

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
РАДІОТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ПРИКЛАДНОЇ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

До захисту допущено:

В.о.зав. кафедри

_____ Михайло СТЕПАНОВ

«__» _____ 20__ р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньою-професійною програмою «Інтелектуальні технології мікро-
системної радіоелектронної техніки»

спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка

на тему: «Безпілотний авіаційний комплекс. Пульти дистанційного керу-
вання»

Виконав (-ла):

студент (-ка) IV курсу, групи PI-81

Бичков Олексій Дмитрович

Прізвище, ім'я та по батькові



підпис

Керівник:

Ст. викладач. Адаменко Володимир Олексійович

Посада, науковий ступінь, вчене звання, Прізвище, ім'я та по батькові



підпис

Рецензент:

Доцент, к.т.н. Чмельов Вячеслав Орійович

Посада, науковий ступінь, вчене звання, Прізвище, ім'я та по батькові

підпис

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

Студент (-ка)



Київ – 2022 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проєкт	1	
2	A4	PI81.464425.001 ПЗ	Пояснювальна записка	51	
3	A3	PI81.464419.001 Е1	Схема електрична структурна	1	
4	A3	PI81.732188.001	Передня панель пристрою	1	
5	A3	PI81.732188.002	Задня панель пристрою	1	
6	A2	PI81.464419.001 СК	Складальний кресленик пристрою	1	

				PI81.464425.001				
	ПІБ	Підп.	Дата	Відомість дипломного проєкту				
Розробн.	Бичков О. Д.						Лист	Листів
Керівн.	Адаменко В. О.						1	1
Консульт.							КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф.ПРЕ, Гр. PI-81	
Н/контр.								
Зав.каф.								

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

Радіотехнічний факультет

Кафедра прикладної радіоелектроніки

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 172 Телекомунікації та радіотехніка

Освітньо-професійна програма «Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Михайло СТЕПАНОВ

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Бичкову Олексію Дмитровичу

1. Тема проєкту «Безпілотний авіаційний комплекс. Пульт дистанційного керування», керівник проєкту Адаменко Володимир Олексійович, затвержені наказом по університету від «01»червня 2022 р. № 822-с
2. Термін подання студентом проєкту 09 червня 2022 року
3. Вихідні дані до проєкту живлення від акумуляторної батареї з напругою 3,7 В, передача сигналу керування через радіоканал з частотою 2,4 ГГц, час роботи не менше 5 годин, прийом відеосигналу з камери дрону через радіоканал та виведення польотної інформації на екран пульта та відео на периферійний пристрій
4. Зміст пояснювальної записки огляд існуючих рішень, аналіз технічного завдання, розробка схеми електричної структурної, розробка схемотехнічного рішення, обґрунтування конструкційних рішень при розробці корпусу
5. Перелік графічного матеріалу Схема електрична структурна, складальний кресленик пристрою, передня панель корпусу, задня панель корпусу
6. Дата видачі завдання 01 травня 2022 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Узгодження ТЗ	01.06.2022 — 02.06.2022	
2	Огляд існуючих рішень	02.06.2022 — 04.06.2022	
3	Розробка схеми електричної структурної	04.06.2022 — 05.06.2022	
4	Розробка схемотехнічного рішення	05.06.2022 — 08.06.2022	
5	Вибір електронних модулів	08.06.2022 — 10.06.2022	
6	Проектування корпусу пристрою	10.06.2022 — 16.06.2022	
7	Розробка пакету конструкторської документації	16.06.2022 — 18.02.2022	

Студент



Олексій БИЧКОВ

Керівник



Володимир АДАМЕНКО

АНОТАЦІЯ

Дипломний проєкт на тему «Безпілотний авіаційний комплекс. Пульт дистанційного керування» складається з пояснювальної записки обсягом 53 сторінки, що включає 45 ілюстрацій, 2 таблиці, 2 додатки, 4 креслення та 37 посилань.

Метою даного дипломного проєкту є створення пульта дистанційного керування, який матиме ергономічний корпус з мінімалістичними та інтуїтивно зрозумілими органами керування, екран для виводу інформації про стан безпілотного авіаційного комплексу, тримачі для виводу зображення на периферійний пристрій, а також можливість вносити зміни до програмного забезпечення апарату з метою покращення його експлуатаційних характеристик (дизайн та функції інтерфейсу користувача, покращення енергоефективного режиму тощо) та можливість подальшої модифікації.

В дипломному проєкті проведено аналіз та порівняння аналогічних рішень, які вже представлені на ринку, визначено вдалі і невдалі конструкторські рішення. Розроблено структурну електричну схему пристрою, схематичне рішення у вигляді готових покупних модулів, конструкцію корпусу пристрою. Також розроблено комплект конструкторської документації.

Ключові слова: пульт, ПДК, органи керування, безпілотний, БЛА, ергономіка, радіо, радіоканал, радіокерування, корпус.

ANNOTATION

Diploma project on «Unmanned Aerial System. Remote Control» presented 53 pages, which includes 45 illustrations, 2 tables, 2 appendices, 4 drawings and 37 references.

The aim of this diploma project was to create a remote control, which will have an ergonomic form with minimalistic and user-friendly controls, a screen for displaying flight information, holders for an auxiliary video display, as well as the ability to change software of the device in order to improve its operational characteristics (design and functions of the user interface, improvements of power-save mode, etc.) and the possibility of further modifications.

The diploma project consists of analyzes and comparisons of the similar solutions that are already on the market, identifies successful and unsuccessful design solutions. Wiring diagram in form of connections of purchased modules, a design of the housing of the device are developed. A set of design documentation has also been developed.

Key words: remote control, RC, controls, unmanned, UAV, ergonomics, radio, radio channel, radio control, housing, case

Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Безпілотний авіаційний комплекс. Пульт дис-
танційного керування»

Київ — 2022 року

ЗМІСТ

Перелік скорочень.....	2
Вступ.....	3
1 Огляд існуючих рішень	4
2 Аналіз технічного завдання	9
3 Розробка схеми електричної структурної.....	10
4 Розробка схемотехнічного рішення	14
4.1 Обґрунтування вибору електронних модулів	15
4.2 Обґрунтування вибору органів керування	23
5 Обґрунтування конструкторських рішень при розробці корпусу	25
5.1 Опис ергономіки пристрою.....	30
5.2 Обґрунтування розташування органів керування	35
5.3 Опис кріплення частин корпусу та електронних модулів	37
5.4 Обґрунтування вибору матеріалу та методу виробництва корпусу пристрою	41
5.4.1 Обґрунтування вибору матеріалу.....	41
5.4.2 Обґрунтування методу виробництва основних деталей корпусу	43
5.5 Обґрунтування методу виробництва інших деталей корпусу.....	45
Висновки	47
Перелік джерел посилання.....	49
Додаток А. Технічне завдання	49
Додаток Б. Специфікація на пристрій.....	55

					PI81.464425.001 ПЗ			
ЗМ.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	<i>Безпілотний авіаційний комплекс. Пульт дистанційного керування</i>	Літ.	Лист	Листів
<i>Розробив</i>	<i>Бичков</i>						1	
<i>Перевірів</i>	<i>Адаменко</i>				PI-81, РТФ			
<i>Н. Контр.</i>	<i>Адаменко</i>							
<i>Затвер-</i>	<i>Адаменко</i>							

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

- АКБ — акумуляторна батарея;
БАК — безпілотний авіаційний комплекс;
БЛА — безпілотний літальний апарат;
БСЗ — базова станція зв'язку;
ККД — коефіцієнт корисної дії;
КР — конструкторська робота;
ПДК — пульт дистанційного керування;
ТЗ — технічне завдання.

					<i>РІ81.464425.001 ПЗ</i>	Лис
						2
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ВСТУП

У зв'язку з різким зростанням попиту на безпілотні літальні апарати та безпілотні авіаційні комплекси в Україні постала проблема малої кількості вітчизняних рішень на ринку. Це пов'язано з тим, що зарубіжні продукти зазвичай розроблені та виготовлені в Китаї, що негативно позначається на захисті каналу керування безпілотним апаратом, оскільки розробник часто дає можливість перехоплення керування.

Безпілотні літальні апарати використовуються для безпечного спостереження за місцевістю, або для перенесення вантажів.

Основним недоліком сучасних рішень є висока ціна, що не дозволяє забезпечити їх у необхідній кількості. Тому основною задачею конструювання у даній роботі є зменшення вартості пристрою, при збереженні мінімально необхідних параметрів. Також необхідно використовувати найбільш розповсюджені та взаємозамінні компоненти для виключення варіанту залежності від конкретного постачальника.

Метою проектування пульта керування є досягнення максимальної зручності при тривалому використанні. Так як пульт завжди знаходиться в руках користувача, він має бути естетично привабливим, ергономічним та мати інтуїтивно зрозумілі органи керування.

					<i>P181.464425.001 ПЗ</i>	Лис
						3
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

Для забезпечення ергономічності можна розглянути конструкційні рішення, які були прийняті при розробці аналогічних пристроїв, що представлені на ринку на даний момент.

Портативні ігрові консолі можуть послужити гарним прикладом дизайнерських рішень. Однією з останніх та найбільш технологічних є «*Steam Deck*» (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 — Форма портативної консолі «*Steam Deck*» [1]

Дана консоль розроблена для тривалих ігрових сесій та має органи керування, які завжди знаходяться «під рукою». Задня сторона пристрою задумана так, щоб його було комфортно тримати незалежно від розміру рук [2].

Основною конструкційною особливістю можна назвати розташування органів керування відносно дисплею. Оскільки він є досить габаритним, для забезпечення компактності, всі органи керування розташовані з боків від дисплею. Це також попереджає випадки, коли руки можуть перекривати частину дисплею.

Пульт керування «*DJI RC Pro*» є гарним прикладом сучасного пульта дистанційного керування безпілотним літальним апаратом (рис. 1.2).

					РІ81.464425.001 ПЗ	Лис
						4
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.2 — Пульт керування «DJI RC Pro» [3]

Пульты керування безпілотними літальними апаратами (БЛА), на відміну від ігрової консолі мають набагато менше кнопок керування та інших органів вводу інформації. У цього пульта багато органів керування перенесено на програмний рівень за рахунок наявності сенсорного екрану. Внаслідок чого він має великий розмір, що призводить до зміщення органів керування над дисплеєм для забезпечення компактності.

Заглиблення у виступаючій задній частині помітно менші, ніж у «Steam Deck». Дане конструкторське рішення обумовлено тим, що при керуванні БЛА можуть використовуватись різні варіанти хватів пульта для забезпечення точності маніпуляцій над елементами керування, в той час, як на портативних ігрових консолях не передбачається зміна хвату.

Варто відзначити розташування акумуляторів, яке зображено на рисунку 1.3.



Рисунок 1.3 — Розташування АКБ в корпусі DJI RC Pro [3]

					P181.464425.001 ПЗ	Лис
						5
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Таке конструкторське рішення дає змогу забезпечити гарний баланс розподілення ваги пульта в руках, адже найважча частина знаходиться ближче до основи зап'ястя, що зменшує момент сили. Також таке рішення дозволяє використовувати розповсюджені формати акумуляторів (наприклад, 18650 або 21700).

Варто звернути увагу на конструкції пультів, які мають можливість підключення до периферійних пристроїв для виводу відеосигналу з БЛА. Прикладом можуть слугувати інші моделі пультів від *DJI*. Одним з них є ПДК для *DJI Mavic*, вигляд якого представлено на рисунку 1.4.



Рисунок 1.4 — Пульт керування *DJI Mavic* [4]

Конструкція тримачів дозволяє надійно фіксувати периферійні пристрої різних розмірів, що є важливим параметром, адже сучасні монітори, смартфони та планшети мають різноманітні розміри та їх співвідношення. Це може обмежити їх використання з ПДК БЛА, якщо конструкція тримачів буде пристосована лише для конкретних розмірів.

Варто відзначити досить низьку надійність такого кріплення, адже вона залежить від тяги, на якій розташовані дві осі обертання інших частин конструкції. Вона повинна витримувати досить великі навантаження на вигин, адже пульт тримається під кутом до горизонту для зручного перегляду відео з периферійного пристрою. Так як матеріалом цієї частини вибрано пластик

					<i>P181.464425.001 ПЗ</i>	<i>Лис</i>
						6
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

для зменшення ваги остаточного пристрою, тривалі навантаження на вигин можуть викликати ефект втоми матеріалу, що призведе до більш швидкого руйнування цієї критично важливої частини конструкції тримача.

Інший вид конструкції тримачів для периферійних пристроїв виводу відеосигналу використовується у моделі пульта керування для *DJI Mavic 3*, який зображено на рисунку 1.5.



Рисунок 1.5 — Пульт керування *DJI Mavic 3* [5]

Такий варіант конструкції тримача не має поворотних осей, а закріплення периферійного пристрою відбувається за рахунок його затискання між корпусом пристрою та верхньою частиною тримача. Варто відзначити більшу надійність такого методу порівняно з ПДК *DJI Mavic*, адже тут використовуються металічні стержні. Тривалість експлуатації такого виду конструкції залежить від надійності кріплення стержнів всередині корпусу, що є більш простою задачею порівняно з забезпеченням надійності вищеописаної пластикової деталі, яка має змінювати своє положення по двом координатам, витримувати навантаження на вигин і знаходитись ззовні корпусу.

Більш бюджетний сегмент пультів дистанційного керування БЛА представляє на ринку компанія «*Flysky*». Деякі моделі з їх асортименту зображені на рисунку 1.6.

					PI81.464425.001 ПЗ	Лис
						7
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		



а)



б)



в)

Рисунок 1.6 — Форма пультів керування БЛА «*Flysky*» I6 (а) [6], «*Flysky*» I6x (б) [7] та «*Flysky*» CT6B (в) [8]

Вони мають схожу форму — складна будова лицьової частини корпусу, дешеві матеріали, «іграшковий» стиль. Дана частина «перевантажена» органами керування, наклейками та складною формою елементів корпусу. Її спрощення дозволяє зекономити на виробництві, або використати якісніші матеріали.

Живляться вони від чотирьох «AA» елементів живлення. Це є невдалим конструкторським рішенням, адже такі елементи живлення мають низку недоліків у порівнянні з літій-іонними. Останні можуть витримати більше циклів заряд-розряд, мають більшу напругу, довше тримають заряд та при розряджанні повільніше змінюють свою напругу [9]. Також літій-іонні джерела живлення мають приблизно в два рази більшу енергетичну щільність [10].

					PI81.464425.001 ПЗ	Лис
						8
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

2 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

Після проведення аналізу технічного завдання (ТЗ), представленого в додатку А, визначено наступні пункти, які необхідно реалізувати при розробці даного пристрою:

- Корпус пристрою повинен мати ергономічну форму і привабливий зовнішній вигляд;
- Елементи керування БЛА повинні бути пристосованими до використання різними категоріями користувачів;
- Забезпечити можливість керування гіростабілізованою платформою камери БЛА;
- Передача керуючого сигналу на БЛА повинна відбуватись через радіоканал з робочою частотою 2,4 ГГц на дистанцію до 10 км;
- Можливість отримувати відеосигнал на частоті 1,2 ГГц та на максимальній відстані до 20 км;
- Оброблювати отриманий відеосигнал та записувати його на периферійний носій інформації;
- Пристрій має бути автономним та живитись від АКБ;
- Час роботи від вбудованої АКБ повинен бути не меншим ніж 5 год;
- Необхідно використовувати розповсюджені види роз'ємів, з якими взаємодіє користувач, наприклад *USB Type-C* та *microSD*.

					P181.464425.001 ПЗ	Лис
						9
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

3 РОЗРОБКА СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СТРУКТУРНОЇ

Безпілотний авіаційний комплекс (БАК), у складі якого знаходиться даний пульт дистанційного керування (ПДК) складається з наступних пристроїв:

- 1) Безпілотний літальний апарат;
- 2) Пульт дистанційного керування;
- 3) Базова станція зв'язку для подовження радіоканалу керування та додаткового позиціонування при посадці БЛА.

Структурна схема безпілотного авіаційного комплексу (БАК) зображена на рисунку 3.1.



Рисунок 3.1 — Структурна схема БАК

У результаті виконання аналізу технічного завдання розроблено схему електричну структурну. Дана схема дозволяє зрозуміти з яких саме блоків повинен складатись пульт дистанційного керування і які функціональні обов'язки мають ці блоки.

Розроблена структурна схема зображена на рисунку 3.2.

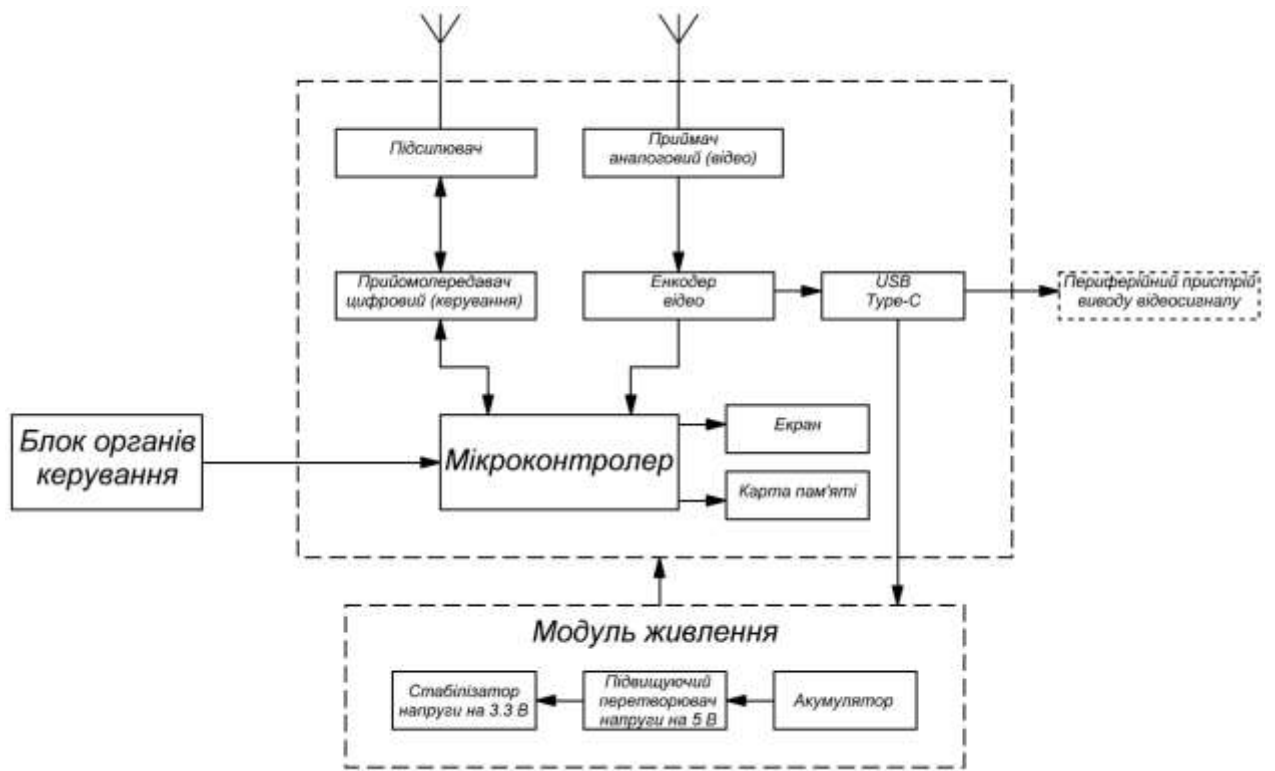


Рисунок 3.2 — Структурна схема пристрою

Таким чином пульт дистанційного керування складається з наступних структурних блоків:

1) Блок органів керування — даний блок являє собою набір кнопок та аналогових маніпуляторів на основі потенціометрів. Для реалізації необхідного функціоналу пристрою потрібні елементи керування з наступними призначеннями:

- Кнопка вмикання пульта дистанційного керування;
- Кнопка активації та деактивації дрону;
- Кнопка автоматичного зльоту та посадки;
- Кнопка запису відео;
- Кнопка зйомки фото;
- 2 колеса керування кутами повороту та нахилу гіростабілізованої платформи відеокамери БЛА;
- 2 додаткові програмовані кнопки у верхній торцевій частині корпусу, для налаштування спеціальних функцій;
- 2 маніпулятори керування БЛА (лівий маніпулятор — керування газом та рисканням, правий маніпулятор — керування тангажем та креном).

					РІ81.464425.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		11

2) Обчислювальний блок на основі мікроконтролеру — даний блок призначений для збору та обробки інформації від органів керування та формування і передачі сигналу керування БЛА до передавача, а також для виведення необхідної інформації про режим роботи пульта дистанційного керування, рівень заряду його акумуляторів та польотні дані з БЛА на головному екрані ПДК;

3) Модуль живлення ПДК, що складається з наступних підблоків:

— Акумуляторна батарея (АКБ), що складається з двох паралельно з'єднаних акумуляторів для збільшення кінцевої ємності АКБ та рівномірного розподілу ваги модулів ПДК всередині його корпусу;

— Підвищуючий перетворювач напруги на 5 В, оскільки його використання дозволить працювати пристрою навіть при зниженні напруги акумуляторів нижче мінімальної напруги живлення електронних компонентів модулів ПДК, а також це потрібно для живлення радіомодуля відеоприймача з робочою частотою 1,2 ГГц та енкодера відеосигналу;

— Стабілізатор напруги на 3,3 В для живлення обчислювального модуля та радіомодуля керування БЛА;

4) Прийомопередавач керування безпілотним літальним апаратом — даний блок повинен бути розрахований на робочу частоту 2,4 ГГц згідно з вимогами технічного завдання на безпілотний авіаційний комплекс. Даний радіомодуль повинен забезпечувати надійний зв'язок на відстані до 10 км прямої видимості;

5) Відеоприймач — блок розрахований на робочу частоту 1,2 ГГц, відповідно до вимог технічного завдання. Діапазон частот в області 1,2 ГГц обраний, оскільки дальність стійкого зв'язку при використанні навіть малопотужних радіомодулів може сягати десятків кілометрів прямої видимості;

6) Енкодер відео — даний блок необхідний для перетворення аналогового відеосигналу, що надходить з приймача у цифровий відеопотік для запису на карту пам'яті, а також для виводу на периферійний пристрій виведення зображення;

					<i>РІ81.464425.001 ПЗ</i>	Лис
						12
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

7) Карта пам'яті необхідна для зберігання відео та фото записаного під час польоту. Це є важливим елементом комплексу, оскільки при втраті зв'язку з БЛА по відео можна визначити приблизне місцезнаходження БЛА у випадку його падіння або автоматичної посадки внаслідок розряду АКБ нижче критичного рівня;

8) Екран — цей блок призначений для виводу польотної інформації та навігації по меню налаштувань пульта дистанційного керування;

9) *USB Type-C* роз'єм — через даний роз'єм виконується заряджання акумуляторів ПДК та передавання цифрового відеопотоку на периферійний пристрій виводу зображення (невеликий монітор, телефон, планшет тощо).

Так як ПДК є портативним пристроєм, то його живлення повинно відбуватись від акумуляторів. Для забезпечення необхідних для роботи електронних модулів параметрів напруги та струму, використовуються модулі підвищуючого перетворювача та стабілізатора напруги.

					<i>P181.464425.001 ПЗ</i>	<i>Лис</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		13

4 РОЗРОБКА СХЕМОТЕХНІЧНОГО РІШЕННЯ

При розробці даного пристрою прийнято рішення про використання готових електронних модулів для реалізації основної задачі ПДК — передача сигналів керування на БЛА та отримання відеосигналу з нього. Такий вибір зроблено з метою спрощення конструкції пристрою, збільшення його ремонтпридатності та зменшення часу і коштів необхідних для процесу виробництва.

Даний пристрій має досить складну схемотехнічну будову через необхідність одночасно контролювати аналогові органи керування, процес отримання відеосигналу та його обробки і передачу керуючого сигналу на БЛА. Використання готових електронних модулів дозволяє спростити процес виробництва, що досягається завдяки тому, що немає необхідності шукати спеціалізовані компанії, які змогли б виробити такий складний друкований вузол. Також це рішення дає можливість пришвидшити можливість отримати готовий виріб.

Ремонтпридатність пристрою, полягає в тому, що при виході ПДК з ладу, майстру немає необхідності шукати несправний елемент схеми. Він може замінити модулі один за одним та перевірити працездатність пристрою, визначивши таким чином який саме модуль вийшов з ладу і потребує заміни. При проектуванні друкованої плати можна передбачати її ремонтпридатність, додаючи спеціальні місця на провідниках, які не покриваються паяльною маскою та які можна використовувати для визначення наявності необхідних напруг на них. Висування таких додаткових вимог до друкованої плати ще більше ускладнює процес її розробки, а отже і збільшує необхідний для цього час.

					<i>P181.464425.001 ПЗ</i>	<i>Лис</i>
						14
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

4.1 Обґрунтування вибору електронних модулів

Основним обчислювальним модулем пристрою буде слугувати мікроконтролер *STM32F401CCU6* на базі мікропроцесору *ARM Cortex-M4*. Його вигляд показано на рисунку 4.1.



Рисунок 4.1 — Вигляд *STM32F401CCU6* [11]

Сімейство мікроконтролерів *Cortex* представлено великою кількістю моделей. Мікропроцесори підгрупи *M* відрізняються низьким споживанням енергії та застосовуються в енергозалежних системах. Так як розроблюваний пристрій є портативним і живиться від АКБ, то споживання енергії є дуже важливим параметром вибраних електронних модулів. Зниження споживання електроенергії досягається шляхом наявності вбудованого модуля для роботи з числами з плаваючою крапкою. У даному пристрої використовується саме мікропроцесор моделі *Cortex-M4* через те, що він призначений для високоефективної та зручної обробки різних видів сигналів при збереженні низької ціни [12]. Модуль працює на частоті 84 МГц, має 64 кб оперативної пам'яті та 256 кб флеш-пам'яті. Ці параметри цілком задовольняють вимогам, які висунуті до мікроконтролеру при розробці даного пристрою.

Задачею мікроконтролера є реєстрація натискань кнопок керування та положення аналогових маніпуляторів, а також контроль та вивід на екранний модуль інформації про стан БАК. Напруга живлення мікроконтролеру становить від 1,7 В до 3,6 В.

Кодування відео відбувається за допомогою модулю *Sensoray Model 2253* (рис. 4.2).

					<i>PI81.464425.001 ПЗ</i>	Лис
						15
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 4.2 — Вигляд *Sensoray Model 2253* [13]

Цей модуль отримує на вхід аналогове нестиснуте відео з модуля приймача відео. На виході маємо цифрове нестиснуте відео, яке транслюється на периферійний пристрій, який підключається через інтерфейс *USB Type-C*. З іншого виходу модуля вже стиснуте цифрове відео записується на карту пам'яті формату *microSD*. Також даний модуль дає змогу накладати на відео графічний інтерфейс, який може виводити додаткову інформацію в реальному часі. Для живлення потребує напруги 5 В.

Для виводу інформації про стан БАК обраний модуль *ILI9341* з 2,8-дюймовим *TFT* екраном без резистивної сенсорної панелі. Його вигляд показаний на рисунку 4.3.



Рисунок 4.3 — Вигляд *ILI9341* [14]

Відсутність сенсорного вводу інформації обумовлена тим, що екран має досить глибоку посадку в корпусі, що ускладнює зручний доступ до нього. Оскільки використання сенсорного вводу інформації не є не обхідним, то це дозволяє використовувати більш дешеві модулі екранів.

Даний модуль необхідний для виведення інформації про стан БАК, яку неможливо вивести через відеосигнал, або вона там недоречна. Наприклад, це може бути стан заряду АКБ БЛА та самого ПДК, частоти, які зараз вико-

					P181.464425.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		16

ристовуються для передачі сигналу керування, відображення меню для налаштування параметрів запису та виводу відео тощо.

Підключення до мікроконтролера відбувається через розповсюджений та досить швидкий інтерфейс *SPI*. Даний модуль оснащений власним роз'ємом для карт пам'яті формату *SD*, що дозволить зекономити пам'ять мікроконтролеру, завантаживши необхідні графічні дані або елементи інтерфейсу користувача на цю карту. Живиться напругою від 3,3 В до 5 В.

Для передавання сигналу керування використовується модуль *EBYTE nRF24L01P* (рис. 4.4).



Рисунок 4.4 — Вигляд *EBYTE nRF24L01P* [15]

Цей модуль забезпечує передачу на необхідній частоті в 2,4 ГГц на відстань до 3 км. Також він оснащений розповсюдженим *U.FL* роз'ємом, що спрощує підключення антени.

Напруга живлення модуля становить від 2,2 В до 3,5 В постійного струму, але при напрузі вище 3,3 В модуль має найбільшу ефективність роботи.

Так як обраний модуль не забезпечує необхідної дальності передавання сигналу, то в корпусі передбачено вихід під зовнішній підсилювач з антеною, який підключається через *SMA* роз'єм, який зображено на рисунку 4.5.



Рисунок 4.5 — Вигляд обраного *SMA* роз'єму [16]

					<i>PI81.464425.001 ПЗ</i>	Лис
						17
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Даний роз'єм є ідеальним вибором, адже він має можливість зручно встановлюватись в корпус завдяки гайці, яка затягується зсередини та забезпечує надійне кріплення роз'єму. Затискання гайкою зсередини пристрою, а не ззовні, виключає можливість розкрутити роз'єм користувачу і пошкодити внутрішню будову ПДК. Резинове ущільнювальне кільце забезпечує герметичність отвору для роз'єму, що є дуже важливим, оскільки пристрій використовується здебільшого на відкритому повітрі. Основним шляхом попадання вологи до корпусу в даному середовищі буде в першу чергу отвори на верхній частині корпусу.

Для запису відео на карту пам'яті *microSD* використовується модуль *RunCam Mini FPV DVR*. Його вигляд показаний на рисунку 4.6.



Рисунок 4.6 — Вигляд *RunCam Mini FPV DVR* [17]

Модуль має окремі виводи для вхідного та вихідного відеосигналу, що спрощує підключення та підвищує його надійність. Модуль починає вести запис одразу після підключення живлення, що можна контролювати за допомогою мікроконтролеру. Запис відбувається в окремі файли. Кожен такий файл містить відеозапис довжиною 5 хв [18]. Живлення модуля відбувається напругою від 3,3 В до 5 В.

Для приймання відеосигналу використовується модуль, який зображено на рисунку 4.7.

					<i>P181.464425.001 ПЗ</i>	Лис
						18
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 4.7 — Вигляд модуля приймача відео [19]

Робоча частота даного модулю становить 1,2 ГГц, є можливість роботи на восьми каналах зв'язку. Для живлення потребує напруги 5 В.

Як вже було сказано в розділі 1, літій-іонні елементи живлення мають кращі параметри за елементи формату «AA». Тому у даному пристрої зроблено вибір на користь літій-іонних АКБ.

Одним з найрозповсюдженіших форматів літій-іонних елементів живлення є 18650. Гарним представником цього виду акумуляторів є компанія *Liitokala* і їх модель *NCR18650B*, яка використовується у розроблюваному пристрої. Зображення даної АКБ представлено на рисунку 4.8.



Рисунок 4.8 — Вигляд *Liitokala NCR18650B* [20]

Особливістю акумуляторів цієї марки є хімічний склад літій-іонного елемента, який дозволяє запобігти загорянню акумулятора навіть при механічному пошкодженні. Також дана модель елемента живлення оснащена платою захисту від перезаряду та перерозряду, що важливо для літій-іонних акумуляторів.

Номінальна ємність одного елемента складає 3350 мАг. При використанні двох паралельно з'єднаних елементів, ємність батареї буде дорівнювати 6700 мАг. Приблизні максимальні струми споживання елементів схеми представлено в таблиці 4.1

					<i>P181.464425.001 ПЗ</i>	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		19

Таблиця 4.1 — Максимальні струми споживання електронних модулів

Назва модуля	Споживання, мА
Мікроконтролер	190
Екран	80
Енкодер відео	300
Передавач керування	30
Приймач відео	200
Модуль карти пам'яті	250

Таким чином, максимально можливе споживання всіх електронних модулів дорівнює приблизно 1 А, що означає, що навіть при постійному максимальному споживанні струму схемою, вибрані акумулятори дозволять користуватись пультом приблизно 6,7 год. Якщо брати до уваги, що зазвичай струм споживання буде нижчим, завдяки вбудованим в мікроконтролер методам економії енергії та можливості вимикати непотрібні модулі, то час автономної роботи пристрою цілком задовольняє вимогам ТЗ (5 год).

Для забезпечення зручності зарядки АКБ використовується модуль роз'єму *USB Type-C*, який зображено на рисунку 4.9.



Рисунок 4.9 — Вигляд модулю *USB Type-C* [21]

Вибір готового модулю замість окремого роз'єму обґрунтовано декількома факторами. По-перше, спрощується метод кріплення. Для фіксації роз'єму без плати необхідно використовувати або додаткові деталі, які будуть притискати його до стінки корпусу, або конструювати складну систему засувки. Кріплення за допомогою притискання додатковими деталями обмежує можливості розташування роз'єму, адже в такому випадку його необхідно розміщувати тільки біля кута корпусу. Так як корпус повинен мати ерго-

					P181.464425.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		20

номічну форму, то використання у дизайні гострих кутів не рекомендовано. Таким чином, можна сказати, що кріплення роз'єму без плати є досить складною конструктивною задачею, яка невиправдано ускладнює задачу розробки корпусу. В свою чергу, готовий модуль кріпити легше, адже є плата, яка має вільну поверхню для фіксації, яка дозволяє використовувати метод затискання її гвинтами, або розробити спрощені, відносно роз'єму без плати, засувки.

По-друге, спрощується задача монтажу роз'єму. Подібні інтерфейси мають виводи, які складно з'єднати з дротами через те, що вони мають маленькі розміри та вмонтовані в пластикову основу. Встановлення елементів, які піддаються пайці поряд або в пластикові деталі може призвести до її руйнування при неправильному методі, або при занадто довгому процесі паяння. Друкована плата в свою чергу може набагато довше витримувати високі температури, які прикладаються до виводів при паянні. Також вона має отвори для дротів, що збільшує надійність паяного з'єднання.

Варто звернути увагу ще на те, що використання готового модуля *USB Type-C* веде до спрощення процесу ремонту пристрою. Замість ускладненого процесу паяння окремого роз'єму з пластиковими деталями всередині нього та невеликими розмірами його виводів, при необхідності заміни роз'єму можна відрізати під'єднані до нього дроти, демонтувати модуль, встановити новий і приєднати дроти до відповідних виводів модуля.

Напруга літій-іонного елемента живлення змінюється від 4,2 В до 2,7 В під час розряду. Для стабілізації напруги на одному рівні необхідно використовувати окремі модулі. Так як більшість використаних модулів живляться від напруги 3,3 В або 5 В, то саме таку напругу необхідно отримати від використаних стабілізатору та підвищуючого перетворювача.

Для забезпечення напруги 5 В обрано підвищуючий модуль від компанії *Pololu* моделі *U3V40F5*. Його зовнішній вигляд зображено на рисунку 4.10.

					<i>P181.464425.001 ПЗ</i>	<i>Лис</i>
						21
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		



Рисунок 4.10 — Вигляд *Pololu U3V40F5* [22]

Не дивлячись на невеликі розміри, даний модуль може витримувати вхідні струми до 4 А, має захист від перенапруги на виході, захист від перегріву, обмеження вхідного струму, плавний запуск та блокування при зниженій напрузі. Для нормальної роботи на вході необхідно забезпечити напругу не менше 2,7 В і не більше 5 В, що ідеально підходить для підвищення напруги від літій-іонних елементів живлення.

Типовий коефіцієнт корисної дії (ККД) таких модулів є важливим, адже він використовується у портативному пристрої, який живиться від АКБ. Даний підвищуючий перетворювач напруги демонструє типовий ККД на рівні 90-95% в залежності від вхідної напруги та навантаження.

Для забезпечення живлення напругою 3,3 В використано стабілізатор на мікросхемі *AMS1117-3.3*, який зображено на рисунку 4.11.



Рисунок 4.11 — Вигляд *AMS1117-3.3* [23]

Модуль потребує вхідної напруги від 4,7 В до 7 В. Таку напругу можна подавати з підвищуючого модуля на 5 В. Максимальний вихідний струм стабілізатора дорівнює 800 мА, чого цілком достатньо для використання у даному пристрої.

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

P181.464425.001 ПЗ

Лис
22

4.2 Обґрунтування вибору органів керування

Органи керування складаються з кнопок та аналогових маніпуляторів. Останні є найголовнішою частиною ПДК, адже саме вони відповідають за безпосереднє керування БЛА, його повороти та швидкість. В даному пристрої було прийнято рішення використовувати спеціальні маніпулятори, які призначені для подібних пультів. Зображення використаного маніпулятора представлено на рисунку 4.12.



Рисунок 4.12 — Вигляд аналогового маніпулятора [24]

Такий вибір ґрунтується на тому, що дані маніпулятори є спеціально пристосованими для використання в ПДК, тобто будуть знайомі людині, яка має мінімальний досвід керування БЛА.

Центральний важіль закручується в маніпулятор, що дозволяє замінювати його на важіль іншої форми. Це дозволяє зробити конструкцію максимально зручною для досвідчених користувачів ПДК БЛА, адже вони користуються важелями більш складної форми, ніж представлений на рисунку 4.12. Метою є покращенням контролю над елементами керування, адже використання важелів більш гострої форми дозволяє збільшити зчеплення поверхні важелів з пальцями оператора. Приклад таких важелів представлено на рисунку 4.13.



Рисунок 4.13 — Змінні важелі аналогових маніпуляторів [25]

					<i>P181.464425.001 ПЗ</i>	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		23

Вибір кнопок для реалізації інших органів керування складався з мембранних та контактних кнопок, зображення яких показано на рисунку 4.14.

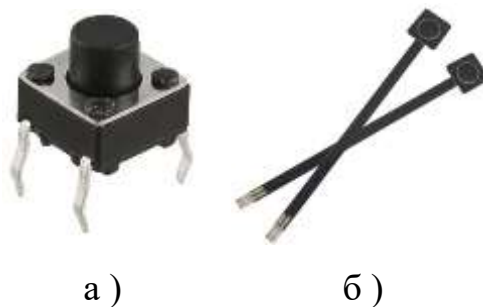


Рисунок 4.14 — Вигляд контактної (а) [26] та мембранної кнопки (б) [27]

Мембранні кнопки не відповідають необхідним вимогам через те, що мають занадто маленький хід натискання, що є незручним для користувача, адже немає необхідної тактильної віддачі. Також варто відзначити складність реалізації їх кріплення, адже вони не мають спеціальних фіксаторів або отворів для кріплення, одночасно з тим, що вони є недостатньо стійкими до зовнішнього впливу, адже складаються лише з двох тонких металічних контактів та зовнішньої плівки. Це означає, що хід зовнішньої декоративної пластикової насадки на кнопку необхідно обмежувати з двох сторін для збільшення надійності даного органу керування.

В свою чергу контактні кнопки мають відчутній хід натискання, що дає можливість чітко, на дотик, визначати момент натискання. Вони також мають спеціальні отвори на нижній поверхні, за які можуть, наприклад, чіплятись засувки для фіксації. Такий метод кріплення даних кнопок є прийнятним, адже вони мають надійний корпус, який може витримати достатню силу натискання, через що зникає необхідність подвійного обмеження ходу пластикової насадки.

					РІ81.464425.001 ПЗ	Лис
						24
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

5 ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТОРСЬКИХ РІШЕНЬ ПРИ РОЗРОБЦІ КОРПУСУ

Розробка ергономічної та естетичної форми корпусу відбувалось в декілька ітерацій, що дозволило досягти найкращого результату завдяки можливості вибору серед декількох варіантів конструкції. Початкові варіанти ескізів конфігурації пристрою представлені на рисунку 5.1.

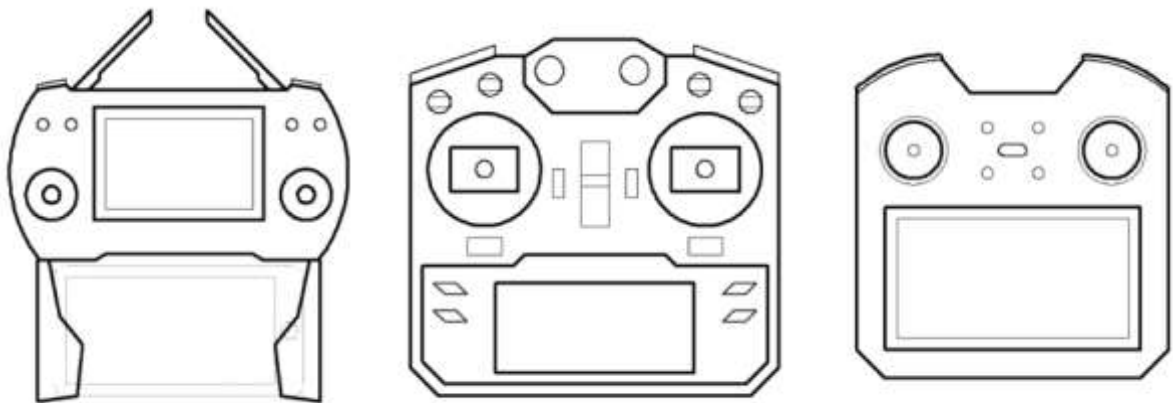


Рисунок 5.1 — Ескізи корпусу пристрою

Особливістю першого варіанту корпусу можна назвати відсутність великого екрану, мінімум органів керування та наявність спеціальних затискачів для периферійного пристрою для виводу відеосигналу, який передає БЛА з бортової камери.

Другий варіант корпусу відрізняється «перевантаженою» передньою панеллю корпусу, великою кількістю органів керування та невеликим екраном, розташованим на нижній частині пристрою.

Третій варіант має помітні відмінності від інших, адже має великий екран у центрі передньої панелі, який займає більшу частину її поверхні та найменше органів керування, порівняно з іншими конфігураціями.

Описані вище варіанти форми корпусу представлялись групі людей, після чого проводилось голосування для вибору найбільш візуально привабливого варіанту. В результаті обрано першу конфігурацію.

					<i>РІ81.464425.001 ПЗ</i>	Лис
						25
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Прийнято рішення використовувати для конструювання систему автоматизованого проектування «*CATIA v5*» через те, що вона надає широкі можливості для побудови складних просторових поверхонь, яким потім можна надати товщину і отримати готову модель тонкостінного корпусу.

Після декількох ітерацій розробки форми корпусу отримано результат, який показано на рисунку 5.2.



а)



б)

Рисунок 5.2 — Проміжний варіант дизайну корпусу вид спереду (а) та вид ззаду (б)

Для дослідження ергономіки та зручності пристрою використано можливості програмного забезпечення «*CATIA v5*», які дозволяють створити модель людини та налаштувати її позицію згідно з реалістичними можливостями згину різних суглобів. Результат представлено на рисунку 5.3.

					PI81.464425.001 ПЗ	Лис
						26
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		



а)



б)

Рисунок 5.3 — Віртуальне дослідження ергономіки пристрою від спереду (а) та від ззаду (б)

Після обговорення отриманої форми з іншими розробниками даного БАК, прийнято рішення кардинально змінити основну форму корпусу через те, що вона є досить грубою, з невеликою кількістю ухилів та складних поверхонь, що робить пристрій менш привабливим. Однак конфігурація органів управління, антен та тримача периферійного пристрою для виводу зображення повинна зберігатись.

Розробка такої тестової моделі дозволила зробити необхідні висновки. Перш за все вони стосуються основної форми корпусу пристрою. Насамперед визначено габаритні та інші розміри.

Виступи з боків задньої панелі визнані правильним рішенням, адже вони надають можливість обхватити ПДК всією рукою, що додає впевненості користувачі при використанні. За їх відсутності необхідно затискати пульт між пальцями та долонею, на що витрачається зайва енергія оператора, що веде до втоми пальців та рук.

Конструкція антен на верхній поверхні пристрою є досить невдалою, адже при необхідності зміни їх довжини будуть змінюватись габаритні розміри пристрою, або ускладнюватись конструкція петель. Їх залежність від розмірів антен може вплинути на зручність ПДК, адже він може стати або

занадто широким, що призведе до невиправданого збільшення ваги, або занадто вузьким, через що не буде вистачати місця пальцям на задній панелі, отже погіршиться ергономіка.

Якщо ж повернути вісь обертання антен на 90 градусів, та зробити спеціальний паз для них, в який вони будуть ховатись, то такої проблеми можна запобігти, адже при зміні розмірів антен буде змінюватись тільки розмір пазу, що не буде мати впливу на ергономіку та зручність, адже вони розташовані в тій частині корпусу, яка не використовується у процесі керування БЛА.

Схожа проблема спостерігається і в конструкції тримачів для периферійного пристрою виводу відеосигналу. Габаритні розміри основної форми залежать від розмірів тримачів. Варто зазначити, що ситуація з цією частиною корпусу гірша, ніж з антенами. Через те, що габарити одночасно залежать і від розмірів антен і від тримачів, останні опосередковано залежать один від одного. Наприклад, при зміні розмірів антен необхідно змінити габарити, що призведе до зміни розмірів тримачів на нижній частині корпусу. В результаті може виникнути ситуація, у якій неможливо буде спроектувати пристрій з необхідними розмірами. Також необхідно звернути увагу на те, що дана форма тримачів займає занадто багато корисної площі на лицьовій панелі пристрою, яку можна використати більш ефективно, наприклад, розмістивши там додаткові органи керування.

Дану проблему можна вирішити за допомогою ускладнення будови поворотних осей. Але прийнято рішення повністю змінити механізм встановлення периферійного пристрою у тримачі. Замість поворотної осі з пелюстками, в які вставляється пристрій, використано тримачі, які висувуються з корпусу і затискають його між собою та нижньою поверхнею корпусу.

					<i>P181.464425.001 ПЗ</i>	<i>Лис</i>
						28
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Вигляд остаточної форми пристрою, який розроблено у процесі даної роботи, показано на рисунку 5.4.



Рисунок 5.4 — Вигляд корпусу пристрою спереду
На рисунку 5.5 показано вигляд корпусу ззаду.



Рисунок 5.5 — Вигляд корпусу пристрою ззаду

					<i>P181.464425.001 ПЗ</i>	Лис
						29
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

5.1 Опис ергономіки пристрою

Так як розроблюваний пристрій при використанні завжди знаходиться в руках та полі зору користувача, то він повинен мати естетично привабливий вигляд. Це досягається використанням складної геометрії основної форми корпусу (рис. 5.6).



Рисунок 5.6 — Вигляд корпусу ззаду

Зручність форми корпусу пристрою підвищується виступами на задній панелі, які слугують для забезпечення надійного захвату ПДК за допомогою трьох пальців: середнього, підмізинного та мізинця. Позиція вказівного пальця може змінюватись залежно від необхідності використання верхніх органів керування. Додаткові органи керування призначені саме для використання вказівним пальцем, а не середнім і підмізинним, як, наприклад у «*Steam Deck*», тому що він є найбільш моторним та чутливим у порівнянні з іншими [28].

Великі пальці рук використовуються для керування аналоговими маніпуляторами та натискання кнопок на лицьовій панелі. Маніпулятори у дано-

					P181.464425.001 ПЗ	Лис
						30
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

му пристрої використовуються з самостійним вирівнюванням, тож можна відривати пальці від маніпуляторів при керуванні БЛА для натискання необхідних кнопок.

Також необхідно зазначити, що існує інший варіант хвату ПДК БЛА, який використовують здебільшого досвідчені користувачі. Він засновується на тому, що маніпулятори тримаються двома пальцями — великим та вказівним, а сам пристрій затискається зовнішньою стороною долоні. Залежно від розвитку м'язів пальців, людині може бути зручно натискати кнопки на верхній панелі, або навіть крутити колеса. Але варто зазначити, що для більшості користувачів таке використання органів керування буде незручним.

Пальці, які не задіяні в керуванні БЛА, тобто підмізинний та мізинець, допомагають надійно тримати пульт в руках. У верхній частині бокових сторін корпусу зроблено спеціальні ухили для того щоб забезпечити достатньо місця для цих пальців. Даний вид хвату, хоч і є нестандартним, передбачений формою розробленого корпусу. Його використання рекомендується в ситуаціях, коли необхідно забезпечити максимально точний контроль над переміщенням БЛА та немає необхідності використовувати програмовані кнопки на верхній панелі, а також змінювати положення гіростабілізованої платформи.

Корпуси для антен, які розташовані на задній панелі корпусу складаються з двох частин, які склеюються після встановлення всередину самої антени. Потовщення їх корпусів біля поворотної осі зроблено для можливості розміщення там плат-контролерів, що дозволить позбавитись завад при передачі сигналу від антени.

Спрощення конструкції петель антен дозволяє спростити виробництво та підвищити надійність, адже замість механізму повороту з двома ступенями свободи використовується механізм з одним ступенем свободи. Винесення його вище верхньої частини корпусу дозволяє повертати антени майже на 270 градусів, що дає можливість зручно направляти їх в сторону літального апарату (рис. 5.7).

					<i>P181.464425.001 ПЗ</i>	<i>Лис</i>
						31
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		



Рисунок 5.7 — Вигляд пульту з максимально розгорнутими антенами

Також для зручного розкривання антен, у нижній частині пазу для них передбачене заглиблення, що розраховане під середньостатистичні пальці людини.

Форма антен дозволяє зручно встановлювати плати з патч-антенами, завдяки потовщенню біля основи.

Підключення антен до внутрішніх модулів корпусу забезпечується отвором у внутрішній частині петлі, який зображено на рисунку 5.8.

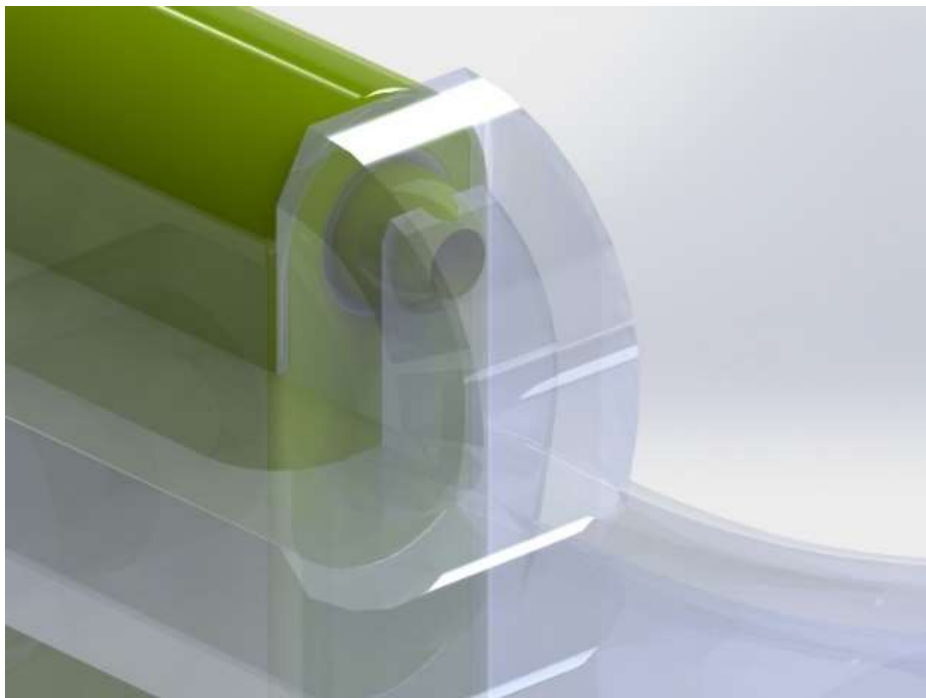


Рисунок 5.8 — Підключення антен до внутрішньої частини корпусу

Таке підключення дозволяє вільно обертати антени без перекручування або перетирання шлейфу, що йде через даний отвір.

Тримач для периферійного пристрою, на який виводиться відео сигнал, має форму, яка забезпечує дві точки опори знизу, що дозволяє надійно зафіксувати його та мінімізувати хитання. Заглиблення, що зображені на рисунку 5.9 зроблені з метою забезпечити можливість зручного висунання тримача.



Рисунок 5.9 — Форма тримачів периферійного пристрою

Затискання периферійного пристрою, який вставляється в даний тримач відбувається за допомогою пружини, яка вставляється між стінкою корпусу та обмежувачем.

Як описано в розділі 1, розташування акумуляторів в бокових частинах корпусу є вдалим конструктивним рішенням. Таке ж рішення прийнято при розробці даного пристрою. Розташування акумуляторів зображено на рисунку 5.10.

					РІ81.464425.001 ПЗ	Лис
						33
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

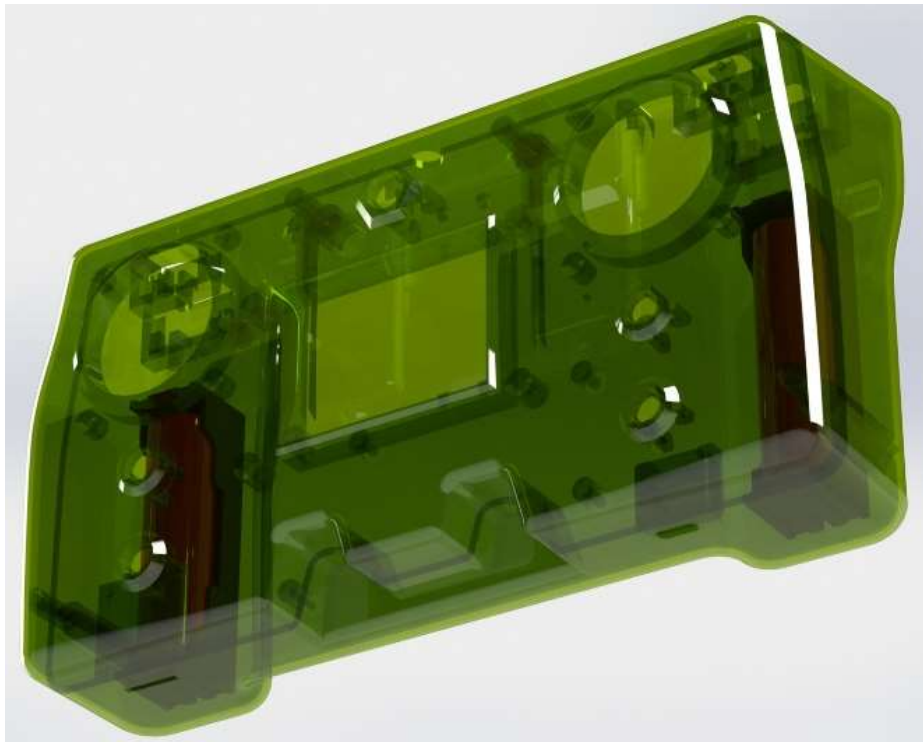


Рисунок 5.10 — Розташування акумуляторів в корпусі пристрою

Таке розташування акумуляторів дозволяє зменшити момент сили, який виникає при переміщенні пульта за рахунок зменшення плеча сили. Беручи до уваги те, що аналогові маніпулятори також розташовані з різних сторін корпусу, це дозволяє досягти відчуття зручності при переміщенні пульта, адже немає надлишкової інерції.

Отвори роз'ємів, з якими взаємодіє користувач винесені на нижню частину корпусу. Більшу частину часу вона знаходиться поза зоною видимості користувача, що необхідно враховувати при розміщенні таких роз'ємів, адже зекономлене місце можна використати, наприклад, розмістивши елементи керування у більш зручному місці. Також таке розташування роз'єму зарядки дозволяє підключити зовнішній портативний акумулятор при необхідності таким чином, що його підключення не буде впливати на зручність використання ПДК.

Варто зазначити, що для перевірки ергономіки та зручності виробу доцільно буде виробити деяку кількість прототипів корпусу і надати їх спеціально сформованій фокус-групі. В неї повинні входити як досвідчені користувачі БЛА та ПДК від них, так і люди, які не мають досвіду використання та-

ких систем. Після декількох випробувань пристрою з фокус-групою, збираються їх відгуки, які покажуть наскільки він вийшов зручним, ергономічним, чи є він зрозумілим для нових користувачів та чи наявні в ньому всі необхідні функції, які вимагають від подібних пристроїв досвідчені користувачі.

5.2 Обґрунтування розташування органів керування

Користувач взаємодіє, в першу чергу, з органами керування, отже вони повинні бути максимально зручними та зрозумілими. Розташування органів керування показано на рисунку 5.11.



Рисунок 5.11 — Вигляд корпусу спереду

Усі кнопки мають гравіювання з подальшим заповненням фарбою замість наліпок або нанесення рисунку фарбою. Таке рішення збільшить ціну виробництва, але дозволить забезпечити можливість відрізнити кнопки на дотик, що в свою чергу дасть змогу комфортно використовувати *First-Person-View (FPV)* шлеми, адже при їх використанні, користувач не має змоги подивитись на органи керування для визначення положення необхідного йому в даний момент.

Кнопка живлення розташована таким чином, щоб для її натискання необхідно було перемістити руку з бокової сторони корпусу. Дане розташування виключає можливість випадкового натискання кнопки живлення, що в

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PI81.464425.001 ПЗ

Лис
35

найгіршому випадку може привести до падіння БЛА з великої висоти і можливого його руйнування.

Для забезпечення різних хватів пульта, основні кнопки керування розташовані нижче аналогових контролерів. Також при виборі їх розташування взято до уваги частоту натискання кожної з кнопок. Справа розташовані кнопки, які відповідають за зліт та посадку літального апарату, зліва — за запис відео- та фотоматеріалів.

Кнопка «*Take a Photo*» розташована вище кнопки «*Rec*», адже необхідність зробити фото виникає декілька разів за один запис відео. З кнопками з правого боку інша ситуація. Не дивлячись на те, що «*Take off / Landing*» має натискатись частіше, ніж «*Arm / Disarm*», вона розташована нижче, для виключення можливості випадкового натискання.

Органи керування на верхній частині корпусу зображені на рисунку 5.12.



Рисунок 5.12 — Верхня поверхня пристрою

Кнопки «*Right*» та «*Left*» необхідні для переключення між інформаційними меню на екрані пристрою, тобто під час польоту вони будуть потрібні нечасто. Тому вони зміщені ближче до середини корпусу відносно коліс.

Використання двох коліс для натискання на кнопки, замість чотирьох кнопок необхідне для того, щоб забезпечити зручність керування гіростабілізованим підвісом камери на борту БЛА. При використанні кнопок необхідно

					РІ81.464425.001 ПЗ	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		36

робити розміри їх насадок достатньо великими і розташовувати їх на достатній відстані для того, щоб виключити можливість випадкового натискання користувачем неправильної кнопки. Може виникнути ситуація за якої буде натиснуто одночасно дві кнопки повороту підвісу, що може привести до його заклинювання або навіть виходу з ладу. Обмежити дану можливість можна програмно, але це ускладнює процес розробки програмного забезпечення для мікроконтролера. Використання поворотних осей з колесами унеможливорює натискання двох кнопок одночасно механічним шляхом.

Також варто звернути увагу на те, що поворот коліс є більш інтуїтивно зрозумілим для користувача, ніж натискання кнопок, в контексті керування поворотом та кутом нахилу камери.

5.3 Опис кріплення частин корпусу та електронних модулів

Отвори кріплення деталей корпусу розташовані в місцях, які водночас забезпечують надійне з'єднання без перекосів та не заважають користувачу під час використання пристрою.

Так як більшість використаних електронних модулів не мають спеціальних отворів для кріплення, їх фіксація здійснюється за допомогою притискання самонарізними гвинтами (рис. 5.13).

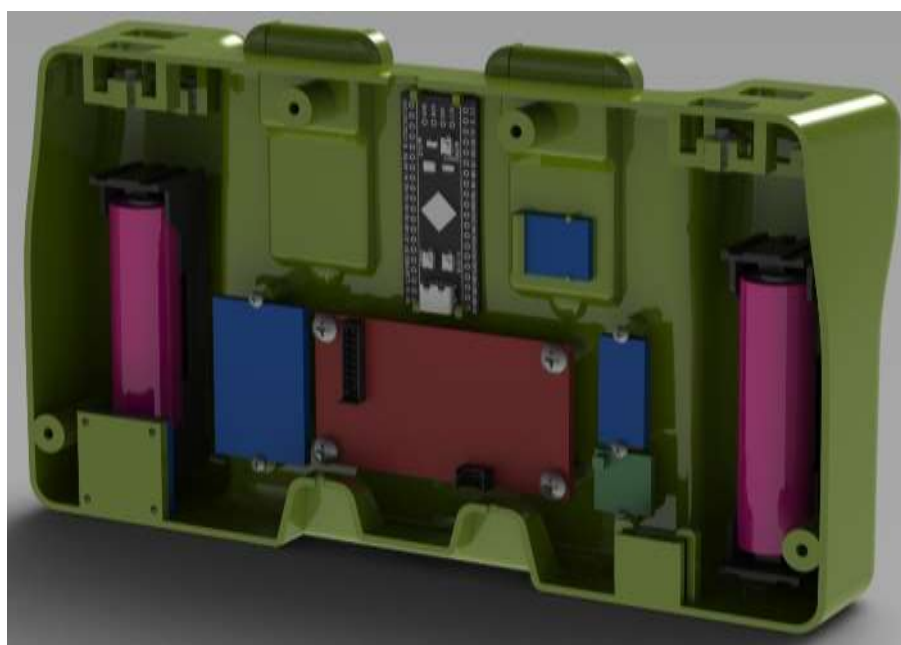


Рисунок 5.13 — Кріплення електронних модулів

					<i>P181.464425.001 ПЗ</i>	Лис
						37
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Конструкція виробу дозволяє використовувати закладні гайки, які дозволять багаторазово розбирати половинки корпусу та демонтувати електронні модулі. Такий вид фіксації заключається в тому, що в пластикову бобишку вплавляється залізна деталь спеціальної форми з внутрішньою різьбою. Такий процес ускладнює, а отже підвищує вартість виробництва, що є вирішальним фактором при прийнятті рішення про використання даного методу кріплення.

Так як сталеві гвинти можуть пошкодити паяльну маску або навіть електронні провідники на електронній платі, передбачено використання шайб з м'яких ізоляційних матеріалів.

Товщина бобишок розрахована таким чином, щоб забезпечити надійне кріплення електронних модулів та масивних елементів, як наприклад акумулятор та його тримач. Отвори в цих бобишках зроблені такого діаметру, щоб самонарізний гвинт мав змогу врізатись в матеріал та забезпечити надійну фіксацію.

Тримачі акумуляторів типорозміру 18650 закріплюються за допомогою саморізів, які вкручуються через спеціальні отвори, до задньої кришки корпусу. Форма цього тримача зображена на рисунку 5.14.



Рисунок 5.14 — Тримач для літій-іонних акумуляторів формату 18650

Таке кріплення обумовлене необхідністю надійної фіксації акумулятора в корпусі, адже він є найважчим компонентом пристрою.

Фіксація за допомогою спеціальних тримачів вибрана для того, щоб спростити процес монтажу. Літій-іонні акумулятори зазвичай з'єднуються з

					<i>P181.464425.001 ПЗ</i>	<i>Лис</i>
						38
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

електронними модулями методом точкового зварювання, оскільки вони не підлягають паянню через пошкодження електроліту під час його тривалого надмірного перегріву, який відбувається під час паяння. При використанні зварювання як методу з'єднання акумуляторів між собою та іншими модулями перегрів відбувається дуже невеликий проміжок часу, оскільки контактне зварювання дуже швидкий процес.

Проте при виконанні зварювання акумуляторів даного пристрою буде неможливо розмістити їх з різних сторін корпусу. Також використання спеціальних тримачів дозволяє швидко та зручно замінювати акумулятор, якщо він вийшов з ладу.

Кріплення плати приймача відеосигналу виконано за допомогою притискання самонарізними гвинтами. Ця плата є досить масивною, тому її фіксація за допомогою засувок буде ненадійною.

Модуль енкодера відеосигналу є самою масивною платою та має власні отвори для кріплення, отже найбільш оптимально її кріпити саме за допомогою них. Через те, що ці отвори 3 мм в діаметрі, необхідно використовувати довші самонарізні гвинти, щоб зберегти їх пропорції.

Кріплення модулю мікропроцесора повинно передбачати можливість його демонтажу та перепрограмування. Саме тому використовується варіант кріплення даної плати за допомогою засувок, адже метод фіксації за допомогою вкручування самонарізних гвинтів в пластик не передбачає їх демонтаж, адже це може призвести до того, що гвинт не буде діставати різьбою до матеріалу.

Плата передавача радіокерування розміщена таким чином, щоб зручно було під'єднувати антену та для зменшення відстані між ними, що зменшить вплив завад на радіочастотний тракт.

Для економії місця всередині корпусу, стабілізатор напруги та підвищуючий модуль закріплені трьома самонарізними гвинтами. Таке рішення спрощує підключення, адже модуль стабілізатора можна одразу підключити до модуля підвищуючого перетворювача напруги.

					<i>P181.464425.001 ПЗ</i>	<i>Лис</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		39

Кріплення аналогових маніпуляторів виконано самонарізними гвинтами для забезпечення необхідної надійності та міцності (рис. 5.15).

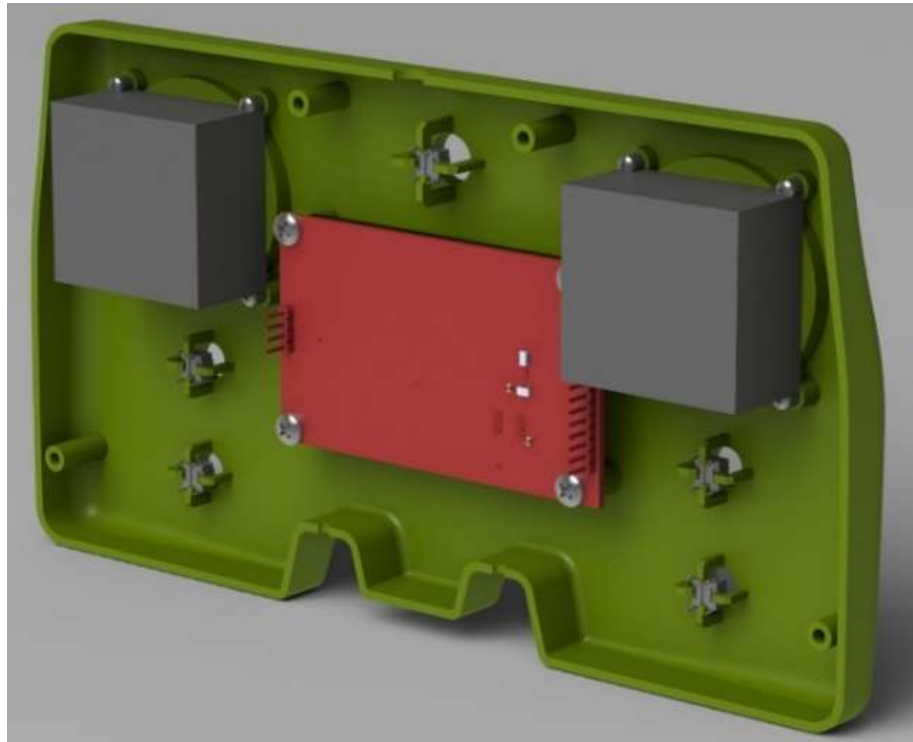


Рисунок 5.15 — Кріплення елементів керування до передньої панелі

Фіксація лицьових кнопок виконується за допомогою засувки, адже дані кнопки не мають спеціальних отворів для кріплення. З іншої сторони вони притискаються пластиковою насадкою кнопки (рис. 5.16).

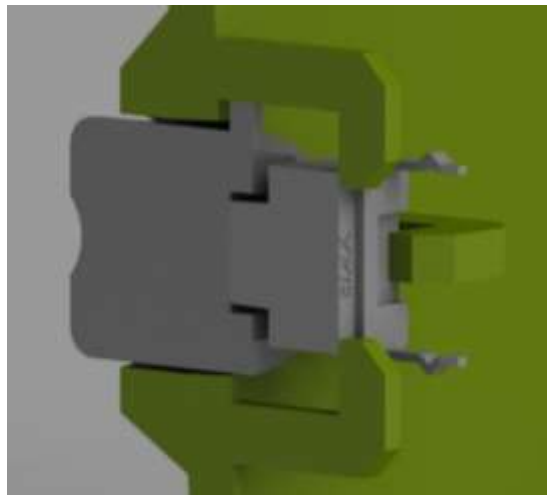


Рисунок 5.16 — Розріз по центру встановленої кнопки

Пластикова насадка тримається в отворі завдяки спеціальним обмежувачам, які зображені на рисунку 5.17.

					<i>P181.464425.001 ПЗ</i>	Лис
						40
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 5.17 — Встановлена пластикова насадка

Таке кріплення кнопок дозволить виключити їх хитання та хибне спрацьовування.

5.4 Обґрунтування вибору матеріалу та методу виробництва корпусу пристрою

Для забезпечення необхідної міцності корпусу та стійкості його до можливих падінь з невеликої висоти (з рук користувача), товщина стінки корпусу вибрана рівною 2 мм.

5.4.1 Обґрунтування вибору матеріалу

Матеріалом корпусу обрано поліетилентерефталат (*PET*). Порівняння основних механічних параметрів розповсюджених пластиків показано в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 — Порівняння різних видів пластику [29]

Матеріал	Границя міцності, psi	Модуль пружності, psi · 10 ⁻³	Стійкість до згину, psi	Стійкість до кручення, psi · 10 ⁻³	Гідрофільність, %
ABS	4100	294	9100	304	0,3
HIPS	3500	270	7000	310	-
PBT	8690	416	12000	330	0,08
PET	11500	400	15000	400	0,1
PETG	7700	320	11200	310	0,2
PVC	7500	411	12800	481	0,06

Границя міцності поліетилентерефталату переважає усі інші представлені види пластиків приблизно в 1,5 рази. Вона показує, яке зусилля на розтяг потрібно прикласти до зразку матеріалу для його руйнування [30]. В даному пристрої цей параметр необхідно враховувати при проектуванні тримачів для органів керування, адже саме до них прикладається таке навантаження.

Модуль пружності пластику є важливою характеристикою для портативних пристроїв, які знаходяться в руках користувача під час експлуатації, адже пристрій постійно стискають, відпускають та крутять. Він визначає величину механічних напружень при пружній деформації матеріалу [31].

Поліетилентерефталат має менший показник цього параметру, ніж полібутилен-терефталат та полівінілхлорид. Матеріалом корпусу пристрою був обраний саме цей вид пластику, адже різниця показників даного параметру є невеликою. Також PET пластик можна назвати кращим вибором, якщо звернути увагу на інші важливі характеристики матеріалу.

Інші важливі параметри, в яких обраний вид пластику має кращі показники, як наприклад сила, яка необхідна для руйнування зразку матеріалу при прикладанні зусилля на вигин. Так як корпус даного пристрою має поверхні з великою площею та стінки порівняно невеликої товщини, то вони будуть вигинатись в процесі експлуатації. Це може привести до втоми матеріалу, і майбутньої втрати міцності деталі. Однак, так як поліетилентерефталат має високий модуль еластичності, можна сказати, що він є стійким до втоми [32]. Також цей параметр дозволяє стверджувати про надійність кріплення інших модулів за допомогою засувки, які зроблені з даного виду пластику.

Ще однією з характеристик матеріалу, які брались до уваги при виборі матеріалу, була гідрофільність матеріалу. Вона показує на скільки відсотків матеріал стає важчим при його зануренні у воду на визначений період часу. Для даного пристрою ця характеристика важлива, адже для поліетилентерефталату вона є порівняно невисокою відносно інших видів пластику, які мають схожі механічні параметри.

					<i>P181.464425.001 ПЗ</i>	Лис
						42
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Для забезпечення зручності також можна використати покриття типу «Soft touch» для зовнішньої поверхні основних деталей корпусу. Це лакофарбове покриття, яке має гумоподібну текстуру і наноситься на вироби, які мають постійний контакт з пальцями рук користувача [33]. «Soft touch» покриття корпусу даного пристрою є опціональним і його доцільність необхідно визначати безпосередньо перед початком виробництва, адже якщо вартість готового виробу є критично важливим параметром, то від додаткових витрат на покриття рекомендовано відмовитись.

5.4.2 Обґрунтування методу виробництва основних деталей корпусу

Порівняння методів виробництва з пластику представлено на рисунку 5.18.

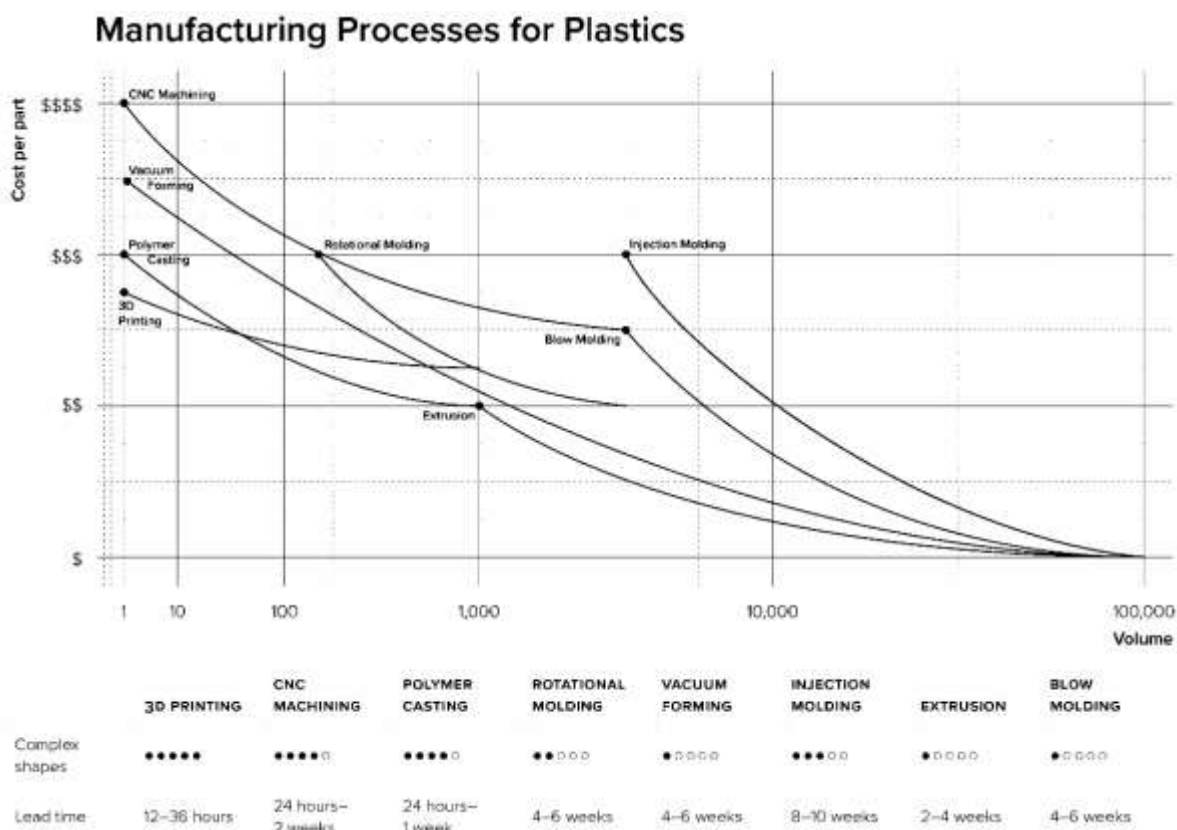


Рисунок 5.18 — Порівняння методів виробництва [34]

Виходячи з цих даних, рішення про метод виробництва доцільно робити дивлячись на необхідну кількість екземплярів. При необхідності вироблення невеликої партії пристроїв найефективнішою технологією буде *FDM*, *SLA* або *SLS 3D* друк, адже деталі корпусу мають складну геометрію, яку немож-

ливо відтворити за допомогою інших представлених технологій. Необхідно зазначити, що метод *3D* друку не тільки дає можливість виробляти найскладнішу геометрію, але і найдешевший з усіх методів виробництва невеликої кількості деталей.

Найкращим вибором технології *3D* друку з точки зору точності розмірів виготовленої деталі буде технологія *SLA*, оскільки за даної технології точність кінцевого пристрою залежить від величини лазерного променя. Точність, яка досягається при використанні такого друку зазвичай дорівнює приблизно 50-250 мкм при товщині шару від 25 мкм. Також за цієї технології усадка матеріалу після друку значно менше виражена на відміну від технологій, де використовується розплавлення пластику, а потім його подальше охолодження. Хоча якщо не витримувати шари деталі під опромінюванням достатню кількість часу, то можливе провисання її фрагментів, проте дане провисання зазвичай має мікроскопічний характер і має незначний вплив на кінцеву форму деталі, порівняно з дотриманням необхідної точності виконання розмірів деталі. При друкуванні деталей великого розміру цей ефект може накопичуватись і призводити до значних деформацій деталі, особливо при неправильному виборі орієнтації моделі перед друком, оскільки великі нависаючі фрагменти під дією сили тяжіння можуть змінювати своє положення. Тому важливо ретельно продумувати технологічний процес друку великих деталей.

Матеріал досягає своєї повної міцності тільки після затвердіння в ультрафіолетовій печі, тому одразу після друку необхідно видалити залишки фотополімерного матеріалу і помістити деталь у піч для доведення її до необхідних показників міцності.

Для покращення якості друкованої деталі модель перед друком слід розміщувати таким чином, щоб нависаючі фрагменти були під кутом 45 градусів відносно столу *3D* принтеру, оскільки це дозволяє використовувати підтримуючі опори для нависаючих фрагментів деталі [35].

					<i>P181.464425.001 ПЗ</i>	<i>Лис</i>
						44
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

За необхідності виготовлення більшої кількості деталей корпусу пристрою доцільно буде використовувати метод лиття пластмас під тиском. Не дивлячись на більш високу вартість порівняно з термопластичним видуванням, даний метод дозволяє створювати деталі складної форми з високою міцністю отриманого виробу [36].

Для виготовлення ливарної форми в якій відливається деталь з нависаючими фрагментами спочатку потрібно виготовити модель форми за допомогою технології 3D друку, використовуючи при цьому матеріал, що легко плавиться, або який розчиняється у воді чи інших доступних розчинниках. Це потрібно для того, щоб виготовити форму із вогнетривкого матеріалу для лиття частин зі складною геометрією, у яку потім буде відливатись деталь корпусу пристрою.

Дана форма буде мати декілька шляхів для протікання термопласту для того, щоб створити необхідні навісні фрагменти.

5.5 Обґрунтування методу виробництва інших деталей корпусу

Так як інші деталі корпусу, а саме антени на задній панелі, тримач периферійного пристрою для виводу зображення та пластикові насадки на кнопки, мають простішу геометрію, ніж основні деталі, то їх матеріал та метод виробництва може відрізнятись у більш просту сторону для зменшення собівартості виробництва.

Згідно з рисунком 5.18, найдешевшим та найшвидшим методом дрібносерійного виробництва деталей є 3D друк. Але треба звернути увагу на те, що для готового пристрою необхідно виробити по одній частині корпусу та декілька екземплярів інших деталей — 2 антени, 4 насадки на кнопки керування на лицьовій панелі, 1 насадку на кнопку живлення, 2 насадки на кнопки на верхній панелі та 2 колеса. При таких умовах 3D друк стає не таким оптимальним вибором. Альтернативами можуть слугувати декілька інших методів, які описані нижче.

Так як антени на задній частині корпусу є пустотними деталями, які складаються з двох тонкостінних частин, то одним з варіантів їх виготовлен-

					<i>P181.464425.001 ПЗ</i>	<i>Лис</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		45

ня можна запропонувати термопластичне формування. Процес полягає у тому, що лист пластику нагрівається до моменту, коли він стає достатньо пластичним, потім з пластику витискається деталь необхідної форми і після затвердіння листа матеріалу отриманий виріб вирізається з нього. Такий процес є екологічним, адже є можливість використовувати листи з пластику, який був перероблений та переплавлений [37].

Насадки на лицьові кнопки неможливо виробити за допомогою термопластичного формування через те, що необхідно змінювати форму трьох поверхонь. При використанні пресу, який витискає форму з листа пластику можливо змінити форму лише двох поверхонь (поверхні, яка безпосередньо контактує з формою для витискання та зовнішньої поверхні листа), а додаткова обробка є недоцільною. Оптимальним методом багатосерійного виробництва даних насадок буде лиття пластмас під тиском. По-перше, цей метод є найефективнішим згідно з рисунком 5.18. По-друге, використання однакового методу виробництва основних та додаткових деталей корпусу виключає необхідність створення обладнання та інструментів для різних технологічних процесів, що здешевлює загальну вартість виробництва виробу.

Пластикову частину тримачів периферійного пристрою для виводу відео доцільно виробляти таким же чином, з метою зменшення витрати коштів на додаткове обладнання. Металічна частина може бути вироблена за допомогою токарного верстату, після чого клеєна у пластикову частину за допомогою епоксидної смоли, адже вона дозволяє надійно з'єднувати пластик з металічними деталями. Матеріалом доцільно вибрати алюміній для зменшення ваги отриманого пристрою.

					<i>P181.464425.001 ПЗ</i>	<i>Лис</i>
						46
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ВИСНОВКИ

Після аналізу технічного завдання на розробку пульта дистанційного керування безпілотним літальним апаратом проведено аналіз аналогів, який дозволив зробити необхідні висновки щодо конструкції та габаритів остаточної форми пристрою. Ітераційним методом конструювання досягнуто ергономічності корпусу з габаритними розмірами 220x129x90 мм.

При розробці форми корпусу пристрою враховувалось багато факторів пов'язаних з естетичністю та пристосованістю для використання різними категоріями користувачів, такі як розташування пальців рук при різних варіантах хватів. Це дозволило забезпечити зручність при використанні незалежно від досвіду людини в керуванні БЛА.

Для реалізації схемотехнічного рішення розроблено структурну схему. Під час цього процесу увага здебільшого приділялась збереженню балансу між вимогами ТЗ та використанням мінімуму модулів для забезпечення низької вартості остаточного пристрою. Отримана структурна схема дала змогу вибрати готові покупні модулі, які зможуть задовольнити технічним вимогам ТЗ.

Проведене порівняння можливих матеріалів для основних частин корпусу дозволило вибрати такий, який має найбільш задовільні параметри. Таким матеріалом став пластик поліетилентерефталату внаслідок найвищих показників стійкості до навантажень згинання та втоми, а також найнижчої гідрофільності з усіх розповсюджених видів пластиків, з якими проводилось порівняння. Також можливе опціональне використання «*Soft touch*» покриття.

Внаслідок складної геометрії, для виготовлення основних частин корпусу доцільно застосовувати метод 3D друку або лиття пластмас під тиском, залежно від необхідних об'ємів продукції. Вимоги до точності інших розроблених деталей корпусу є нижчими, отже можна використовувати інші методи, як наприклад термопластичне формування. Варто відзначити, що рекоме-

					РІ81.464425.001 ПЗ	Лис
						47
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

ндовано використовувати один метод виготовлення для всіх деталей корпусу для зменшення кінцевої вартості готового пристрою.

При подальшій розробці ПДК доцільно спростити та підвищити надійність кріплення органів керування, що дозволить зменшити вимоги до методу виготовлення. Також необхідно сконструювати друкований вузол, який може бути розроблено на різних друкованих платах, що дозволить позбавитись наявності готових електронних модулів, адже їх варіацій менше, ніж електронних компонентів, що обмежує можливості при розробці схемотехнічних рішень.

					<i>P181.464425.001 ПЗ</i>	Лис
						48
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Steam Deck Images Show How Massive Valve Handheld Is [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://gamerant.com/steam-deck-massive-size-valve-handheld/> — 26.05.2022 — Назва з екрану.
2. Steam Deck [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://www.steamdeck.com/en/hardware> — 26.05.2022 — Назва з екрану.
3. DJI RC Pro [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://www.dji.com/rc-pro?site=brandsite&from=nav> — 26.05.2022 — Назва з екрану.
4. Пульт ДК DJI Mavic Part 37 Remote Controller [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://dji-kyiv.com/pult-du-dji-mavic-part-37-remote-controller/> — 26.05.2022 — Назва з екрану.
5. Original Mini 3 Pro/Mavic 3/Mavic Air 2/Air 2S/Mavic Mini 2 Remote Controller RC(Model RC231) for DJI Mini 3 Pro/Mavic 3/Mavic Air 2/Air 2S/Mavic Mini 2 (Excludes Retail Box) [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://www.amazon.com/Original-Remote-Controller-Excludes-Retail/dp/B08MTKVW9> — 26.05.2022 — Назва з екрану.
6. Flysky-i6 [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://www.flysky-cn.com/i6-gaishu> — 26.05.2022 — Назва з екрану.
7. Flysky-i6x [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://www.flysky-cn.com/i6x-gaishu-1> — 26.05.2022 — Назва з екрану.
8. Flysky-ct6b [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://www.flysky-cn.com/ct6b-gaishu> — 26.05.2022 — Назва з екрану.
9. Lithium VS NiMH AA batteries, Which Is Better [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://m.greenway-battery.com/news/Lithium-Vs-NiMH-AA-Batteries,-Which-Is-Better-140.html> — 26.05.2022 — Назва з екрану.
10. Primary Battery [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/primary->

					<i>P181.464425.001 ПЗ</i>	Лис
						49
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

[battery#:~:text=Commonly%20found%20alkaline%20batteries%20provide,around%203780%20J%2Fcm3](#) — 26.05.2022 — Назва з екрану.

11. Плата для розробників STM32F401CCU6 [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://arduino.ua/prod4033-plata-dlya-razrabotchikov-stm32f401ccu6> — 27.05.2022 — Назва з екрану.

12. ARM Cortex-M4 [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://www.arm.com/products/silicon-ip-cpu/cortex-m/cortex-m4> — 27.05.2022 — Назва з екрану.

13. A/V MPEG-4, MJPEG, H.264 Encoder / Decoder with overlay. Model 2253 [Електронний ресурс] — Режим доступу: http://www.sensoray.com/usb_h.264_video_capture_2253.htm — 27.05.2022 — Назва з екрану.

14. 2.8” 240x380 TFT LCD SPI (ILI9341) модуль без тачскріна [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://arduino.ua/prod4582-2-8quot-240x320-tft-lcd-spi-modyl> — 28.05.2022 — Назва з екрану.

15. EBYTE nRF24L01P 2.4GHz Wireless Module Long Range 100mW SPI SMD RF Module Transmitter Receiver IPEX Antenna With FCC, CE and RoHS E01-ML01SP4 [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://www.amazon.co.uk/Ebyte-E01-ML01SP4-nRF24L01-Amplifier-Transmitter/dp/B07P9Y1LW1?th=1> — 28.05.2022 — Назва з екрану.

16. SMA (female) для панельного монтажу, прижим с тыльной части с уплотнительным кольцом [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://selteq.com.ua/sma-female-dlya-panelnogo-montazha-prizhim-s-tylnoj-chasti-s-uplotnitelnym-kolcom-2/> — 28.05.2022 — Назва з екрану

17. RunCam Mini FPV DVR [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://shop.runcam.com/runcam-mini-fpv-dvr/> — 28.05.2022 — Назва за екрану.

18. Review: Runcam Mini DVR Board [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://oscarliang.com/runcam-mini-dvr/> — 29.05.2022 — Назва з екрану.

					PI81.464425.001 ПЗ	Лис
						50
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

19. 8CH 1.2G Wireless Receiver CCTV Security Mould RX Chip 1200mhz CCTV Transmitter Receiving Device FPV Drone Transmission [Електронний ресурс] — Режим доступу: https://aliexpress.ru/item/32297797208.html?pdp_npi=2%40dis%21UАН%21750%2C75%20грн.%21750%2C75%20грн.%21%21%21%21%21%4021135c3d16541891558916497e2f96%2159018044488%21sh&sku_id=59018044488&spm=a2g0o.store_pc_groupList.8148356.12.23c818afIS5MID — 30.05.2022 — Назва з екрану.

20. Акумулятор Liitokala NCR18650B 3400мАч із захистом [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://arduino.ua/prod2285-akkumulyator-panasonic-ncr18650b-3400-mah> — 01.06.2022 — Назва з екрану.

21. Плата-перехідник USB Type-C на DIP 2.54 [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://arduino.ua/prod2783-plata-perehodnik-usb-type-c-na-dip-2-54> — 01.06.2022 — Назва з екрану.

22. Підвищуючий DC-DC перетворювач 5В U3V40F5 від Pololu [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://arduino.ua/prod5037-povishaushhii-dc-dc-preobrazovatel-5v-u3v40f5-ot-pololu> — 01.06.2022 — Назва з екрану.

23. Модуль лінійного стабілізатора з 4,5-7В на 3,3 на AMS1117 [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://arduino.ua/prod1441-modul-lineinogo-stabilizatora-s-4-5-7v-na-3-3v-na-ams1117> — 01.06.2022 — Назва з екрану.

24. Transmitter Joystick Self-Centered Pushrod Push Stick Assembly 2CH Throttle Aileron Rudder Elevator RC Remote Control DIY Part [Електронний ресурс] — Режим доступу: https://aliexpress.ru/item/1005003209565659.html?algo_exp_id=face9a69-d039-48e2-8d81-671af6761ddf-25&algo_pvid=face9a69-d039-48e2-8d81-671af6761ddf&gatewayAdapt=nld2rus&item_id=1005003209565659&pdp_ext_f=%7B%22sku_id%3A%22%3A%22%7D&sku_id=12000026122885249&spm=a2g0o.search0304.0.0.2c875951Wy119P — 02.06.2022 — Назва з екрану.

					PI81.464425.001 ПЗ	Лис
						51
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

25. M3 M4 Size 3mm Transmitter Stick Ends for Futaba / Spektrum DX7 FrSky Taranis X9 X7 RadioLink RC Multicopter Quadcopter [Електронний ресурс] — Режим доступу:

https://aliexpress.ru/item/1005001860964992.html?item_id=1005001860964992&sku_id=12000017892833271&spm=a2g2w.productlist.0.0.250a7f87kdXkyC —

02.06.2022 — Назва з екрану.

26. Кнопка 6x6x5мм [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://arduino.ua/prod317-Кнопка> — 02.06.2022 — Назва екрану.

27. 10Pcs Squared Black ON/OFF 1*1 Membrane PVC Matrix Keypad Panel Switch For MCU Interface| L=130mm [Електронний ресурс] — Режим доступу: https://aliexpress.ru/item/1005001627078708.html?sku_id=12000016875728194&spm=a2g20.search.0.0.336ea476QDKRnc — 02.06.2022 — Назва з екрану.

28. Указівний палець [Електронний ресурс] — Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Указівний_палець — 02.06.2022 — Назва з екрану.

29. Plastic Properties Table [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://www.curbellplastics.com/Research-Solutions/Plastic-Properties> — 02.06.2022 — Назва з екрану.

30. Границя міцності [Електронний ресурс] — Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Границя_міцності — 02.06.2022 — Назва з екрану.

31. Модулі пружності [Електронний ресурс] — Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Модулі_пружності — 03.06.2022 — Назва з екрану.

32. Engineering Plastics Comparison: Which is Right For Your Project? [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://readingplastic.com/engineering-plastics-comparison/> — 03.06.2022 — Назва з екрану.

33. Софт тач [Електронний ресурс] — Режим доступу: https://ru.wikipedia.org/wiki/Софт_тач — 03.06.2022 — Назва з екрану.

					PI81.464425.001 ПЗ	Лис
						52
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

34. Guide to Manufacturing Processes for Plastics [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://formlabs.com/blog/guide-to-manufacturing-processes-for-plastics/> — 03.06.2022 — Назва з екрану.

35. 10 вещей, которые влияют на точность печати SLA [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://ru.3dprotofab.com/10-things-that-affect-sla-printing-accuracy.html> — 04.06.2022 — Назва з екрану.

36. Лиття пластиків під тиском [Електронний ресурс] — Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Лиття_пластиків_під_тиском — 03.06.2022 — Назва з екрану.

37. Thermoforming [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://en.wikipedia.org/wiki/Thermoforming> — 03.06.2022 — Назва з екрану.

					<i>P181.464425.001 ПЗ</i>	Лис
						53
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ДОДАТОК А. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»


В. о. зав. кафедрою ПРЕ

_____ Михайло СТЕПАНОВ

«__» _____ 2022 р.

«УЗГОДЖЕНО»

Керівник проекту

 Володимир АДАМЕНКО

«__» _____ 2022 р.

Безпілотний авіаційний комплекс

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

PI81.202138.001 ТЗ

2022 р.

1. НАЗВА КР, ШИФР І ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ КР

1.1 Назва виробу:

Безпілотний авіаційний комплекс.

1.2 Підстава для виконання:

Завдання видане кафедрою прикладної радіоелектроніки радіотехнічного факультету КПІ ім. Ігоря Сікорського. Наказ № _____ від _____

2. ВИКОНАВЦІ:

Бичков О. Д., РІ-81, РТФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, частина: «Безпілотний авіаційний комплекс. Пульт дистанційного керування»

Броварник С. А., РІ-81, РТФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, частина «Безпілотний авіаційний комплекс. Електронні модулі літального апарату»

Євдокімов Д. О., РІ-81, РТФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, частина «Безпілотний авіаційний комплекс. Базова станція зв'язку»

3. ВИРОБНИКИ

— КПІ ім. Ігоря Сікорського, підготовка комплекту технічної документації.

— Підприємство-виробник друкованих плат: АІРСВ (КНР). Виготовлення відповідно до 4-го класу точності за допомогою багат шарової технології методом пошарового нарощування.

— Підприємство-виробник пластикових деталей: Fow Mould (КНР). Допуски деталей відповідно до 14-го квалітету.

4. МЕТА ВИКОНАННЯ КР І ПРИЗНАЧЕННЯ ПРОДУКЦІЇ

4.1 Мета виконання:

Створення компактного безпілотного авіаційного комплексу тактичного рівня для оптичного відеоспостереження та автоматичного супроводження об'єктів.

					PI81.202138.001 T3			
ЗМ.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	<i>Безпілотний авіаційний комплекс. Пульт дистанційного керування</i>	Лім.	Лист	Листів
Розробив	Бичков						1	5
Перевірів	Адаменко							
Н. Контр.	Адаменко							
Затвер-	Адаменко					PI-81, РТФ		

4.2 Призначення продукції:

Даний виріб призначений для використання у якості інструменту спостереження за місцевістю, рухомими та нерухомими об'єктами у світлу пору доби за нормальних погодних умов, які знаходяться за межами прямої видимості оператора комплексу.

5. СКЛАД ПРОДУКЦІЇ

Комплекс складається з:

- Безпілотного літального апарату;
- Пульта дистанційного керування;
- Базової станції зв'язку.

До складу продукції входять наступні покупні комплектуючі вироби:

- Безколекторні електромотори;
- Повітряні гвинти;
- Гіростабілізована платформа оптичного модуля;
- Оптичний модуль у складі денної відеокамери;
- Елементи живлення (акумуляторні батареї);
- Кріпильні матеріали;
- Провідники, дроти, шлейфи;
- Радіоелектронні компоненти.

6. ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

6.1 Вимоги призначення комплексу

- Максимальна дальність радіозв'язку між ПДК та БЛА — 10 км;
- Максимальна дальність радіозв'язку між БСЗ та БЛА — 20 км;
- Максимальний час роботи комплексу без підзарядки — 35 хв;
- Робоча частота — 2,4 ГГц (радіокерування), 1,2ГГц (передача відео-сигналу);

6.2 Вимоги до БЛА

- Максимальний час польоту (без вітру) — 40 хв;

					<i>PI81.202138.001 T3</i>	<i>Лис</i>
						2
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

- Максимальний час зависання (без вітру) — 35 хв;
- Максимальна швидкість підйому — 3 м/с;
- Максимальна швидкість спуску — 3 м/с;
- Максимальна швидкість польоту — 10 м/с;
- Максимальна висота польоту (над рівнем моря) — 4 км;
- Максимальна злітна вага — 1 кг;
- Максимальна дальність польоту — 20 км;
- Максимально допустима швидкість вітру — 10 м/с.
- Робота з GPS, Galileo;

6.3 Вимоги до ПДК

- Максимальний час автономної роботи — 5 год;
- Наявність роз'ємів USB Type-C та microSD.

6.4 Вимоги до БСЗ

- Максимальний час автономної роботи (направлена антена) — 2 год;
- Максимальний час автономної роботи (ненаправлена антена) — 5 год;
- Можливість роботи з направленими та ненаправленими антенами;

6.5 Вимоги життєздатності та стійкості до зовнішніх факторів

Кліматичне виконання за ГОСТ 15150-69 УХЛ-1.1.

Умови експлуатації згідно ГОСТ 16019-2001, Н7.

6.6 Вимоги надійності

Напрацювання на відмову комплексу (без врахування відмов акумуляторів) — не менше 1000 годин;

Напрацювання на відмову акумулятора — 150 год.

6.7 Вимоги до конструкції

Основні конструкційні вимоги складових частин уточнюють у процесі роботи.

					<i>PI81.202138.001 T3</i>	<i>Лис</i>
						3
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

6.8 Вимоги технологічності

Вимоги до виробничої, експлуатаційної та ремонтної технологічності уточнюються у процесі роботи та узгоджуються на етапі підготовки до виробництва дослідного зразка.

6.9 Вимоги уніфікації та стандартизації

Кількісні показники уніфікації та стандартизації не висуваються.

6.10 Вимоги до дизайну і ергономіки

Комплекс повинен мати мінімалістичний та інтуїтивно зрозумілий дизайн.

Пульт дистанційного керування повинен мати ергономічну форму розраховану на користування людьми різного віку та статі.

7. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ВИМОГИ

Середня собівартість виготовлення пристрою при серійному виробництві не має перевищувати 500 доларів США.

8. ВИМОГИ ДО РОЗРОБЛЮВАНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

Документація має відповідати вимогам ДСТУ та вимогам Єдиної системи конструкторської документації (ЄСКД).

9. СТАДІЇ ТА ЕТАПИ ПРОЕКТУ

- Написання ТЗ та його аналіз;
- Технічна пропозиція (аналіз варіантів конструкції);
- Вибір компонентів та матеріалів;
- Проектування оригінального (друкованого) вузла;
- Розрахунки, що підтверджують працездатність;
- Оформлення пояснювальної записки;
- Розробка креслень.

					<i>PI81.202138.001 ТЗ</i>	Лис
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		4

10. ПОРЯДОК ПРИЙМАННЯ ПРОЕКТУ

При завершенні проекту подаються пояснювальні записки на складові частини п. 5 та набір відповідних проектно-конструкторських документів. Захист проекту проводиться публічно в установленого порядку.

					<i>PI81.202138.001 T3</i>	Лис
						5
<i>Зм.</i>	<i>Лис</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ДОДАТОК Б. СПЕЦИФІКАЦІЯ НА ПРИСТРІЙ

Форм.	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Пр.		
				<u>Документація</u>				
A2			PI81.464425.001 СК	Складальний кресленик				
A3			PI81.464425.001 Е1	Схема електрична структурна				
				<u>Деталі</u>				
A3		1	PI81.732188.001	Передня панель корпусу	1			
A3		2	PI81.732188.002	Задня панель корпусу	1			
		3	PI81.464668.001	Антенна	2			
		4	PI81.301524.001	Тримач	1			
		5	PI81.753312.001	Кнопка «Arm/Disarm»	1			
		6	PI81.753312.002	Кнопка «Take Off/Land»	1			
		7	PI81.753312.003	Кнопка «Rec»	1			
		8	PI81.753312.004	Кнопка «Take a Photo»	1			
		9	PI81.753312.005	Кнопка живлення	1			
		10	PI81.753722.001	Кнопка «R»	1			
		11	PI81.753722.002	Кнопка «L»	1			
		12	PI81.724541.001	Кнопка-колесо	2			
				PI81.464425.001				
Зм	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата				
Розроб.		Бичков			Пульт дистанційного керування	Лит.	Арк.	Аркуші
Перев.		Адаменко					1	3
Т.конт		Адаменко						
Н.конт		Адаменко						
Затв		Адаменко						
						PI81, РТФ		

Форм.	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Пр.
				<u>Стандартні вироби</u>		
				Гвинт самонарізний		
				ГОСТ 11650-80		
		13		M2,5x6	13	
		14		M2,5x10	4	
		15		M3x6	4	
		16		M3x12	12	
				<u>Інші вироби</u>		
		17		Енкодер відео	1	
		18		Модуль екрану	1	
		19		Мікроконтролер	1	
		20		Передавач керування	1	
		21		Приймач відео	1	
		22		Модуль карти пам'яті	1	
		23		Модуль USB Type-C	1	
		24		Стабілізатор на 3,3 В	1	
		25		Підвищуючий	1	
				перетворювач на 5 В		
		26		Акумулятор	2	
		27		Тримач акумулятору	2	
		28		Аналоговий маніпулятор	2	
		29		Роз'єм SMA	1	
Зм	Арх.	№ докум.	Підп	Дата	PI81.464425.001	
						2

