

**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Інститут аерокосмічних технологій**

**Кафедра авіа та ракето-будування**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Володимир КАБАНЯЧИЙ

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Дипломний проєкт**

**на здобуття ступеня бакалавра**

**за освітньо-професійною програмою «Літаки та вертольоти»**

**спеціальності 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»**

**на тему: «Безпілотний рятувальний комплекс»**

Виконал:

студент ІV курсу, групи ВЛ-73

Івков Олександр Олександрович \_\_\_\_\_

Керівник: Ст. викладач

Яковенко П. О.

Рецензент:

Доцент кафедри СКЛА., к.т.н., с.н.с. \_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_

Київ – 2021 року

## ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість аркушів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проект	1	
2	A4	ВЛ7304.16.00.00.00 ПЗ	Пояснювальна записка	49	
3	A1	ВЛ7304.16.20.00.01 ТК	Схема рами коптера для станка	1	
4	A1	ВЛ7304.16.00.00.02 ВЗ	Схема загального вигляду БПЛА	1	
		<i>П.І.Б.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>	ВЛ7304.16.00.0000 ПЗ
<i>Розробив</i>	<i>Івков О.О.</i>				<i>Аркуш</i>
<i>Перевішив</i>				1	<i>Аркушів</i>
<i>Н. контр.</i>				<i>КПІ ім. Ігоря Сікорського</i>	
<i>Зав. каф.</i>				<i>Каф. АРБ Гр. ВЛ-73</i>	
<b>Відомість дипломного проекту</b>				<b>1</b>	<b>1</b>

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**Інститут аерокосмічних технологій**  
**Кафедра авіа та ракето-будування**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»

Освітньо-професійна програма «Літаки та вертольоти»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Володимир КАБАНЯЧИЙ

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

на дипломний проєкт студенту

**Івкову Олександрю Олександровичу**

1. Тема проєкту: « Безпілотний рятувальний комплекс », керівник проєкту Ст. викладач Яковенко П. О., к.т.н., затверджені наказом по університету від «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_р. № \_\_\_\_\_

2. Термін подання студентом проєкту: «15» червня 2021 року

3. Вихідні дані до проєкту:

*3.1. Тривалість польоту – не менше 30 хв*

---

*3.2. Практична дальність – не менше 1000 м*

---

*3.3. Діапазон швидкостей – 50..200 км/год*

---

*3.4. Маса цільового навантаження – 6 кг, загальна маса ЛА – 40 кг*

---

*3.6. Висота польоту – до 5 км*

---

*3.7. Максимальне експлуатаційне перевантаження – 3,5*

---

4. Зміст пояснювальної записки:

*4.1. Огляд аналогів*

---

*4.2. Технологічний етап проектування коптера*

---

*4.3. Розрахунок аеродинамічних характеристик і вибір профілю.*

---

*4.4. Вибір гвинтомоторної групи (двигун, гвинт)*

---

*4.5. Вибір матеріалу*

---

*4.6. Визначення аеродинамічних характеристик гвинта*

---

*4.8. Визначення еквівалентних напруг*

---

5. Дата видачі завдання 25 березня 2021 р

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1.	Огляд аналогів.	до 05.04.2021	
2.	Розрахунок аеродинамічних характеристик та підбір профілю.	до 26.04.2021	
3.	Вибір гвинтомоторної групи	до 03.05.2021	
4.	Вибір матеріалу рами	до 10.05.2021	
5.	Вибір основних характеристик силової установки.	до 17.05.2021	
6.	Визначення аеродинамічних характеристик всього БПЛА.	до 20.05.2021	
7.	Визначення еквівалентних напруг. Технологія виготовлення.	до 24.06.2021	
8.	Оформлення текстових та графічних матеріалів проекту.	до 01.06.2021	
9.	Перевірка на плагіат.	до 12.06.21	
10.	Захист дипломного проекту.	15.06.21-21.06.21	

Студент

Олександр Івков

Керівник

Петро Яковенко

**Пояснювальна записка**  
**до дипломного проєкту**  
**на тему: «Безпілотний рятувальний комплекс»**

Київ – 2021 року

## **Анотація**

Пояснювальна записка до дипломного проекту «Розвідувальний безпілотний літальний апарат» містить 50 сторінок , 25 ілюстрації, 11 таблиць , 11 використаних джерел та 5 додатків.

Метою проекту є визначення основних геометричних параметрів Безпілотного рятувального комплексу , розрахунок його аеродинамічних і льотно-технічних характеристик.

Під час виконання дипломного проекту було: розглянуто світові розвідувальні безпілотні апарати, обрано та проаналізовано БПЛА-аналоги до БПЛА, що проектується; визначено геометричні параметри гвинта та всього БПЛА;

Результати роботи можуть бути представлені у вигляді тез або для обговорення на студентських конференціях та використані при подальших розрахункових роботах з проектування БПЛА.

Ключові слова: Безпілотний рятувальний комплекс, гвинт, аеродинамічні характеристики, коптер, навантаження на крило, композитний матеріал.

## **Abstract**

Explains the note before the graduation project "Development of a secure lithic apparatus" to vest 50 pages, 25 illustrations, 11 tables, 11 victorious dzherel and 5 supplements.

Methods for the project e the definition of the basic geometric parameters of the Non-functional complex, the development of its aerodynamic and technical characteristics.

Before an hour the graduation project was announced: the light of the development of the equipment was displayed, the UAV-analogs were analyzed again to the UAV, and the project was carried out; the geometric parameters of the gwent and the entire UAV are assigned;

The results of the robots can be presented to the viewers, or for discussion at student conferences and victories with the submitted robotic robots for the UAV design.

Key words: Non-tight rudder complex, gwent, aerodynamic characteristics, copter, mounted on krill, composite material.

# ЗМІСТ

<b>ВСТУП.....</b>	<b>2</b>
<b>1. ОГЛЯД АНАЛОГІВ.....</b>	<b>3</b>
1.1 DJI Phantom 4 RTK.....	3
1.2 DJI Mavic 2 Enterprise Dual.....	5
1.3 DJI Matrice 300 RTK.....	7
1.4 DJI Matrice 600.....	11
1.5 DJI P4 Multispectral.....	12
Висновки до розділу.....	15
<b>2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ЕТАП ПРОЕКТУВАННЯ КОПТЕРА .....</b>	<b>16</b>
2.1 Типи Коптерів.....	16
2.2 Матеріал Рами.....	18
2.3 Обробка матеріалу.....	19
<b>3. РОЗРАХУНОК АЕРОДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК І ВИБІР ПРОФІЛЮ та мікроелектронна база.....</b>	<b>21</b>
3.1 Підбір профілю .....	21
3.2 Вибір двигуна .....	26
3.3 Мікроелектронна база коптера.....	27
3.4 Сенсори .....	29
Висновки до розділу.....	36
<b>4. ПРОЕКТУВАННЯ РАМИ КОПТЕРА .....</b>	<b>39</b>
4.1 Розробка конструкції рами .....	39
4.2 Проведення розрахунку на міцність в середовищі Ansys .....	40
Висновки до розділу.....	41
<b>5. Розробка технології виготовлення.....</b>	<b>42</b>
5.1 Вибір інструмента і визначення режимів різання.....	43
5.2 Призначення верстата, оснащення та схеми базування .....	44
Висновки до розділу.....	45

					ВЛ7304.16.00.0000 ПЗ									
					Розвідувальний безпілотний літальний апарат									
Змін.	Арк.	№ документ.								Літ.	Аркуш	Аркушів		
Розроб.		Івков О.Ою												
Перевірів														
Н. кон.										КПІ ім. Ігоря Сікорського 4				
Затв.		Кабанячий В.В.			Каф.АРБ Гр.ВЛ-62									



# 1. ОГЛЯД АНАЛОГІВ

## 1.1 БПЛА для картографії

### Геодезія та картографія

Картографія - сфера, в якій безпілотна авіація застосовується масово і повсюдно. З дня своєї появи аерофотознімання використовувалася для уточнення розташування об'єктів на картах, для чого повітря в повітря піднімалися пілотовані літаки, або некеровані аеростати, піддані впливу вітру. Прогрес не стоїть на місці - сьгоднішні компактні, маневрені і прості в обслуговуванні дрони не тільки фотографують місцевість, а й вирішують специфічні завдання для геодезистів та працівників суміжних областей:

- 1) Нанесення на карту знімків обраних територій з високою роздільною здатністю;
- 2) Планування ділянок для будівництва і земельних робіт;
- 3) Актуалізація даних про розташування доріг, ліній комунікації та інших об'єктів інфраструктури;
- 4) Складання уточнених карт і моделей рельєфу місцевості;

Побудова 3D-моделей для планування реставрації та реконструкції будівель і споруд.

Основні льотно-технічні характеристики БПЛА «DJI Phantom 4 RTK»

(Рис 1.1) наведено в таблиці 1.1.



Рис.1.1. Загальний вигляд БПЛА «DJI Phantom 4 RTK»

									Лист
									3
ЗМЗ	Лист	№ докум	Підпись	Дата					

## Льотно-технічні характеристики БПЛА «DJI Phantom 4 RTK»

Таблиця 1.1

<b>Геометричні параметри</b>	
Льотний час	0,5 год
Дальність передачі	7000 м
Точність позиціонування	0,1 м
Максимальна швидкість	58 км / год
<b>Масові параметри</b>	
Максимальна злітна маса	32 кг
Маса цільового навантаження	2 кг
<b>Динамічні параметри</b>	
Крейсерська швидкість	50...180 км/год
Максимальна швидкість	180 км/год
Висота ведення розвідк	0,1...0,5 км
Практична стеія	5 км
Тривалість польоту	0,5 год
Практична дальність	1,05 км
<b>Експлуатаційні показники</b>	
Система керування	Комбіновано-автономна (за програмою) та радіокоманда по закритих каналах зв'язку

У Phantom 4 RTK вбудований новий модуль RTK, який забезпечує отримання даних позиціонування в режимі реального часу з точністю до сантиметра і з мінімальною абсолютною похибкою метаданих зображення.

Під приймачем RTK розташований модуль супутникових систем позиціонування, що забезпечує стабільність польоту в місцевості зі слабким сигналом, наприклад, у великих містах. Поєднання цих двох модулів Phantom 4 RTK сприяє оптимізації безпеки польоту і отримання точних даних для геодезії, картографії та інспекцій.

Phantom 4 RTK легко впровадити в будь-який процес, приєднавши систему

позиціонування до мобільної станції D-RTK 2 (докупується окремо) за допомогою модему 4G або WiFi, використовуючи протокол NTRIP (мережева передача RTCM через інтернет).

### **Додаток для складання маршрутів**

Додаток GS RTK дозволяє пілотам здійснювати управління Phantom 4 RTK в двох режимах: «Фотограмметрія» і «Політ по точках». У них можна скласти маршрут і одночасно регулювати ступінь накладення кадрів, швидкість, параметри камери і т.д. в процесі картографування або інспекції. Додаток GS RTK має безліч корисних функцій для картографування і інспекцій. Файли KLM, що використовуються для планування польоту, тепер можна завантажити прямо в додаток. Режим пріоритету витримки автоматично контролює експозицію на всіх знімках. У разі виникнення несприятливих умов, наприклад, сильного вітру, пілот отримає попередження в додатку

### **1.2 - Для пожежних і рятувальників**

Швидке виявлення і локалізація займань - найважливіше завдання екстрених служб.



Рис.1.2. Загальний вигляд БПЛА «DJI Mavic 2 Enterprise Dual»

Безпілотна авіація успішно застосовується пожежними і рятувальниками в усьому світі. Я пропоную комплексні рішення на базі сучасних мультіроторних систем і спеціалізованого програмного забезпечення, що забезпечують виконання наступних завдань:

									Лист
									5
ЗІЗ	Лист	№ докум	Підпись	Дата					



температури в точках і областях, виділення на дисплеї ділянок з певною температурою і суміщення в реальному часі термальних і оптичних знімків.



Рис.1.2.1 Визначення вогнища загоряння за допомогою тепловізора  
**Льотно-технічні характеристики БПЛА «DJI Mavic 2 Enterprise Dual»**

Таблиця 1.2.

Геометричні параметри	
Польотний час	0,55 год
Дальність передачі	8 км
Точність позиціонування	0,3 м
Максимальна швидкість	42 км / год
Масові параметри	
Максимальна злітна маса	36 кг
Маса цільового навантаження	2 кг

### 1.3 – БПЛА для забезпечення правопорядку і громадської безпеки

У 21 столітті дрони використовуються поліцейськими підрозділами в десятках країн світу. Дрони дали охоронцям нові можливості для спостереження, координації оперативних дій, аналізу ситуації, пошуку порушників і постраждалих (Рис1.3) . Поліцейські обслуговуються компактними готовими

до польоту квадрокоптерами, а також складними багатофункціональними льотними платформами і безпілотними системами.



Рис.1.3. Загальний вигляд БПЛА «DJI Matrice 300 RTK»

Підвісне обладнання гарантує виконання наступних завдань незалежно від часу доби та погодних умов:

Льотно-технічні характеристики БПЛА «DJI Matrice 300 RTK» представлені у таблиці 1.3.

- 1)Патрулювання та спостереження за великими територіями;
- 2)Пошук і виявлення людей з тепловізором;
- 3)Моніторинг порядку на масових заходах;
- 4)Моніторинг дорожньої обстановки та аналіз місць ДТП;
- 5)Координація дій поліції з повітря.

Переваги квадрокоптера для поліції

Непомітність і мало шумність. На відміну від вертольота, електродвигуни дрона не створюють сильного шуму. Також квадрокоптер не турбуватиме громадян своїм звуком під час масових заходів.

Застосування в умовах міста. Поліцейські вертольоти обмежені по висоті польоту і свободи маневру в умовах щільної висотної забудови. Дрон не тільки вільно літає між будівлями, а й здатний злітати безпосередньо з майданчиків усередині населеного пункту.

Оперативність і швидкість. Час розгортання квадрокоптера становить кілька хвилин, він поміщається в багажнику автомобіля і завжди готовий до застосування в інтересах поліції.

								Лист
ЗІз	Лист	№ докум	Підпись	Дата	ВЛ7304.16.00.0000 ПЗ			8

Відсутність необхідності в фахівцях вузького профілю. Дрон настільки прості в освоєнні, що вимагають мінімум спеціальних знань,

Багатофункціональність і модульність. Елементи корисного навантаження, такі як камери, тепловізори, прожектора і динаміки встановлюються за кілька хвилин, за рахунок чого підбирається конфігурація безпілота для конкретного завдання.

Простота і низька вартість експлуатації. Мультироторні літальні апарати фактично не потребують періодичного обслуговування, запасні частини встановлюються своїми силами

### Льотно-технічні характеристики БПЛА «DJI Matrice 300 RTK»

Таблиця 1.3.

<b>Геометричні параметри</b>	
Польотний час	0,9 год
Дальність передачі	11 км
Точність позиціонування	0,1 м
Максимальна швидкість	65 км / год
<b>Масові параметри</b>	
Максимальна злітна мас	56 кг
Маса цільового навантаження	6 кг

### Функції для поліцейських

Безпілоти на службі у поліцейських - сьогодні це реальність. Платформа пропонує розширені можливості штучного інтелекту (ІІ) для вирішення складних завдань, а також систему виявлення і позиціонування в 6 напрямках. Matrice 300 RTK оснащений датчиками за останнім словом техніки і може нести на борту до 3-х видів корисного навантаження одночасно.

Установка RGB-камери, тепловізора і прожектора дозволяє вирішувати широкий спектр завдань спостереження, виявлення і пошуку для потреб

правоохоронців і перебувати в повітрі до 49 хвилин при часу розгортання не більше п'яти хвилин.

При експлуатації декількох БПЛА одночасно, а також для підвищення ефективності вирішення завдань, аналізу даних, планування спецоперацій і координації дій операторів дронів рекомендується застосування спеціалізованого програмного забезпечення DJI Flighthub .

#### **1.4 - для пошуку, порятунку і надання допомоги**

##### **БПЛА для надання першої допомоги**

У деяких ситуаціях під час рятування людського життя рахунок йде на секунди. Коли рятувальники не можуть дістатися до потерпілого, або дорожня ситуація не дає змоги вчасно привезти життєво необхідний препарат, на допомогу медикам і рятувальникам приходять безпілотники.

Варіанти використання вантажного дрона для порятунку людей:

- 1)Перевезення медичних препаратів і аналізів між клінікою і важкодоступними територіями;
- 2)Доставка теплих речей і продуктів харчування людям, які заблукали в лісі або заблокованим в горах;
- 3)Скидання рятувальних жилетів і надувних плавзасобів при повенях і аваріях на водному транспорті.

Коли немає права на помилку, необхідна максимальна надійність

На відміну від квадрокоптера, гексакоптер «DJI Matrice 600» (рис1.4) має 6 електродвигунів і несучих гвинтів. Це означає, що навіть при відмові одного або двох двигунів він здатний продовжити політ за маршрутом і виконати безпечну посадку в точці призначення. Саме завдяки цій якості M600 Pro стає кращим рішенням в лінійці DJI в ситуаціях, коли на операторів дрона покладено пряма відповідальність за людські життя.

Реальні випадки застосування БПЛА в інтересах лікарів:

										Лист
										10
ЗІз	Лист	№ докум	Підпись	Дата	ВЛ7304.16.00.0000 ПЗ					



- Доставка донорської нирки для трансплантації в Меріленді (США);
- Перевезення медикаментів і зразків для медичних аналізів в важкодоступних районах Домініканської Республіки;
- Застосування дронів в компанії Sincronia Logistica для доставки ліків по всій території Мексики.

### Льотно-технічні характеристики БПЛА «DJI Matrice 600»

Таблиця 1.4.

Геометричні параметри	
Польотний час	0,7 год
Дальність передачі	8 км
Точність позиціонування	0,7 м
Максимальна швидкість	80 км / год
Масові параметри	
Максимальна злітна маса, кг	70 кг
Маса цільового навантаження, кг	6 кг

Одночасна зарядка шести акумуляторів

Дрон великої вантажопідйомності з кожним роком стають дедалі популярнішими в силу своїх функціональних можливостей. Не так давно БПЛА даного типу використовувалися лише як носії для знімального обладнання та могли виконувати художню зйомку, тепер же - це апарати, задіяні практично у всіх сферах людської діяльності.

Сучасні безпілотні літальні апарати змогли вирішити цілий ряд важливих завдань: вони навчилися долати необхідну відстань з корисним навантаженням, істотно скорочувати час доставки медикаментів, крові, аналізів, речей першої необхідності

У найближчому майбутньому поставки медичних препаратів, витратних матеріалів та інших першочергових засобів за допомогою безпілотних

літальних апаратів стануть тенденцією міжнародних масштабів. Сьогодні вже кілька десятків проектів в різних країнах світу використовують БПЛА для доставки предметів медичного призначення нужденним людям.

### **1.5 БПЛА для лісового господарства, моніторингу лісового фонду і заповідників**

Використання квадрокоптера в лісовому господарстві дозволяє економити гроші, час і сили співробітників. Я пропоную рішення для дистанційного моніторингу лісів, запобігання пожеж і патрулювання заповідників. Ви можете отримати детальне фото лісу з дрона, виявити несанкціоновану вирубку дерев та інші дії браконьєрів. Крім того, широка номенклатура підвісного обладнання дозволяє вирішувати такі специфічні завдання:

- Зйомка великих площ у високій роздільній здатності з подальшим вивченням конкретних ділянок і окремих дерев;
- Пошук загорянь на ранніх стадіях за допомогою тепловізора;
- Відеозйомка для фіксації незаконної вирубки лісів, несанкціонованого розведення багать і інших порушень;
- Мультиспектральною зйомкою для контролю здоров'я рослин, виявлення комах-шкідників і паразитів;
- Картографування лісових угідь, контроль кордонів ділянок та розвитку лісу;
- Спостереження за рідкісними тваринами в заповідниках у видимому і термальному діапазоні, підрахунок популяції.

**Переваги квадрокоптера для лісового господарства «DJI P4 Multispectral» (Рис1.5):**

Економія коштів : менша вартість літального апарату, менші операційні витрати і відсутність необхідності дорогого обслуговування.

Робота без розширення штату , можливість навчання власних співробітників і вирішення комплексних завдань силами одного оператора БПЛА.

Простота і оперативність : зліт в будь-якій географічній точці без

										Лист
ЗІз	Лист	№ докум	Підпись	Дата						12

ВЛ7304.16.00.0000 ПЗ

використання аеродрому чи посадкового майданчика і спрощене законодавче регулювання польотів.

Точність аерофотозйомки . За рахунок застосування супутникових систем навігації і модулів RTK, карти, створені за допомогою квадрокоптера, мають сантиметрову точність. Виконання польоту на граничних висотах підвищує деталізацію і якість знімків.

Спеціальне обладнання . Завдяки застосуванню тепловізорів і мультиспектральних камер, коло завдань дрона в лісовому господарстві не обмежується зйомкою і наглядом.



Рис.1.4. Загальний вигляд БПЛА «DJI P4 Multispectral»

### **DJI P4 Multispectral для контролю стану рослин**

Візуальний контроль стану ґрунту і дерев не здатний дати фахівцям повної картини всіх процесів. На допомогу приходить технологія мультиспектрального зйомки. На підвісі дрона встановлені камери, що знімають в наступних каналах: червоний край, ближній інфрачервоний, синій, зелений, червоний і діапазон видимого випромінювання.

Завдання мультиспектрального зйомки:

- 1) Візуалізація фотосинтетичної активності листя;
- 2) Контроль стадій росту дерев;
- 3) Виявлення уражених паразитами рослин;
- 4) Виявлення посушливих, або заболочених ділянок лісу;
- 5) Аналіз родючості ґрунту.

## Льотно-технічні характеристики БПЛА «DJI P4 Multispectral»

Таблиця 1.5.

Геометричні параметри	
Польотний час	0,45 год
Дальність передачі	5 км
Точність позиціонування	0,6 м
Максимальна швидкість	58 км / год
Масові параметри	
Максимальна злітна маса	40 кг
Маса цільового навантаження	2 кг

Високоточна RTK GPS приймач

Точні сільськогосподарські дані

Миттєве отримання інформації про здоров'я рослин: P4 Multispectral виводить процес збору даних про здоров'я рослин на новий рівень і сприяє поліпшенню організації роботи. Компанія DJI зробила цю платформу такою ж потужною, як дрони серії Phantom 4. Пристрій відрізняють здатність виявлення перешкод в 5 напрямках, польотний час, що становить 27 хвилин, і дальність передачі сигналу до 7 км за допомогою системи OcuSync

Вбудований датчик сонячного світла для точних результатів

Трансляція RGB і NDVI. Вбудований спектральний датчик сонячного світла у верхній частині дрона визначає інтенсивність сонячного випромінювання, що максимально збільшує точність і стабільність отримання даних в різний час доби. При поєднанні з даними наступної обробки ця інформація допомагає отримувати найбільш точні результати NDVI.

### **Використання**

Точні сільськогосподарські операції

В ході активного періоду обробітку культур мультиспектральні камери можуть бути корисні фахівцям у сфері сільського господарства.

									<i>Лист</i>
<i>ЗІЗ</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпись</i>	<i>Дата</i>		<i>ВЛ7304.16.00.0000 ПЗ</i>			14

## Висновки до розділу

В розділі було розглянуто БПЛА - аналоги до безпілотного літального апарату, що проектується, на прикладі БПЛА DJI Phantom 4 RTK, DJI Mavic 2 Enterprise Dual, DJI Matrice 300 RTK, DJI Matrice 600, DJI P4 Multispectral. Проаналізовано основні льотно-технічні характеристики, конструктивні схеми та цільові призначення. Наведено зображення аналогів БПЛА та льотно-технічні характеристики у вигляді таблиць.

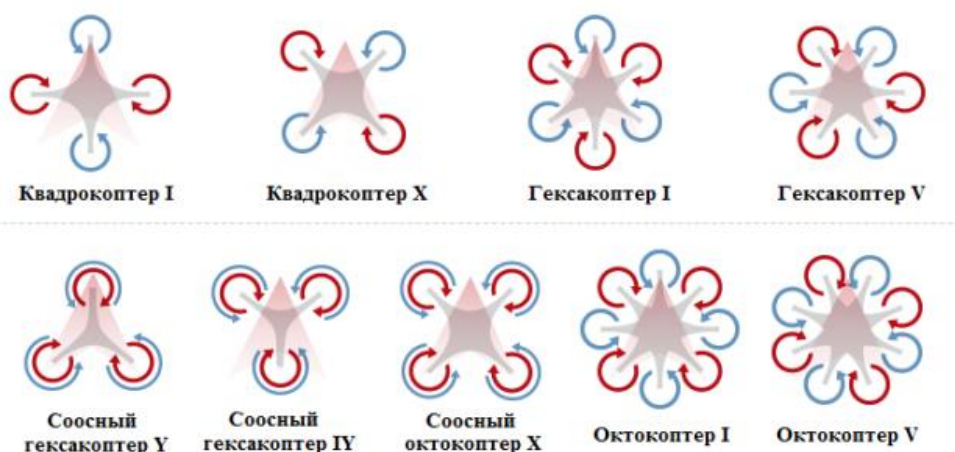
Отримані дані будуть використані для подальших проектних розрахунків БПЛА, що проектується.

					ВЛ7304.16.00.0000 ПЗ	Лист
3Из	Лист	№ докум	Підпись	Дата		15

## 2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ЕТАП ПРОЕКТУВАННЯ КОПТЕРА

### 2.1. Типи Коптерів

БПЛА поділяються на типи, в яких кількість двигунів і їх розташування відносно один одного впливають на польотні характеристики безпілота: напрямок польоту, баланс, підйомна сила, швидкість, стійкість і тд. Розрізняють такі типи мультіроторних безпілотників за кількістю двигунів: квадрокоптер (4), гексакоптер (6), октокоптер (8), декакоптер (10) і тд. По конфігурації (розташуванням) двигунів, щодо базового напрямку польоту: I, V, Y і співвісні модифікації. Так само зустрічаються моделі безпілотників, з непарним кількістю двигунів, але з огляду на більш низькій стабільності, вони не отримали широке розповсюдження.



У даній роботі буде розглянуто квадрокоптер X конфігурації. він вигідно відрізняється не високою складністю проектування, невеликими витратами матеріалу для вирізки рами, простотою збірки і транспортування. При польоті такий безпілотник прекрасно показує себе збалансованим енергоспоживанням і хорошою стабільністю, на шкоду високою вантажопідйомності і швидкості. Такий безпілотник може стати ідеальним рішенням для локальної відео-фотозйомки і сканування, як всередині і зовні будівель, так і на відкритій місцевості і для доставки вантажів у важкодоступні

місяця.

### **Переваги і недоліки обраної схеми**

#### **Квадрокоптер класу X (Рис.2.1.1)**

Опис: «Квадрокоптер» дрон який має чотири променя, кожен з яких з'єднаний з мотором. Для « X конфігурації » передньою частиною квадрокоптера прийнято вважати сторону стику двох променів, для « + конфігурації » передом може вважатися поздовжній промінь.

**Переваги:** Найпоширеніший мультіроторний дизайн. Найпростіша і універсальна конструкція. У стандартній конфігурації промені / мотори симетричні щодо двох осей. Всі доступні на ринку контролери польоту можуть працювати з такою мультіроторной складанням.

**Недоліки:** Відсутність надмірності (якщо в системі відбувається збій, особливо в елементах силової установки, безпілотно падає).



Рис.2.1.1 Квадрокоптер класу X

## 2.2 Матеріал Рами

Нижче наведені найбільш поширені матеріали виконання використовуються для виготовлення рам мультіроторних дронів, відповідно список не повний. В ідеалі рама повинна бути жорсткою з мінімально можливою передачею вібрації.

Поролон (Піна) - як єдиний матеріал для виготовлення рам БЛА використовується рідко, і, як правило, в комбінації з жорстким каркасом або посиленою конструкцією. Також може застосовується в стратегічних цілях; в якості захисту несучих гвинтів (пропелерів), шасі, нерідко виступає в якості демпфера. Поролон може бути різних типів від м'якого до відносно жорсткого. Дерево - якщо в пріоритеті дешевизна конструкції, то дерево - це відмінний варіант, який значно скоротить час складання та виготовлення запасних частин. Деревина досить тверда і є перевіченим часом матеріалом. Важливо щоб при виготовленні рами використовувалася ідеально пряма деревина (без вигинів і деформації).

Пластик - для більшості користувачів доступний тільки у вигляді пластикових листів. Має тенденцію до вигину і як такої не ідеальний. Дуже добре підходить для виготовлення захисного каркаса або шасі. Якщо ви розглядаєте можливість 3D друку, слід враховувати часовий інтервал виготовлення (можливо простіше купити комплект дооснащення UAV frame kit). 3D друк деталей відмінно себе зарекомендувала при створенні невеликих квадрокоптера.

Алюміній - доходить до споживача в різних формах і розмірах. Ви можете використовувати листовий алюміній для виконання корпусу, або екструдований алюміній для реалізації променів дрона. Алюміній не такий легкий, в порівнянні з вуглецевим волокном або G10, зате ціна і довговічність виступають головними перевагами матеріалу. Замість руйнування або тріщин, алюміній має схильність до вигину. Для роботи з матеріалом потрібно тільки пила і дріль.

										<i>Лист</i>
<i>ЗІЗ</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпись</i>	<i>Дата</i>						<i>18</i>

*ВЛ7304.16.00.0000 ПЗ*



Таким чином, на основі проведеного аналізу, деревно-стружкові матеріали відразу ж були відкинуті.

У підсумку, для подальшого порівняння в розрахунки на міцність були обрані: листової дюралюміній Д16Т по ГОСТ 4784-97 1,5 мм;

Вибір же матеріалу для стандартних кріпильних виробів (стійки і гвинти) проводився виключно з міркувань найменшої маси. Тому матеріалом для них був призначений нейлон, як володіє меншою щільністю в порівнянні з металевими матеріалами

### 2.3 Обробка матеріалу

Обробка деталей відбувається переважно на лазерному різачу з ЧПУ (Числове Програмне Управління). На відміну від гравіювального верстата з ЧПУ, лазерний різач здатний вирізати деталі для БЛПА з найменшими 10 похибками в розмірах і з найменшою перевитратою матеріалів. Але це не є можливим виключенням з використання гравіювального ЧПУ верстата з процесу конструювання БЛПА, він може так само служити запасним варіантом в разі відсутності лазерного різача.



Рис 2.3.1 – Приклади вигляду лазерних різачів

Після самої різання відбувається шліфування готових металевих деталей наждачним папером з дрібною зернистістю. Це необхідно для ліквідації невеликих Наплавлений, що утворилися під час лазерного різання і для ліквідації нерівностей металу.

									Лист
ЗІз	Лист	№ докум	Підпись	Дата					19

## Висновки до розділу

У другому розділі було розглянуто конструктивні схеми коптерів та вибрано основну для подальшого розрахунку. Надана першаетапна модель квадрокоптера та було розглянуто матеріали для рами коптера. На основі проведеного аналізу, для розрахунків на міцність був вибран матеріал дюралюміній Д16Т.

										Лист
3113	Лист	№ докум	Підпись	Дата	ВЛ7304.16.00.0000 ПЗ					20

### 3. ЕТАП КОМПОНУВАННЯ КОПТЕРА

#### 3.1 Підбір профілю

##### Технічні характеристики

Характерна особливість – повертання корпусів силових установок у транспортне положення; тип системи керування – автоматична, з попереднім плануванням польоту за допомогою Google maps або іншої; старт/посадка – на шасі, що ховається у польоті

Геометричні параметри	
Польотний час	1,5 год
Дальність передачі	11 км
Точність позиціонування	0,3 м
Максимальна швидкість	90 км / год
Масові параметри	
Максимальна злітна маса	70 кг
Маса цільового навантаження	6 кг

Аеродинамічні характеристики – сукупність аеродинамічних коефіцієнтів, їх похідних та розподілених навантажень від характерних параметрів, що визначають режими польоту, орієнтацію відносно обраної системи координат та загальну конфігурацію ЛА.

Серед якості при горизонтальному польоті на максимальній висоті, заданими в ТЗ. З умови горизонтального польоту знаходжу коефіцієнт підйомної сили  $C_y V_{max}$

$$m_0 g = C_y V_{max} * \rho V_{max}^2 / 2 * S, \text{ звідси}$$

$$C_y V_{max} = 2 m_0 g / S \rho V_{max}^2, \text{ де } 0,095$$

$m_0 = 0,7$  кг – максимальна злітна маса,

$g = 9,7912$  м/с<sup>2</sup> – прискорення вільного падіння на висоті 5 км [15],

$C_{yV_{max}}$  – коефіцієнт підйомної сили,

$\rho = 0,736$  кг/м<sup>3</sup> – густина повітря на висоті 5 км,

$V_{max} = 140$  км/год – максимальна швидкість польоту,

$S = 0,01$  м<sup>2</sup> – площа.

Для забезпечення максимальної якості необхідно підібрати профіль з найменшим коефіцієнтом лобового опору  $C_x$  при  $C_y \approx C_{yV_{max}} = 0,32$ .

За отриманими даними найменшим  $C_x = 0,00497$  при володіє профіль EPPLER 541. Геометричні характеристики профілю наведено на рис. 3.2.

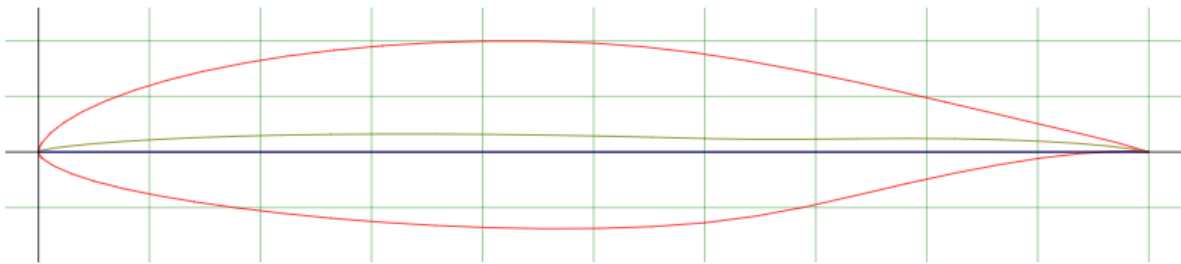


Рис.3.1. Аеродинамічний профіль EPPLER 541

Проводжу подальшу емуляцію продувки профіля за допомогою програми xflr5 при діапазоні кутів атаки  $-5...20^\circ$ , числі Маха – відношенні швидкості польоту до швидкості звуку  $M = V_{max} / a$  ( $h=5000$  м)  $= 59,5 / 319 = 0, 22$  та числі Рейнольдса  $Re = 2292029$ . Число Рейнольдса – комплексне число, що вказує відношення сил інерції до сил в'язкості, залежить від швидкості польоту, геометричного розміру (хорди) та в'язкості середовища, що в свою чергу залежить від висоти польоту.

## Аеродинамічні характеристики профілю EPPLER 541

таблиця 3.1.

A	Cy	Cx	Cm	Cpmin	Xcp
-5	0,15626	-0,82069	-0,06001	-2,61998	-0,13795
-4	0,06201	-0,82158	-0,05968	-1,91846	-0,64948
3	0,034744	-0,82223	0,059926	-1,28152	1,727728
-2	0,126678	-0,82339	-0,05959	-0,77007	0,618267
-1	0,21156	-0,82566	-0,05885	-0,54639	0,447951
0	0,315534	-0,82549	-0,06034	-0,60225	0,370844
1	0,41968	-0,82526	-0,06184	-0,66715	0,331917
2	0,522794	-0,8256	-0,06325	-0,74468	0,308262
3	0,623242	-0,82495	-0,06441	-0,84029	0,292077
4	0,71251	-0,8242	-0,0635	-0,95575	0,278963
5	0,79163	-0,82306	-0,06076	-1,09842	0,267426
6	0,845036	-0,82134	-0,05345	-1,32559	0,254727
7	0,874878	-0,81894	-0,0426	-1,76964	0,241115
8	0,90171	-0,8158	-0,03337	-2,24142	0,229744
9	0,939894	-0,81168	-0,02681	-2,7732	0,221112
10	0,99631	-0,80883	-0,02307	-3,47596	0,215136
11	1,045158	-0,80529	-0,01892	-4,20503	0,209326
12	1,088502	-0,80103	-0,01477	-4,97112	0,204014
13	1,113786	-0,7947	-0,01021	-5,63288	0,198536
14	1,138812	-0,78753	-0,00689	-6,33365	0,194137
15	1,150164	-0,77789	-0,00465	-6,98935	0,190485
16	1,15025	-0,76551	-0,0044	-7,58263	0,188244
17	1,14079	-0,75019	-0,00664	-8,1008	0,187912
18	1,114904	-0,73061	-0,01187	-8,38391	0,189987

Де,  $\alpha$  – кут атаки;  $C_y$  – коефіцієнт підйомної сили;  $C_x$  – коефіцієнт опору;  $C_m$  – коефіцієнт аеродинамічного моменту;  $X_{ср}$  – координата положення центру тиску.

Графіки залежності коефіцієнта підйомної сили  $C_y$ , коефіцієнта лобового опору  $C_x$  та коефіцієнту  $C_m$  від кута атаки  $\alpha$ , поляра  $C_y$  ( $C_x$ ) наведені на рисунках

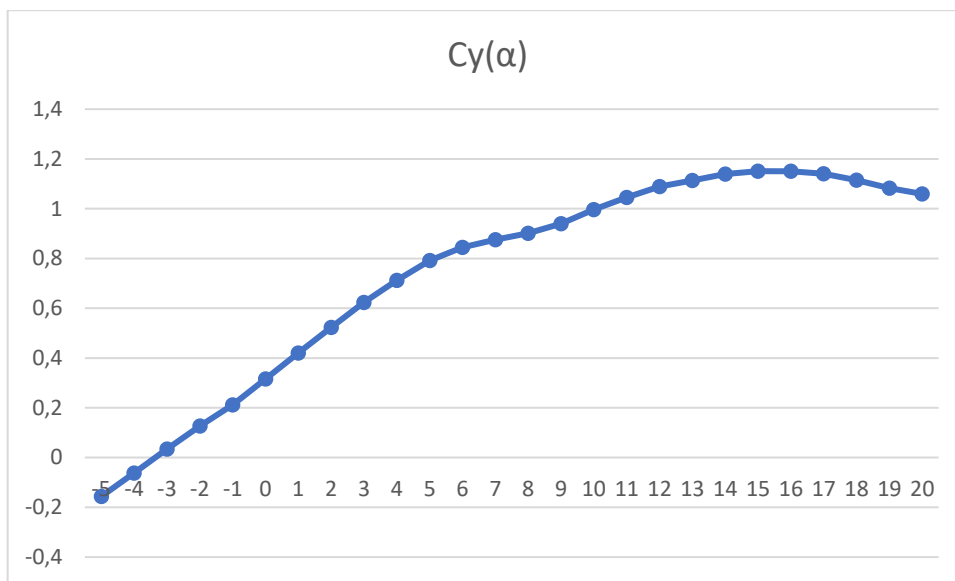


Рис3.1.1 - Графік залежності  $C_y(\alpha)$  профіля EPPLER 541

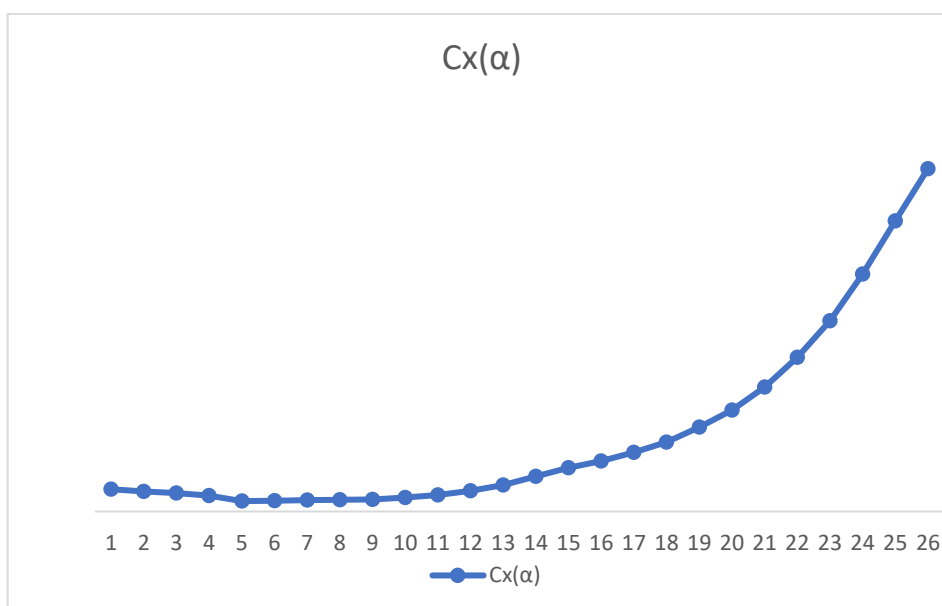


Рис3.1.2 - Графік залежності  $C_x(\alpha)$

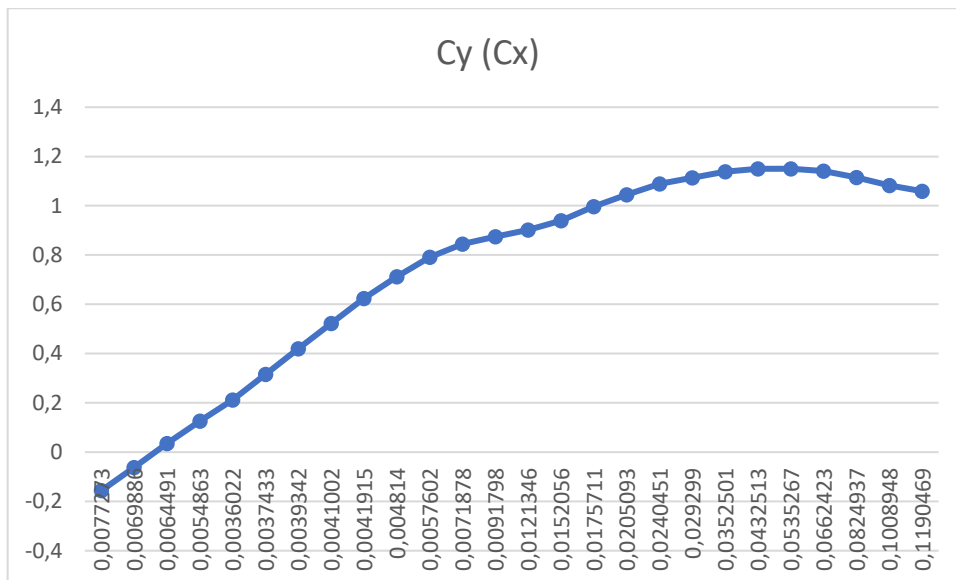


Рис3.1.3 - Поляра  $C_y (C_x)$  профілю EPPLER 541

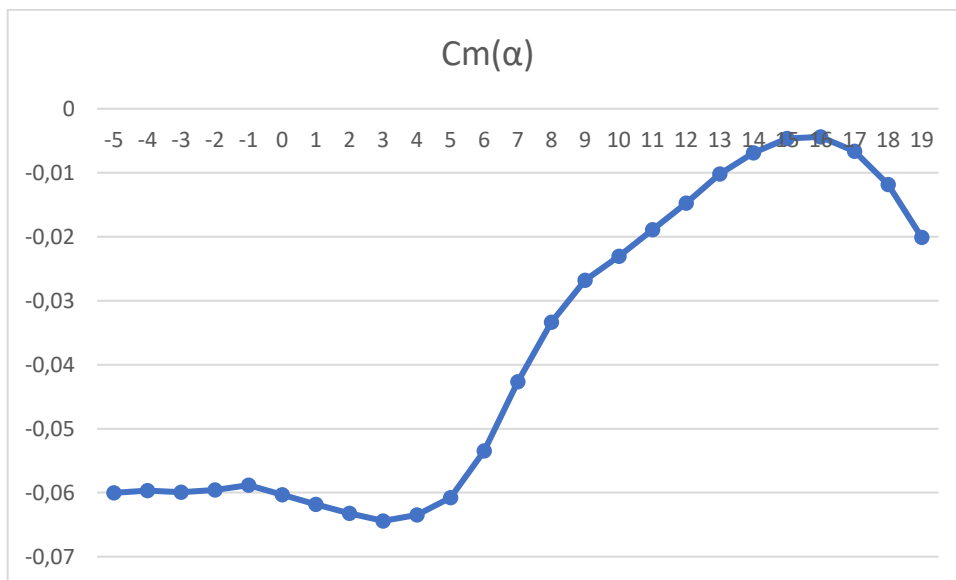


Рис3.1.4 - Графік залежності  $C_m(\alpha)$

Загальний вид дрону наведено на рис 3.1.5

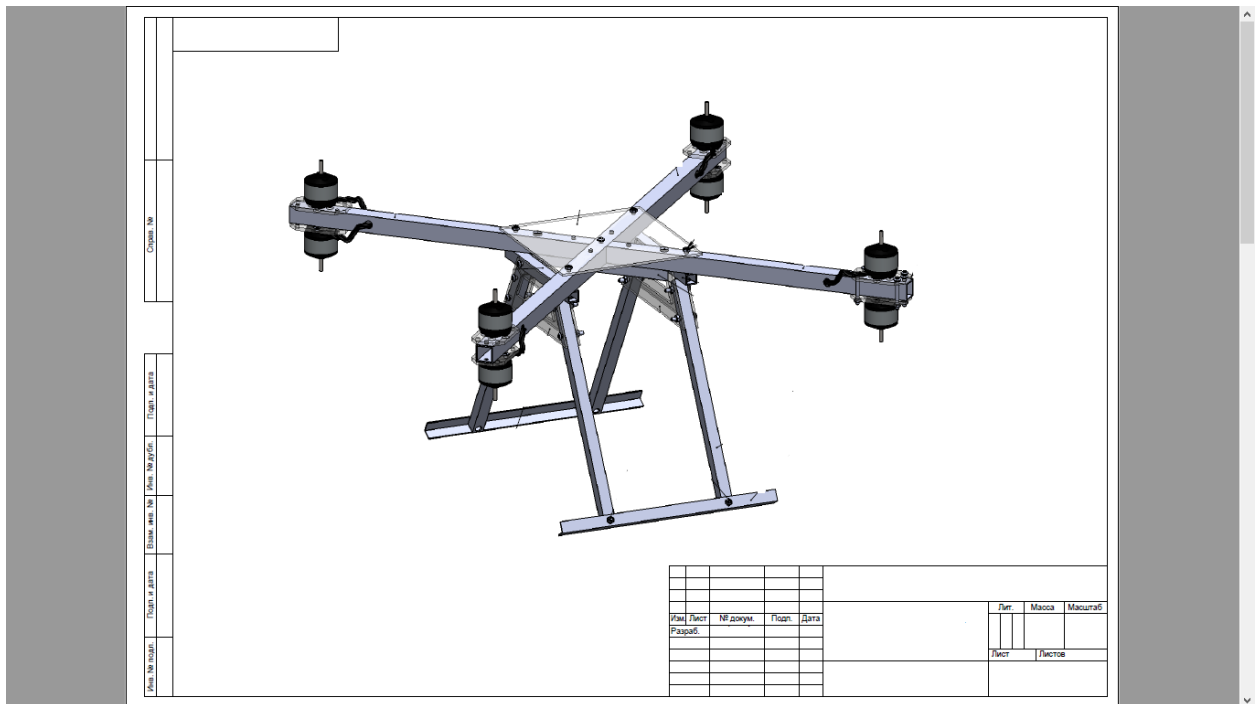


Рис 3.1.5 – загальний вид коптера

### 3.2. вибір двигуна

Двигуни внутрішнього згорання (ДВС) використовуються для створення безпілотного літального апарату здатного на далекі і швидкісні польоти, але через свою вагу і більш трудомісткого обслуговування вони не розраховані для роботи з важкими вантажами і мають більш низьку стабільність.

Мультироторніе БПЛА на електричному двигуні, на відміну від ДВС, мають підвищеною стабільністю, легкістю до регулювання і стабілізації, а так само мають більш низькою вагою. Основним недоліком електродвигуна є дуже обмежена енергоємність, яка погано відбивається на тривалості та швидкості польоту мультиротора. Однак сучасні розробки і нововведення дозволяють практично повністю покрити цю нестачу і навіть перевершити по швидкості і тривалості польоту на ДВС.

Електричні двигуни постійного струму підрозділяються на дві групи:

- колекторні
- безколекторні.

Колектор - це щітково-колекторний вузол відповідає за якісне



електричне з'єднання ланцюгів нерухомою і обертається двигуна.

Він є самим складним в обслуговуванні і ненадійним конструктивним елементом.

Безколекторні двигуни (рис 3.2) - це електричні двигуни, які виконуються у вигляді замкнутої системи з застосуванням датчика, що визначає становище ротора, перетворювача координат (системи управління), а також інвертора (силового напівпровідникового перетворювача). Детальна схема бесколекторного двигуна представлена на зображенні.



Рис 3.2. схема бесколекторного двигуна

З огляду на їх конструкції бесколекторні двигуни ідеально підходять для стабільних і високопродуктивних мультироторов.

Саме їх ми і будемо використовувати в нашому безпілотнику.

### 3.2. Микроэлектронная база коптера

Для управління БПЛА потрібна система управління з передавальної частотою. Це може бути звичайний радіо-пульт, який ви часто можете бачити у багатьох авіамоделістів, або спеціальний радіопередавач, що дозволяє управляти безпілотником з комп'ютера. В нашій роботі буде розглядатися система управління на базі 12-тіканального пульта, що складається з самого пульта, його передавального сегмента і приймача, який встановлюється в мультиротор і дозволяє здійснювати управління ним. За таким принципом працюють

практично всі системи управління БПЛА, передають по радіоканалу. Більш докладні критерії для вибору системи управління будуть розглянуті нижче.

Перейдемо до вибору системи управління.

Його слід проводити з розрахунком умов використання безпілотної: місцевість, радіус польоту, обмеження щодо використання частот; а так само з урахуванням складності управління:

може знадобитися від 2-х і більше каналів. Більш того, варто враховувати

використання відразу двох діапазонів: один - для управління безпілотною, другий - для додаткових систем, наприклад: відеопередачі.

Розберемося по докладніше.

Критерії вибору наступні:

Частота передавальних частот:

Чим вище частота - тим буде більш перешкодостійкий сигнал. Але на практиці іноді обладнання, яке працює на більш низькій частоті в певних умовах показує набагато більше надійний результат. У сучасному авіамоделюванні використовують частоти: 433

МГц, 1.2 ГГц, 2.4ГГц, 5.8 ГГц і ін. Більш низькі частоти в основному використовуються для невисотних польотів і для умов польоту вдалину (а не в висоту). При належному посиленні сигналу за допомогою підсилювачів можна досягти при частоті 1.2 ГГц, зони покриття в кілька десятків кілометрів. Вищі частоти характерні для більш локальних польотів (але в основному в висоту), які так само при належному посиленні можна розширити діапазон можливого польоту. При використанні БПЛА з додатковою частотним каналом (для відео-передачі), важливо використовувати частотний діапазон що не використовується

системою управління. Наприклад: система управління мультіротором буде використовувати для передачі сигналу, що управляє частоту 1.2 ГГц, а

										<i>Лист</i>
<i>ЗІЗ</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпись</i>	<i>Дата</i>						<i>28</i>

передача якісного відеосигналу - 2.4 ГГц. Таким чином, частоти не будуть перекриватися, а політ буде надійним і безпечним..

Все це, може привести до нестабільної роботи будь-якого БПЛА, так що настійно раджу ретельно підбирати місце вперед-назад »(Elevator), один на нахил« вправо-вліво »(Aileron). 2 канали – це більш ніж достатньо для управління БПЛА типу літак, але він розглядатися в даній роботі не буде. При використанні додаткових каналів можна встановити на безпілотник додаткові елементи управління: це можуть бути елементи управління кол-ва витрат, елементи управління додатковими ь ерво-моторами (наприклад, зробити керований підвіс для камери з можливістю повороту камери) і багато іншого. На кожен такий елемент потрібно як мінімум один канал, але при цьому можливості БПЛА різкозбільшуються. Зустрічаються системи управління, з кількістю каналів перевищують 12 каналів, але більшість мультіроторов рідко використовують більше 8-ми, в той час як вартість багатоканальних систем значно вище.

### 3.3 Сенсори

З точки зору апаратного забезпечення, контролер польоту по суті є звичайним програмованим мікроконтролером, тільки зі спеціальними датчиками на борту. Як мінімум, контролер польоту буде включати в себе 3-осьовий гіроскоп, але без автовирівнювання. Не всі контролери польоту оснащуються зазначеними нижче сенсорами, але вони також можуть включати їх комбінацію:

**Акселерометр:** Як випливає з назви, акселерометри вимірюють лінійне прискорення по трьох осях (назвемо їх: X, Y і Z). Зазвичай вимірюється в «G (на рус. А)». Стандартне (нормальне) значення, становить  $g = 9.80665 \text{ м / с}^2$ . Для визначення положення, вихід акселерометра може бути інтегрований двічі, правда через втрати на виході об'єкт може бути підданий дрейфу. Найвизначнішою характеристикою трьохосевих акселерометрів є те, що вони

										Лист
31/з	Лист	№ докум	Підпись	Дата						29

реєструють гравітацію, і як такі, можуть знати, в якому напрямку «спуск». Це відіграє головну роль у забезпеченні стабільності многороторного БЛА. Акселерометр повинен бути встановлений на контролері польоту так, щоб лінійні осі збігалися з основними осями безпілотної авіації.

**Гіроскоп:** гіроскоп вимірює швидкість зміни кутів за трьома кутовими осями (назвемо їх: альфа, бета і гамма). Зазвичай вимірюється в градусах в секунду. Зверніть увагу, що гіроскоп не вимірюються абсолютні кути безпосередньо, але ви можете виконати ітерацію, щоб отримати кут, який, як і у акселерометра, сприяє дрейфу. Вихід реального гіроскопа має тенденцію бути аналоговим або I2C, але в більшості випадків вам не потрібно турбуватися про це, тому що всі дані, що надходять обробляються кодом контролера польоту. Гіроскоп повинен бути встановлений так, щоб його осі обертання збігалися з осями БПЛА.

**Інерційний вимірювальний блок (IMU):** IMU - по суті, це невелика плата, яка містить як акселерометр, так і гіроскоп (зазвичай багатоосьові). Більшість з них включають трьохосевий акселерометр і трьохосевий гіроскоп, інші можуть включати додаткові сенсори, наприклад трьохосевий магнітометр, що забезпечує в цілому 9 осей вимірювання.

**Компас / Магнітометр:** Електронний магнітний компас здатний визначати магнітне поле Землі і використовувати ці дані для визначення напрямку компаса безпілотної авіації (щодо північного магнітного полюса). Цей сенсор майже завжди присутній, якщо система має GPS вхід і доступно від однієї до трьох осей.

**Тиск / Барометр:** Так як атмосферний тиск змінюється в міру віддалення від рівня моря, можна використовувати сенсор тиску, щоб отримати досить точні свідчення висоти БПЛА. Для розрахунку максимально точної висоти, більшість контролерів польоту отримують дані одночасно від сенсора тиску і супутникової системи навігації (GPS). При складанні зверніть увагу, що краще, щоб отвір в корпусі барометра було накрите шматком поролону, це

зменшити негативний вплив вітру на чіп.

**GPS:** Система глобального позиціонування (GPS) (рис3.3) щоб визначити своє конкретне географічне місце розташування, за допомогою сигналів, що посилаються декількома супутниками звертаються по орбіті навколо Землі. Контролер польоту може мати як вбудований GPS модуль, так і підключається за допомогою кабелю. GPS антену не слід плутати з самим GPS модулем, яка може виглядати і як маленький чорний ящик, і як звичайна «Duck» антена. Щоб отримати точні дані місця розташування, модуль GPS повинен приймати дані від декількох супутників, і чим їх більше, тим краще.



Рис 3.3 розположення супутників **GPS**

**Відстань:** Датчики відстані все частіше використовуються на безпілотники, оскільки GPS-координати і датчики тиску не можуть розповісти вам, наскільки далеко ви перебуваєте від землі (пагорба, гори або будівлі), або зіткнетеся ви з об'єктом чи ні.

**Радіокерування (RC):**Управління за допомогою радіозв'язку зазвичай включає в себе RC передавач (рис 3.3.1) / RC transmitter (в безпілотному хобі - радіоапаратура управління / пульт) і RC приймач (RC receiver) . Для взаємодії з БПЛА користувачеві буде потрібно як мінімум чотирьох (і більше)

канальний RC передавач. За замовчуванням перші чотири канали пов'язані з:

- Throttle / Elevation (зліт і зниження)
- Yaw (обертання навколо своєї осі вліво і вправо)
- Pitch (рух вперед і назад)
- Roll (рух вліво і вправо)

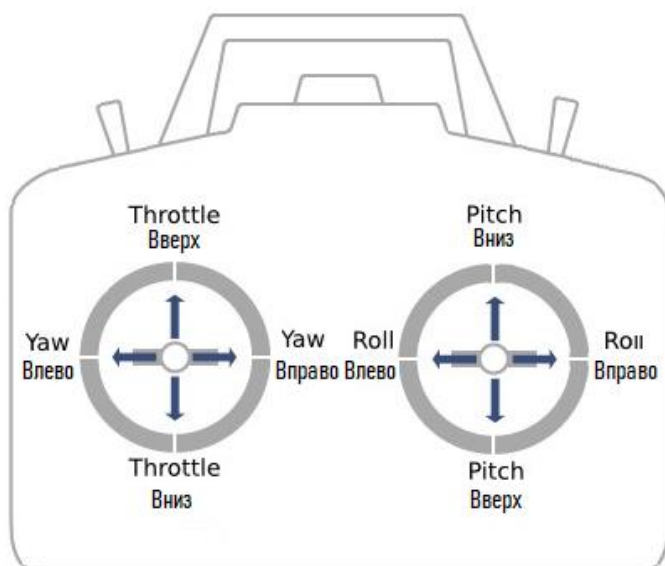


Рис 3.3.1 – приклад виробу керування коптером

Всі інші наявні канали можуть бути задіяні для таких дій як:

Армінг (Arming або Arm) / Дізармінг (Disarming або Disarm) - постановка / зняття з охорони моторів.

Управління підвісом (панорамування вгору / вниз, обертання за годинниковою стрілкою / проти годинникової стрілки, зуммирование)

Зміна режимів польоту (ACRO / ANGLE і т.д.)

Активувати / Задіяти корисне навантаження (парашут, зумер або інший пристрій)

Будь-яке інше застосування

Більшість користувачів (пілотів БПЛА) віддають перевагу саме ручне управління, це ще раз доводить, що пілотування за допомогою апаратури управління по колишньому є вибором номер один.

Сам по собі RC приймач просто передає надходять від RC передавача значення, а значить не може керувати безпілотником. RC приймач повинен бути підключений до контролера польоту, який в свою чергу повинен бути запрограмований для прийому RC сигналів. На ринку дуже мало польотних контролерів, які приймають вхідні радіокоманди від приймача на пряму, а більшість ПК навіть забезпечують харчування приймача від одного з контактних висновків. Додаткові міркування при виборі пульта дистанційного керування включають в себе:

Не всі RC передавачі можуть забезпечити повний діапазон RC сигналів від 500мс до 2500мс; деякі штучно обмежують цей діапазон, так як більшість використовуваних RC призначені для радіокерованих автомобілів, літаків і вертольотів.

Дальність / Макс. повітряний радіус дії (вимірюється в футах або метрах) RC-системи - практично ніколи не надаються виробниками, оскільки на цей параметр впливають безліч факторів, таких як перешкоди, температура, вологість, заряд батареї і інші.

Деякі RC-системи мають приймач, який також має вбудований передавач для передачі даних від датчика (наприклад, GPS-координат), які в наслідку будуть відображатися на РК-дисплеї RC передавача.

### **3.5 Електроживлення коптера.**

Напруга одного осередку LiPo акумулятора складає близько 3,7 і вище, але не більше 4,2 В (в іншому випадку акумулятор стає нестабільним).

Відповідно, чим більше осередків, тим більша напруга. Переважно використовують акумулятори мають від 1ой до 6 осередків, але так само

зустрічаються і розширені батареї мають 12 осередків. Однак можна обійтися простішим шляхом: поєднуючи акумулятори послідовно можна набрати достатньо велике напруження, як це роблять, наприклад, в електровелосипед. Ємність. Записується в ампер-годинах. Це такий струм який до повного розряду може видавати акумулятор протягом однієї години. Наприклад, якщо ємність акумулятора 3А / ч, то значить він може протягом однієї години видавати ток 3А. При струмі 1А його вистачить на 3 години, а при струмі 30А він розрядиться за 6 хвилин. Слід врахувати, що максимальний необхідний струм для мультиротора може досягати без малого 50 - 60А, а іноді і все 100А (при роботі двигунів на повну потужність).

Максимальний розрядний струм. Вказується у скільки максимальний розрядний струм перевищує ємність. Наприклад, значення «30-40С» для акумулятора з ємністю 3А / ч означає, що він на короткий час може видавати ток 90-120А. Природно, при виборі акумулятора необхідно керуватися меншим значенням. В іншому випадку, видається струму може не вистачити на максимальні оберти двигунів.

Вибір акумулятора варто проводити з розрахунком вашої системи і з запасом в 15 - 20% (від ваших розрахунків) по струмовим характеристикам. Характеристика напруги повинна бути стабільною і однаковою.

Розводка харчування не містить особливо жорстких рамок. Її основна суть дуже проста і зрозуміла з шкільного курсу фізики: для подачі однакового напруги варто підключити паралельно всі двигуни мультиротора, а так само польотний контролер, якщо такий є. Це з'єднання буде більш детально розібрано в розділі збірки безпілота. Однак слід уважніше поставитися і до цього пункту. Адже неграмотна компоновка і зв'язок елементів можуть привести до втрати потужності, працездатності і надійності безпілота. Найпростіший варіант: проста пайка проводів у коннектора Li-Po батареї. Даний метод не славиться своєю надійністю, тому ми рекомендує

									Лист
									34
31з	Лист	№ докум	Підпись	Дата	ВЛ7304.16.00.0000 ПЗ				



виробляти розводку на спеціальних платах. Вони полегшують всю компоновку, а так само, монтаж в корпус безпілота, а при необхідності – зниження напруги для додаткового обладнання

										<i>Лист</i>
<i>3113</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	<i>ВЛ7304.16.00.0000 ПЗ</i>					<i>35</i>

### 3.6 Висновок до розділу

Ознакомившись з різними типами польотних контролерів зупинилися на цьому: *Quadrino Nano Flight Controller* .

#### Головний процесор

Використовуваний на борту *ATMEL ATmega2560* (Рис 3.6) є одним з найбільш потужних *Arduino*-сумісних чіпів *ATMEL*. Хоча він має в цілому 100 висновків, включаючи 16 аналогово-цифрових каналів і п'ять портів *SPI*, через його невеликого розміру і передбачуваного використання в якості контролера польоту, на платі присутні тільки деякі з них.

AVR проти PIC: AVR

Процесор: 8-біт

Робоча частота: 16МГц

Програмна пам'ять / Flash: 256Кбайт

SRAM: 8Кбайт

EEPROM: 4 Кбайт

Додаткові контакти вводу / виводу: 3 × *I2C*; 1 × *UART*; 2 × 10-контактних *GPIO*; Серво з 5 × виходами; *OLED* порт

Аналого-цифровий перетворювач: 10-біт

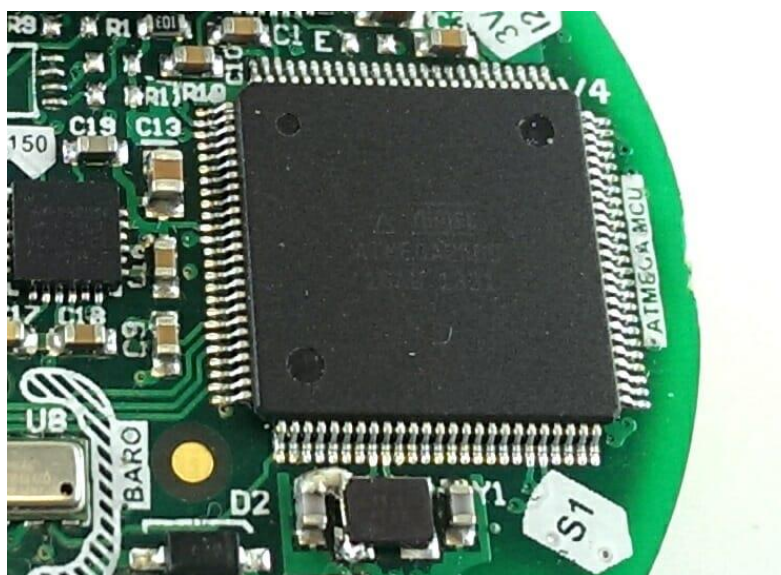


Рис 3.6 – чіп *ATMEL ATmega2560*.

## Сенсори

Сенсори *Quadrino Nano* включає мікросхему MPU9150 IMU (рис 3.6.1), яка включає в себе 3-осьовий гіроскоп, 3-осьовий акселерометр і 3-осьовий магнітометр. Це допомагає зробити плату досить маленькою, не жертвуючи якістю датчика. Барометр MS5611 надає дані про тиск і покритий шматочком піни. Інтегрований *Venus 838FLPx* GPS з зовнішньої GPS антеною (в комплекті).

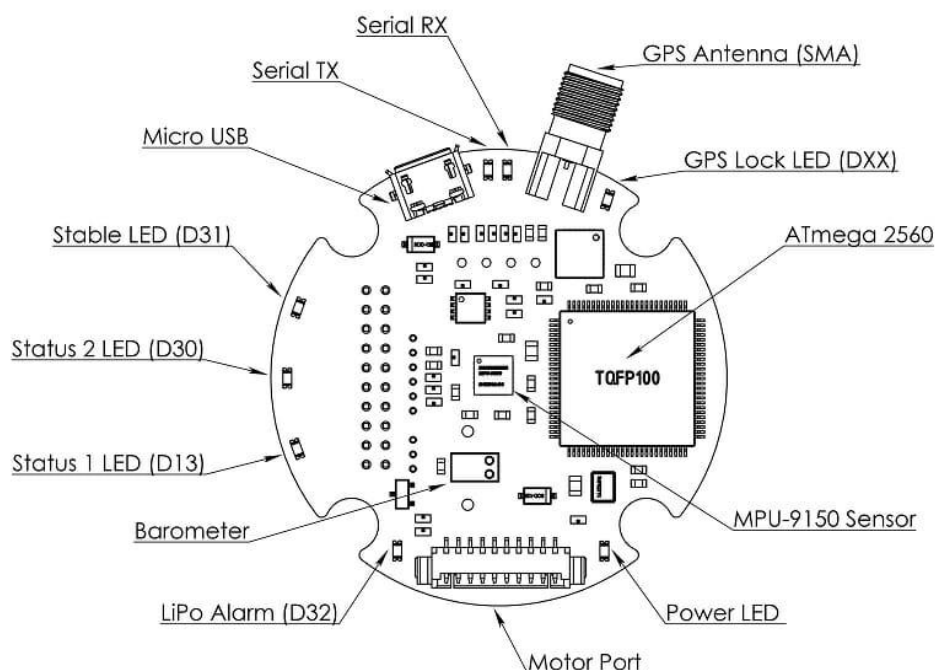


Рис 3.6.1 – мікросхему MPU9150 IMU

*Quadrino Nano* був створений спеціально для використання новітнього програмного забезпечення *MultiWii* (на базі *Arduino*). Замість того, щоб змінювати код *Arduino* безпосередньо, було створено окремий, більш графічне програмне забезпечення.

## 4 ПРОЕКТУВАННЯ РАМИ КОПТЕРА

### 4.1 Розробка конструкції рами

Розробка велася в програмному забезпеченні AutoCAD. . Спочатку були зняті всі геометричні характеристики форм і розмірів використовуваної на борту апаратури, розроблялася геометрія основних посадочних місць для неї і електродвигунів. Потім були обрані елементи кріплення для скріплення аркушів матеріалу між собою і для додання майбутньої конструкції додаткової міцності. При цьому, були вивчені переліки таких елементів за довідниками і обрані установчі шестигранні стійки (ГОСТ 20865-81 і ГОСТ 20862-75) і гвинти (ГОСТ 17473-80).

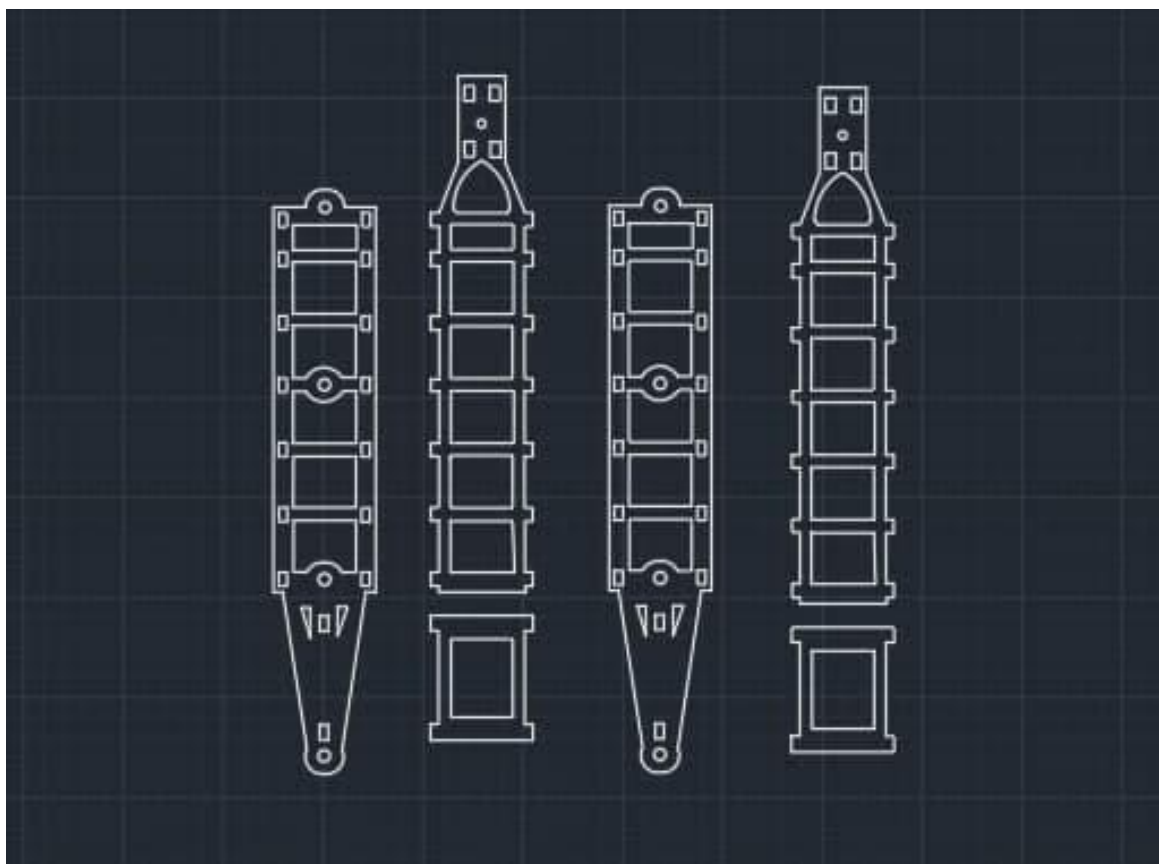


Рис 4.1 - креслення рами, вирізаної на лазерному різачу

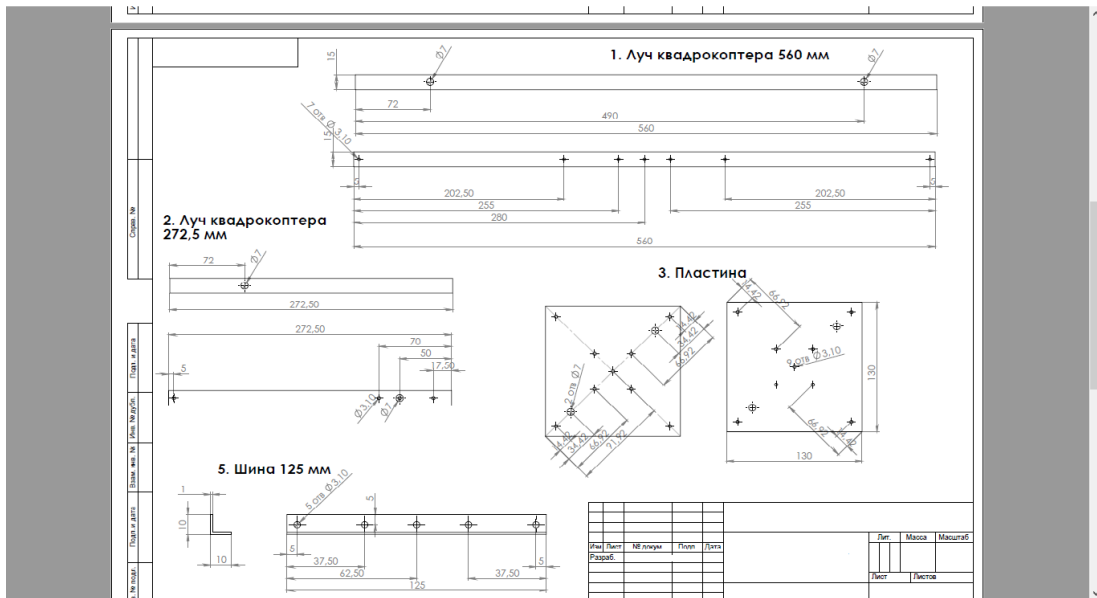


Рис 4.1.1 - креслення коптера

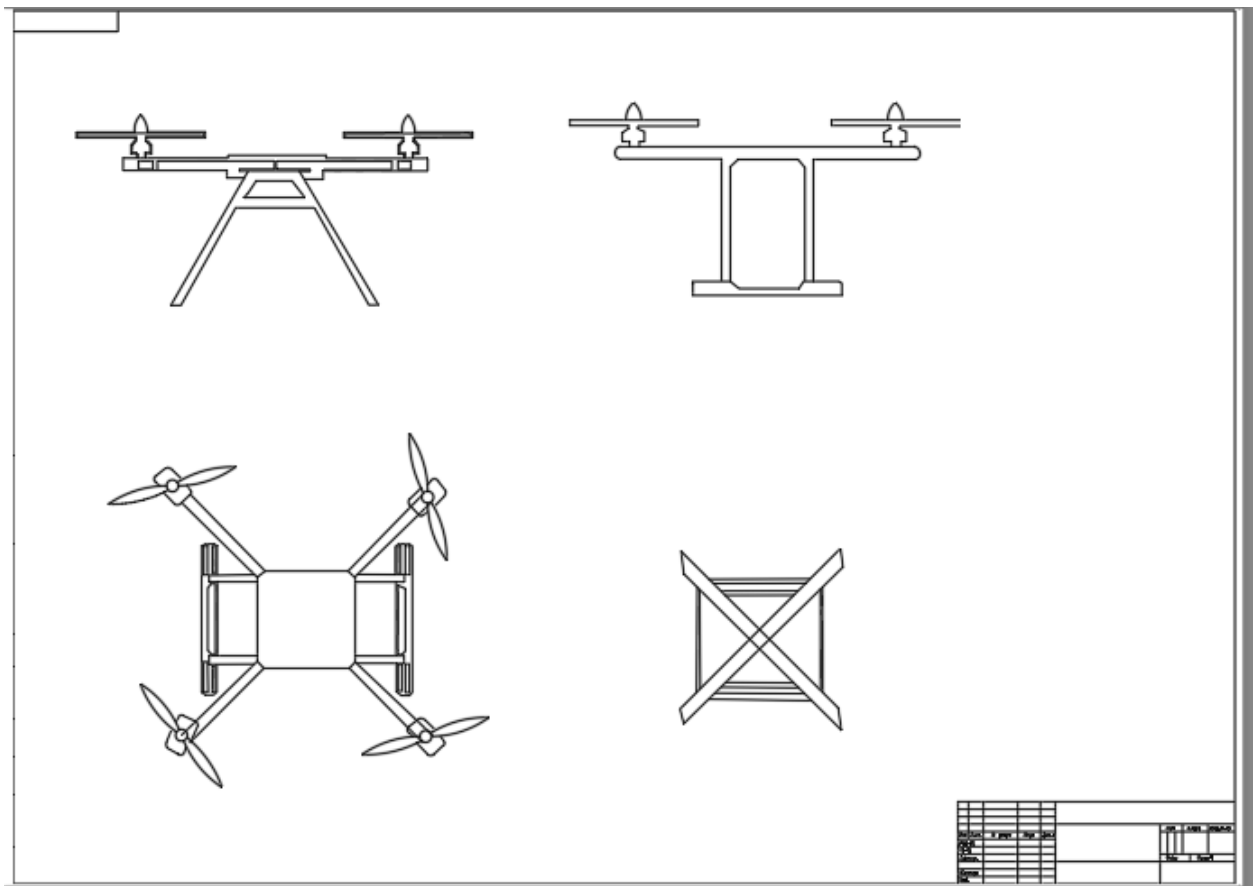


Рис 4.1.2 - креслення коптера

## 4.2. Проведення розрахунку на міцність в середовищі Ansys

Розрахунок на міцність проводився в програмі кінцево-елементного аналізу Ansys (з використанням ANSYS Workbench). При моделюванні описаної раніше ситуації, тривимірний модель конструкції променя рами повинна бути закріплена по площинах розрізу центральної платформи з виключенням всіх подвижностей. Була задана вертикальна сила на осі установки повітряного гвинта і електродвигуна, що дорівнює сумі алгебри максимальної тяги однієї гвинто-моторної групи і сили тяжіння, що діє на неї :

$$F = F_{\text{тяги}} - m_{\text{дв}} * g = m_{\text{тяги}} * g - m_{\text{дв}} * g = 0.6592 * 9.81 - 0.0712 * 9.81 = 6.18 \text{ Н}$$

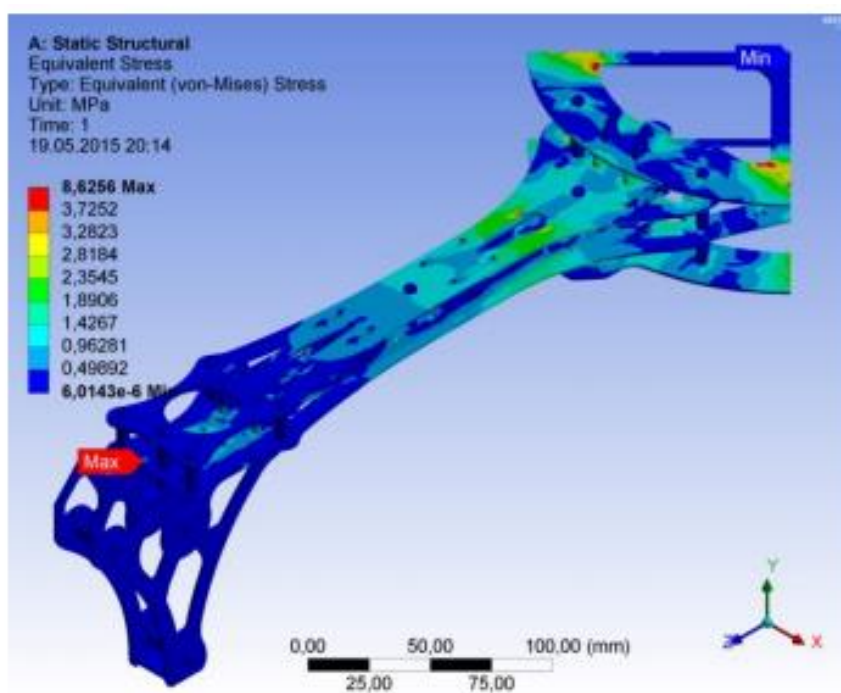


Рис 4.2 Розрахунок еквівалентних напруг

## Висновки до розділу

В розділі 4 мною було :

Було створенно креслення копртера у 2 проекціях

Було створенно креслення деталей для подальшого вирізання на лазерних станках

Бувл проведен аналіз еквівалентних напруг

										Лист
3113	Лист	№ докум	Подпись	Дата	ВЛ7304.16.00.0000 ПЗ					41

## 5. Розробка технології виготовлення

### 5.1. Вибір інструмента і визначення режимів різання

При призначенні елементів режимів різання враховують характер обробки, тип і розміри ріжучого інструменту, матеріал його ріжучої частини, матеріал і стан заготовки, а також тип і стан обладнання.

Вихідними даними служать:

параметри ріжучого інструменту;

марка оброблюваного матеріалу;

глибина різання;

необхідна шорсткість поверхні, одержуваної в результаті різання;

величина подачі на зуб фрези.

#### Параметри режущего інструмента

Параметр	Значення
Діаметр фрези $D$ , мм	1,7 мм
Матеріал фрези	K10
Число зубів фрези $z$	7
Період стійкості фрези $T$	360 хв

Далі необхідно вибрати глибину різання . В даному випадку було вирішено проводити різання в два проходи ( $i = 2$ ), глибина різання на кожному з яких становить  $t = 0,75$  мм. Для обробки шаруватих пластиків зазвичай користуються значеннями величин подачі на зуб в межах  $0,025..0,3$  мм / зуб , однак при подачі  $S_z > 0,25$  мм / зуб збільшується ймовірність появи відколів. Призначено значення близьке до середнього в проміжку, а саме  $S_z = 0,1$  мм / зуб

Таким чином, повна величина подачі на оборот шпинделя становить:



$$S = Sz * z = 0.1 * 5 = 0.5 \text{ мм}$$

$$n = 1000 * v \pi * D = 1000 * 150 \cdot 3,14 * 1,5 = 31831 \approx 32000 \text{ об/мин}$$

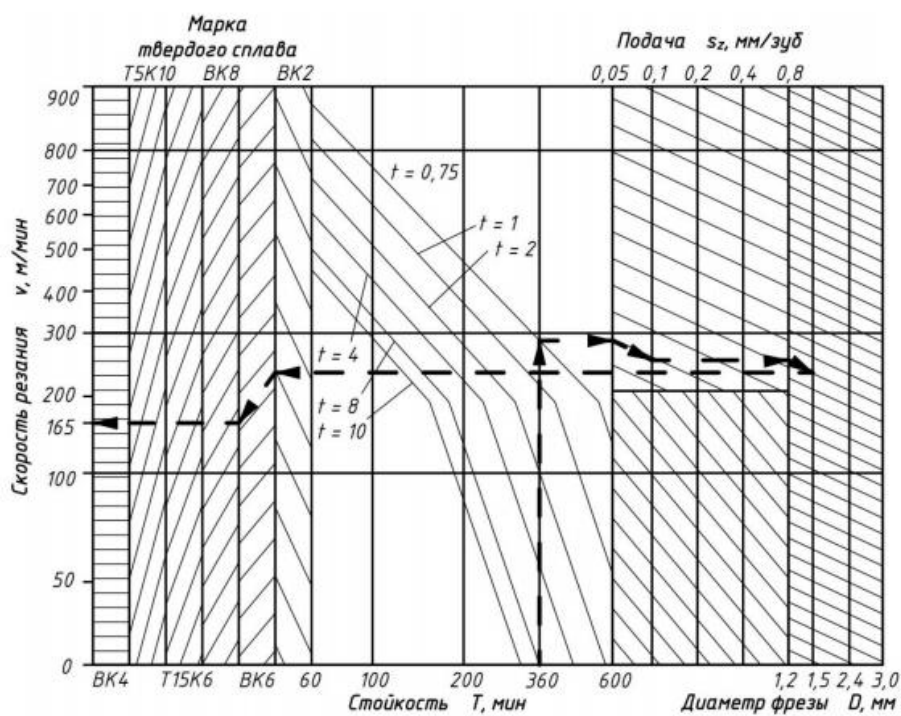


Рис 5.2 Номограма визначення режимів різання при фрезеруванні

## 5.2. Назначение станка, оснастки и схемы базирования

Так як оброблятися буде листовий матеріал великої площі, то необхідно встановити його на рівну поверхню більшого розміру, що забезпечить жорсткість установки у вертикальному напрямку. Для цього був призначений лист ДСП по ГОСТ 10632-89 товщиною 15 мм. Для установки, базування і закріплення заготовки була призначена наступна оснащення:

болт 7002-2468 ГОСТ 13152-67 - 8 штук;

болт 7002-2462 ГОСТ 13152-67 - 11 штук;

гайка 7003-0302 ГОСТ 8918-69 - 19 штук;

прихват 7001-0054 ГОСТ 12937-67 - 8 штук;

пластина 7034-0463 ГОСТ 4743-68 - 8 штук;

упор 7030-1082 ГОСТ 1555-67 - 3 штуки.

На підставі обраних пристосувань і розмірів робочої зони верстата, була призначена схема базування (див. рис. 11) і розміри заготовки (500x300 мм). така схема базування дозволяє легко міняти заготовки після закінчення обробки, а також забезпечує однозначність їхнього економічного становища в системі координат верстата. Як спосіб отримання заготовок з випускаються промисловістю листів було призначено нарізування з допомогою гільйотинних ножиць

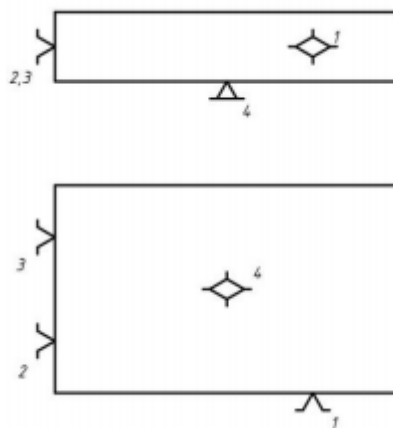


Рис 5.2 Схема базування заготовки

## Висновки до розділу

У розділі 5 описуються рекомендації щодо серійного технологічного виробу даного типу квадрокоптера. Був підібраний інструмент та режим різання та дана сзема базування заготовки під час її вирізання

										Лист
ЗІЗ	Лист	№ докум	Підпись	Дата	ВЛ7304.16.00.0000 ПЗ					45

## Висновок

Під час виконання дипломного проекту було розглянуто п'ять БПЛА-аналогів, їх основні льотно-технічні характеристики та геометричні параметри.

На основі проаналізованих аналогів було визначено питоме навантаження на коптер, за яким було здійснено подальше проектування БПЛА. Для забезпечення максимальної аеродинамічної якості при польоті на висоті  $H=5$  км зі швидкістю 230 км/год було проаналізовано 11 профілі з товщиною 16% та обрано EPPLER 549 з найменшим коефіцієнтом лобового опору при розрахунковому коефіцієнті підйомної сили. Визначено основні геометричні параметри гвинта, що проектується

Для подальшого визначення геометричних параметрів БПЛА, було підібрано гвинтомоторну групу: обрано двигун та гвинт, визначено тягу на основних режимах польоту.

Для спроектованого розвідувального апарату за допомогою спеціального програмного забезпечення було отримано основні аеродинамічні характеристики при польоті на максимальній висоті та швидкості.

									Лист
3113	Лист	№ докум	Підпись	Дата	ВЛ7304.16.00.0000 ПЗ				46

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Перспективы развития и применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами [электронный ресурс] // министерство обороны российской федерации. – 2016. – Режим доступа до ресурсу: [https://function.mil.ru/files/morf/Sbornik\\_dokladov\\_konferencii\\_bla.pdf](https://function.mil.ru/files/morf/Sbornik_dokladov_konferencii_bla.pdf).
2. BR.LAB [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа до ресурсу: <https://brlab.ru/scopes/poisk-i-spasenie/>.
3. ДроноМания онлайн журнал о дронах [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа до ресурсу: <https://dronomania.ru/faq/dron-svoimi-rukami-urok-5-sborka.html>.
4. Разработка конструкции рамы квадрокоптера для удаленного мониторинга объектов [Электронный ресурс] // 105005, Москва, 2-я Бауманская улица, дом 5, кафедра РК9. – 2016. – Режим доступа до ресурсу: <https://naukovedenie.ru/PDF/45TVN616.pdf>.
5. Мультироторный беспилотник [Электронный ресурс] // Москва. – 2014. – Режим доступа до ресурсу: <https://files.mai.ru/pre.mai/ctpo/1.8.pdf>.
6. Роль беспилотников в авиации [Электронный ресурс] // Москва. – 2016. – Режим доступа до ресурсу: <https://aggeek.net/ru-blog/kak-sdelat-dron-dlya-opryskivaniya-posevov-sobstvennymi-rukami>.
7. Дрон Flone [Электронный ресурс] // Киев. – 2016. – Режим доступа до ресурсу: <http://heycraft.ru/instruction.html?id=11>.
8. Гоночный FPV-дрон [Электронный ресурс] // <https://habr.com/ru/>. – 2021. – Режим доступа до ресурсу: <https://habr.com/ru/post/395455/>.