонь, в тому числі на пересіченій або нерівній місцевості [25].

Наступна модернізація, яка може розширити кількість речей для перевезення – це стінки, що знімаються, тобто при використанні трьох кейсів ви можете зняти чотири внутрішніх стінки і будете мати більше вільного простору для завантаження. Для того щоб зробити таким чином стінки, то потрібно запровадити застібку (рис. 3.15), це буде єдиний доданий елемент в кейсі, стінки отримають змогу від'єднуватись, і тим самим в цих стінках буде роль кришки.



Рисунок 3.15 – Вигляд застібки для з'єднання стінок у кейсі

Цей компонент єдиний з металевою складовою, вага всіх присутніх на трьох кейсах застібок дорівнює 72 грами. Універсальний і простий для розуміння спосіб застосування забезпечить надійну фіксацію стінок. Кейс буде встановлюватись до рами вертикально, так як вони фіксують передню та задню стінку, то на ці пряжки, при вантажі, не буде великого тиску на відміну від гвинтів.

Отже підведемо підсумок, наша розробка це будуть пластикові кейси, що будуть прикручуватись до карбонової гвинтовим способом, з використанням інтегрованих фастексів, це дозволить їм мати модульність та міцність збірки між собою. Елементом, що поширює місце для вантажу всередині, виступає знімна стінка, стінка кейсу на застібці між боковою частиною та поперечними сторонами. Матеріал з якого буде виготовлятися кейс – це литий пластик, що вже є популярним серед промислових речей для зберігання, забезпечивши великий ресурс та міцну легкість. Модульність забезпечить декілька варіантів збірки цих кейсів, орієнтуючись на потреби користувача та габаритність вантажа [25].

Перший варіант – це найважчий спосіб користування, порівнюючи усі інші поєднання пустих кейсів, він має усі стінки та кожен кейс використовується окремо (рис. 3.16). Вага повністю зібраної такої конструкції, разом з рамою та підвісом, 1350 грам.



Рисунок 3.16 – Вигляд збірки всіх кейсів, що мають усі стінки

Оскільки це максимальна масивна порожня платформа, у випадках, коли умови дозволяють, можна зняти бічні стінки. Така дія зменшить вагу комплекту кейсів на чотири внутрішні стінки, що становить 250 грамів. Таке зменшення ваги надає можливість розмістити великогабаритний предмет, що є значною перевагою, особлива значимість це те, що для цього не потрібно додаткового обладнання (рис. 3.17).



Рисунок 3.17 – Вигляд комплекту з трьох кейсів, але з відсутніми внутрішніми стінками

Знімання бічних стінок з кейсів не тільки полегшує конструкцію, але й робить процес завантаження великогабаритних предметів більш зручним і швидким. Важливо також зазначити, що цей процес не вимагає спеціальних інструментів або технічних знань, що робить його доступним навіть для не підготовлених користувачів.

Тож, знявши чотири внутрішні стінки, можна зменшити вагу на 250 грамів і створити додатковий простір для розміщення великогабаритних предметів.

Авжеж при умові того, що вони є роздільними можна використовувати їх по окремоті, все залежить від потрібного вам розміру та об'єму (рис. 3.18).



Рисунок 3.18 – Повітряний робот з використанням одного кейсу

При такому варіанті використання, вага платформи складає 770 грам, що найлегша серед усіх різновидів збірки. Тут відсутні гвинти для інших двох кейсів, але якщо ви хочете згодом приєднати ще кейс, то їх можна вкрутити у різьбові втулки, не маючи коробки, та буде додаток до ваги – 32 грами.

Якщо ви робите вантажне перевезення в різні місця, і аби розрізнити що є чие, то є різновид використання двох окремих кейсів (рис. 3.19). У кожен кейс ви поміщаєте вантажі, призначені для конкретного місця призначення і, промаркуючи кейси, повідомляєте який буде саме їх, тим

самим полегшує визначення для отримувача. Інше застосування це, якщо пакування можуть пошкодитись одне від одного, тому можна застосувати окремі секції.



Рисунок 3.19 – Демонстрація платформи на повітряному роботі, до якої приєднано два окремих кейси

При цьому варіанті вага конструкції буде складати 1070 грам, вони будуть закріплені та знаходитись на відстані.

Версія, судячи по вазі, яка також має два кейси, це використання трьох коробок, але без внутрішніх стінок, що забирає якраз майже вагу одного кейсу (рис. 3.20).



Рисунок 3.20 – Загальний вид, якщо кейс має збільшений простір всередині

Маса такої пустої платформи буде 1100 г, вона стала легше та має більш можливостей вкладання пакування всередину. Цей варіант використання найкорисніший, адже дозволяє формування всілякого положення різногабаритного вантажу.

3.5 Проведення досліджень щодо роботи повітряного робота з конструкцією модульних кейсів з різною масою вантажів

Розрахунок можливої роботи вантажного літального апарата з платформою модульних кейсів передбачає собою експериментальні дослідження для кожної варіації конструкції при різному додатковому навантаженні. Це дозволить зрозуміти користувачу його характеристики щодо використання з різноманітною будовою платформи для перевезення.

Підемо по мірі зростання, а отже спочатку дослідимо вид платформи з кріпленням одного кейса. Графік, який демонструє залежність часу польоту від ваги в даному типі платформи, представлений на рис 3.21, результати зведені в табл. 3.11.

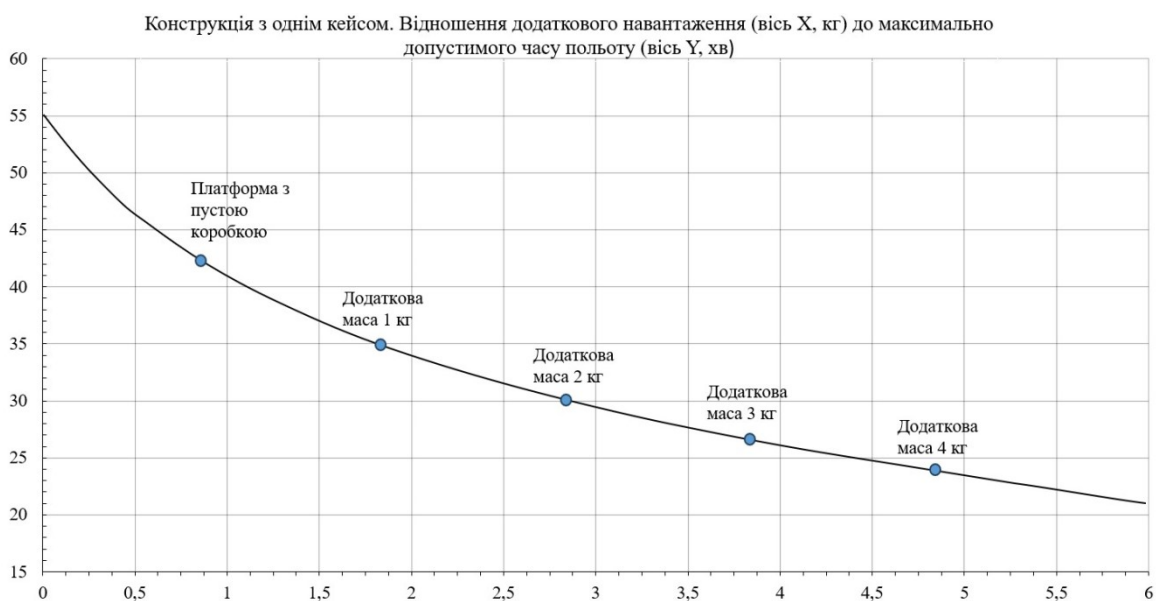


Рисунок 3.21 – Зображена діаграма щодо властивостей вантажного польоту з одним кейсом

Таблиця 3.11 – Час польоту з платформою на якій мається один кейс та різні додаткові навантаження

Вага конструкції, кг	Вага додаткового вантажу, кг	Доступний час польоту, хв	Споживання енергії, Вт/хв
0,77	1	35	1,07
	2	30	1,25
	3	27	1,39
	4	24	1,56

По результатам бачимо, що кроки споживання ростуть лінійно та майже рівномірно, це від 0.14 Вт/хв до 0.18 Вт/хв, що є гарним показником при такому змінні ваги для пристрою. Ця система є стабільною і її поведінку можна заздалегідь передбачити.

Умови для тестування будуть наступні: оптимальна швидкість – 30 км/г, відстань для польоту – 8 км. Цей тест покаже чи великі відмінності між двома платформами, що розглядаються з метою використання їх у комплекті з цивільним повітряним роботом.

Отже, тепер, знаючи споживання енергії для кожної маси додаткового вантажу ми можемо розрахувати скільки потужності витратить літальний апарат для тестового перевезення (табл. 3.12).

Таблиця 3.12 – Витрачена потужність для перевезення наданих мас вантажа

Вага конструкції, кг	Вага додаткового вантажу, кг	Витрачена потужність на цей вантаж, Вт	Залишок батареї після вантажоперевезення на 8 км, Вт
0.77	1	17,14	20,36
	2	20,00	17,50
	3	22,22	15,28
	4	25,00	12,50

Випадкам, коли на максимальну відстань відправлялись кейси з трьома та чотирма кілограмами скоріш за все вистачить тільки на дорогу назад, адже вони мають залишкової потужності менше половини. Більш зрозуміло стане, коли буде розрахована залишковий кілометраж на який можна летіти та час.

Маючи ці параметри розрахуємо час роботи, яку він зможе летіти з пустим кейсом (табл. 3.13) в зворотному напрямку та якою буде відстань польоту, що можна пролетіти після виконаного вантажоперевезення.

Таблиця 3.13 – Залишкові параметри для польоту з одним пустим кейсом

Вага додаткового вантажу, кг	Залишок часу роботи після вантажоперевезення, хв	Залишкова відстань польоту, км
1	22,87	11,44
2	19,66	9,83
3	17,17	8,58
4	14,04	7,02

Варіанти, окрім четвертого та третього, мають змогу повернутись до старту та ще здійснити малі перевезення. Четвертий не долетить кілометр, тому, при відправленні на максимальну відстань, потім потребує додаткового живлення або використання іншого транспортного способу, аби потрапити до точки вильоту. Третій, коли вже буде на початковій точці, буде мати майже витрачений акумулятор, тому його активність також призупиниться.

Наступними під розрахунок підуть одразу дві конструкції: платформа з використанням окремих двох кейсів та конструкція з трьома кейсами, але без внутрішніх стінок, тому що їх вага порожніми є майже однаковою.

Таким самим способом, за сплайном, знайдемо їх доступний час польоту, та енергію для кожної маси вантажа, аби проводити розрахунки далі (табл. 3.14). Графік для цього випадку використання для вантажів показаний на рисунку 3.22.

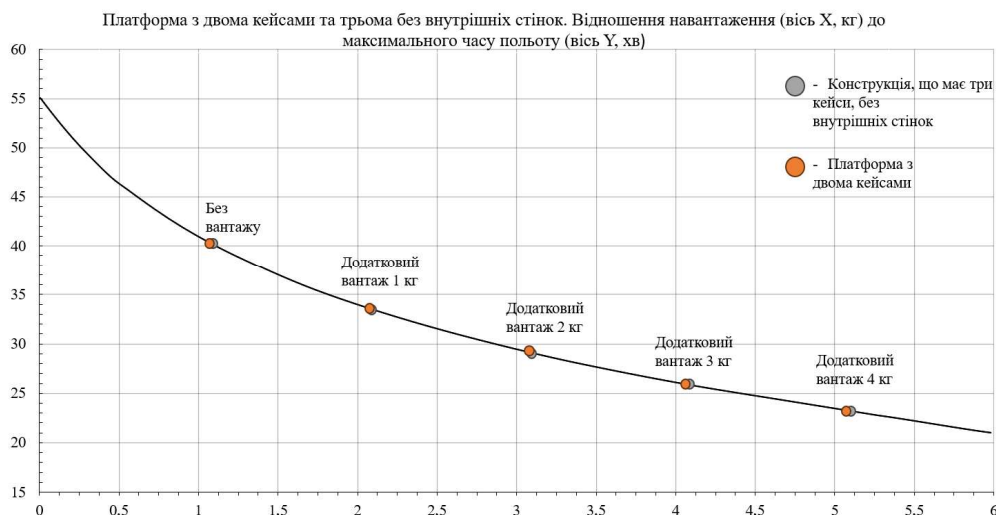


Рисунок 3.22 – Демонстрація залежності кілограмів навантаженості та доступного часу польоту

Таблиця 3.14 – Час польоту, який зможе літати повітряний робот з навантаженими кріпленнями (два кейси та три кейси без внутрішніх стінок)

Вага конструкції, кг	Вага додаткового вантажу, кг	Доступний час польоту, хв	Споживання енергії, Вт/хв
1.1/1.7	1	33	1.14
	2	29	1.29
	3	26	1.44
	4	23	1.63

По розрахункам можна побачити, що крок витрати енергії не має якогось різкого стрибку, усі підвищення споживання енергії невеликі – від 0.15 до 0.19 Вт/хв. Тепер знайдемо кількість витраченої потужності після випробувального польоту (табл. 3.15).

Таблиця 3.15 – Решта енергії після навантаженого польоту на максимальну відстань

Вага конструкції, кг	Вага додаткового вантажу, кг	Витрачена потужність на цей вантаж, Вт	Залишок батареї після вантажоперевезення на 8 км, Вт
1.1/1.7	1	18,18	19,32
	2	20,69	16,81
	3	23,08	14,42
	4	26,09	11,41

Аби розуміти точну подальшу тривалість роботи знайдемо термін роботи, який ще можна витратити на політ с пустою платформою (табл. 3.16).

Таблиця 3.16 – Показники параметрів повітряного робота після польоту з додатковим вантажем

Вага конструкції, кг	Вага додаткового вантажу, кг	Залишок часу роботи після вантажоперевезення, хв	Залишкова відстань польоту, км
1.1/1.7	1	21,71	10,85
	2	18,89	9,44
	3	16,21	8,10
	4	12,82	6,41

Знов таки повітряний робот, який перевозив чотири кілограма потребує втручання в систему живлення або допомоги для його транспортування. Останні три зможуть долетіти до свого стартового місця польоту, апарати, що везли 2 та 1 кг зможуть забезпечити ще час роботи та здійснити пару, а може і кілька, малих вантажоперевезень.

Аби після того, як повітряний робот здійснить вантажний політ на 8 км, та потім мав змогу все ж таки подолати 8 км в зворотному напрямку, можна запровадити місця для підзарядки, де будуть знаходитись станції з

зарядженими батареями, тоді процес буде ще швидше. Він буде мати одну посадку для зміни акумулятора та потім летіти далі. Така система має сенс, бо це збільшить кількість перевезень та взагалі підвищить час користування, адже літальний апарат не буде мати затримки на підзарядку з місця звідки він вилітав.

Платформа, для якої це також буде гарним додатком, це та, що має 3 кейса, які скріплені між собою та мають всі стінки, та зараз розрахуємо при якій масі це буде мати потребу. Це є найважча пуста конструкція, тому тут залишкові параметри будуть найменшими. Знайдемо доступний час польоту, щоб провести розрахунки щодо перевезення вантажів різної маси на максимально дозволена відстань. Графік розрахованого сплайну представлений на рисунку 3.23.

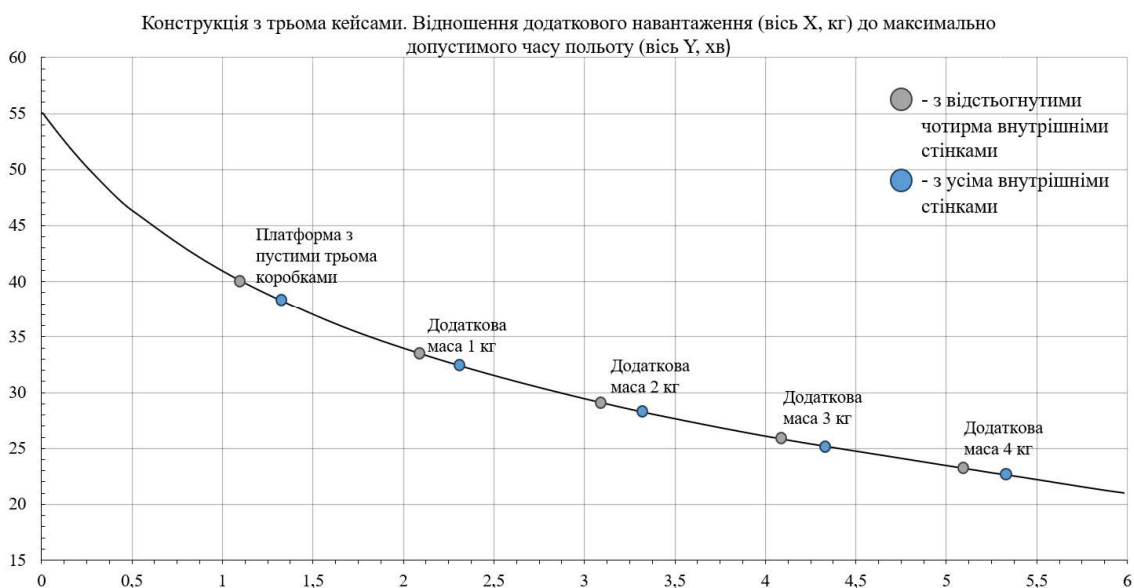


Рисунок 3.23 – Графік залежності часу польоту від додаткового вантажу

Знайдемо дозволений час польоту при різних навантажених масах та споживання напруги в цих випадках (табл. 3.17).

Таблиця 3.17 – Значення щодо польоту та споживана енергія під час перевезення

Вага конструкції, кг	Вага додаткового вантажу, кг	Доступний час польоту, хв	Споживання енергії, Вт/хв
1,35	1	32	1,17
	2	28	1,34
	3	25	1,50
	4	22	1,70

Збільшення споживання енергії при додаванні кілограму до конструкції має крок від 0,16 Вт/хв до 0,2 Вт/хв, що є нормальним, враховуючи яка вага перебуває в кейсах. Вже є задатки того, що тут будуть мінімальні залишки після вантажоперевезення, але питання: чи після всіх додаткових мас повітряний робот не зможе повернутись в початкове місце транспортування.

Тепер знайдемо витрачену потужність після експериментального вильоту та залишок у акумуляторі після нього (табл. 3.18), аби розрахувати потенціал наступних можливих перевезень.

Таблиця 3.18 – Отримані відповіді розрахунків щодо потужності після вантажоперевезення на 8 км

Вага конструкції, кг	Вага додаткового вантажу, кг	Витрачена потужність на цей вантаж, Вт	Залишок батареї після вантажоперевезення на 8 км, Вт
1,35	1	18,75	18,75
	2	21,43	16,07
	3	24,00	13,50
	4	27,27	10,23

Для більшої наглядності та розуміння обчислимо це у час, що залишився та відстань польоту, що можна пролетіти пустим на цьому

акумуляторі (табл. 3.19).

Таблиця 3.19 – Обчислені параметри для повітряного робота з трьома кейсами після транспортування вантажу

Вага конструкції, кг	Вага додаткового вантажу, кг	Залишок часу роботи після вантажоперевезення, хв	Залишкова відстань польоту, км
1,35	1	18,94	9,47
	2	16,23	8,12
	3	13,64	6,82
	4	10,33	5,17

Отже, такі результати: тільки з одним та двома кілограмами є змога долетіти назад, до того ж після доставлення вантажу одного кілограма можна виконати ще транспортування на короткі відстані. Після повернення з польоту перевезення двох кілограм повітряний робот одразу повинен замінити акумулятор, бо він увесь витрачений. Версії, що транспортували додаткову масу три та чотири кілограми пролетять більшу частину зворотного шляху, але будуть мати потребу в живленні, тому станції підзарядки мають місце бути, особливо, якщо це комерційне використання.

ВИСНОВКИ

Під час виконання кваліфікаційної роботи бакалавра був проведений аналіз предметної області та останніх досліджень, визначено актуальність роботи.

В першому розділі проаналізовані галузь вантажних повітряних робіт, були досліджені їх різновиди та типи для багатьох сфер використання. Дуже великий проміжок між способами їх запровадження, ці літальні апарати використовують як для звичайних задач, по типу, зняти краєвиди до інноваційно – технологічних в напрямку військової справи. Розглянуті види живлення повітряних робіт та проаналізовано яке джерело буде найкорисніше для сьогодення. Порівняльний аналіз існуючих та аматорських кріплень для повітряного робота з метою перевезення вантажів та оцінка їх плюсів та мінусів.

В другому розділі був обраний цивільний повітряний апарат, компоненти якого зазнали розгляду для модернізації. Розроблена його модель у програмному середовищі Fusion360 для того, аби продумати варіанти кріплень платформ для вантажоперевезень. Після цього в програмі SolidWorks Simulation проведено дослід як будова повітряного робота буде себе вести при великому навантаженні, які його слабкі місця та де в головному корпусі більше навантаження. Повітряний апарат виявився стійким до навантажень, давши слабину тоді, коли його донизу тягнула захмарна вага, для реальних значень він гарно витримує і розподіляє вплив тягара. Матеріали, що можуть отримувати якийсь негативний вплив, є композитними, тому для них це не приносить великої шкоди. Було проведено дослідження мотора, створивши передавальну функцію та дослідивши за критерієм стійкості – двигун виявився стійкою системою, що може забезпечити стабільний політ та великий ресурс використання.

Третій розділ став самим змістовним, адже в ньому розроблялись та

моделювались дві платформи для перевезення різногабаритних вантажів. Першою була платформа, що має електромагніт задля швидкого відвантаження вантажу, це гарний варіант, бо компоненти позиціонування захищені від електромагнітного впливу, також додана камера на верхній частині корпусу, аби мати оглядовість 360 градусів, а також, в разі потреби, зняти і використовувати вбудовану камеру. Вага такої конструкції 1070 грам, що має в собі електромагнітну установку в якій мається посилювач напруги. Шасі перероблено, аби отримати амортизацію задля стабільної посадки на нерівну поверхність, в нього доданий еластомер та додано регулювання висоти. За розрахунками повітряний робот з такою конструкцією та навантаженням 4 кг, при умові, що це за один заряд та його швидкість 30 км/г, зможе пролетіти 12 км, що є вражаючим показником.

Друга версія платформи для перевезення повітряним роботом різногабаритного вантажу є модульні кейси, які мають 4 варіанти збірок. Платформа складається з карбонової рами, пластикових кейсів та металевих кріплень. Загалом максимальна збірка важить 1350 грам, що не сильно багато, враховуючи, що це найважчий комплект. Кожен кейс може приєднуватись до іншого, використовуючи кріплення фастекси, що інтегровані одразу в кути кейса, а також має стінки, що можна відкріпити, аби можна було поєднувати кейси між собою та створювати для цього більше простору для вантажа. Максимальну відстань на одному заряді, яку він може подолати, при 30 км/г, з трьома кейсами та вантажем 4 кг це 11 км. Це є відмінний показник, враховуючи те, що це найбільша версія збірки конструкції.

Ці установки пов'язані між собою, вони мають одне і те саме кріплення, тому це дає більше вибору застосування для користувача. В сучасному світі цьому знайдеться широке коло використання, від звичайної пошти до моментального відправлення комплекту першої допомоги в зони, які небезпечні для людини. Також мається можливість замінити на іншу модифікацію, та покращувати це для своїх особистих задач.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Невлюдов І. Ш., Андрусевич А. О., Євсєєв В. В., Новоселов С. П., Демська Н. П. Проектування мобільних маніпуляційних робіт: Монографія. Х. :, 2022. 427 с.
2. Austin, R. Безпілотні авіаційні системи. / Austin Rowe, John Wiley & Anthony Rowe Ltd // Проектування, розробка та розгортання БПЛА – Вілшир, 2010 – 5-50 с.
3. ДСТУ 3008–15. Документація. Звіти у сфері науки та техніки. Структура та правила оформлення. Введ. 2015–06–22. К. Держстандарт України, 2017. 29 с.
4. Методичні вказівки з підготовки та захисту кваліфікаційної роботи здобувачами першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка, освітньої програми «Інтелектуальні технології засобів радіоелектроніки» / Упоряд. Н. П. Демська, В. В. Євсєєв, О. М. Замірець, В. В. Невлюдова, Ю. М. Олександров. Харків : ХНУРЕ, 2022. 38 с.
5. Freeman, M. R., Kashani, M. M., & Vardanega, P. J. (2021). Aerial robotic technologies for civil engineering: established and emerging practice. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 9(2), 75-91.
6. Гребенков, Д.В. Огляд сучасних безпілотних літальних апаратів / Д.В. Гребенков // Автоматизація та Приладобудування («Automation and Development of Electronic Devices» ADED-2023) [Електронний ресурс]: збірник студентських наукових статей. – Харків: ХНУРЕ, 2023. – Вип. 1. – 70-74 с.
7. Ollero, A., Tognon, M., Suarez, A., Lee, D., & Franchi, A. (2021). Past, present, and future of aerial robotic manipulators. *IEEE Transactions on Robotics*, 38(1), 626-645.
8. Ollero, A., Suarez, A., Papaioannidis, C., Pitas, I., Marredo, J. M., Duong,

V., Viguria, A. (2024). AERIAL-CORE: AI-Powered Aerial Robots for Inspection and Maintenance of Electrical Power Infrastructures. *arXiv preprint arXiv:2401.02343*.

9. Mikołajczyk, T., Mikołajewski, D., Kłodowski, A., Łukaszewicz, A., Mikołajewska, E., Paczkowski, T., Skornia, M. (2023). Energy Sources of Mobile Robot Power Systems: A Systematic Review and Comparison of Efficiency. *Applied Sciences*, 13(13), 7547.

10. Tabib, W., Goel, K., Yao, J., Boirum, C., & Michael, N. (2021). Autonomous cave surveying with an aerial robot. *IEEE Transactions on Robotics*, 38(2), 1016-1032.

11. Shi, F., Zhao, M., Murooka, M., Okada, K., & Inaba, M. (2020, May). Aerial regrasping: Pivoting with transformable multilink aerial robot. In *2020 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)* (pp. 200-207). IEEE.

12. Sampedro, C., Rodriguez-Ramos, A., Bavle, H., Carrio, A., De la Puente, P., & Campoy, P. (2019). A fully-autonomous aerial robot for search and rescue applications in indoor environments using learning-based techniques. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 95, 601-627.

13. Perez-Grau, F. J., Martinez-de Dios, J. R., Paneque, J. L., Acevedo, J. J., Torres-González, A., Viguria, A., ... & Ollero, A. (2021). Introducing autonomous aerial robots in industrial manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems*, 60, 312-324.

14. Zhao, M., Okada, K., & Inaba, M. (2023). Versatile articulated aerial robot DRAGON: Aerial manipulation and grasping by vectorable thrust control. *The International Journal of Robotics Research*, 42(4-5), 214-248.

15. Chermprayong, P., Zhang, K., Xiao, F., & Kovac, M. (2019). An integrated delta manipulator for aerial repair: A new aerial robotic system. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 26(1), 54-66.

16. Оформлення технічної документації: навч. посіб. / В. В. Семенець, І. Ш. Невлюдов, А. М. Сінотін, С. В. Сотник; М-во освіти і науки України,

Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – Харків: ХНУРЕ, 2021. – 148 с

17. Конспект лекцій з дисципліни «Комп'ютерні системи інженерної графіки та 3D-моделювання» для здобувачів усіх форм навчання першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітніх програм: «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», «Системна інженерія» / [Електронний ресурс] Упоряд.: Н.П. Демська. Електронне видання. Харків: ХНУРЕ, 2024. 240 с. pdf 16,7 Mb.

18. Chang, K. H. (2024). *Motion Simulation and Mechanism Design with SOLIDWORKS Motion 2024*. SDC publications.

19. Ramlan, I., & Darlis, N. (2020). Comparison between solidworks and ansys flow simulation on aerodynamic studies. *Journal of Design for Sustainable and Environment*, 2(2).

20. Mahakul, R., Thatoi, D. N., Choudhury, S., & Patnaik, P. (2021). Design and numerical analysis of spur gear using SolidWorks simulation technique. *Materials Today: Proceedings*, 41, 340-346.

21. Gulbudak, O., Gokdag, M., & Komurcugil, H. (2022). Model predictive control strategy for induction motor drive using Lyapunov stability objective. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 69(12), 12119-12128.

22. Shvetsova, S., & Shvetsov, A. (2021). Safety when flying unmanned aerial vehicles at transport infrastructure facilities. *Transportation research procedia*, 54, 397-403.

23. Bisták, A., Hulínová, Z., Vavřík, I., & Šťastný, P. (2022, September). Aerial work with helicopters in the construction of cableways and their impact on the concrete mixture design. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 1252, No. 1, p. 012005). IOP Publishing.

24. Bisták, A., Hulínová, Z., & Neštiak, M. (2021). Simulation modelling of aerial works and its role in the preparation of construction. *Slovak Journal of Civil Engineering*, 29(1), 20-26.

25. Nowacki, G., & Bolz, K. (2022). Challenges and threats of unmanned

aerial vehicles for aviation transport safety. *Journal of civil engineering and transport*, 4(1), 9-21.