

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

Радіотехнічний факультет

Кафедра радіоконструювання та виробництва радіоапаратури

До захисту допущено:

В.о. зав. кафедрою



Євгеній НЕЛІН

«__» __ 20__ р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Інтелектуальні технології мікросистемної радіoeлектронної техніки»

за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

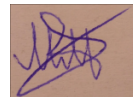
на тему: Портативний наземний розвідувальний пристрій

Виконала:

студентка IV курсу, групи РІ-71

Мережко Марія Сергіївна

Прізвище, ім'я, по батькові



Керівник: старший викладач Попсуй Володимир Ілліч

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

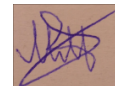


Рецензент доц. Піддубний Володимир Олексійович

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



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


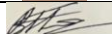



Студент

Київ – 2021 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4	PI71.464971.001 ПЗ	Пояснювальна записка	60	
3	A4	PI71.464971.001	Специфікація на пристрій	2	
4	A2	PI71.464971.001 СК	Складальний кресленик пристрою	1	
5	A4	PI71.464971.001 Е1	Схема структурна	1	
6	A4	PI71.464971.001 ЕЗ	Схема електрична принципова	1	
7	A4	PI71.464971.001 ПЕ	Перелік елементів	2	
8	A4	PI71.464971.002	Специфікація на друкований вузол	2	
9	A4	PI71.464971.002 СК	Материнська плата	1	
10	A4	PI71.758232.001	Кресленик друкованої плати	1	

				PI71.464971.001		
	ПІБ	Підп.	Дата	Портативний наземний розвідувальний пристрій		
Розробн.	Мережко					
Керівн.	Попсуй					
Н/контр.						
Зав.каф.						
				Лист		Листів
				1		
				КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. КіВРА, Гр. PI-71		

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

Кафедра радіоконструювання та виробництва радіоапаратури

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Інтелектуальні технології мікросистемної радіoeлектронної техніки»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. зав. кафедрою

_____ Євгеній НЕЛІН

«__» _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Мережко Марії Сергіївні








1. Тема проєкту «Портативний наземний розвідувальний пристрій», керівник проєкту Попсуй Володимир Ілліч, старший викладач, затверджені наказом по університету від «18» травня 2021 р. №1205-с
2. Термін подання студентом проєкту 09 червня 2021 року
3. Вихідні дані до проєкту Відкриті джерела науково-технічної інформації, періодичні видання, матеріали конференцій
4. Зміст пояснювальної записки: Розробка і аналіз технічного завдання на проєкт. Огляд аналогів. Розробка функціональної схема та вибір елементів. Проєктування пристрою. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо:

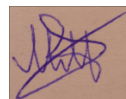
специфікація на пристрій, складальний кресленик пристрою, схема структурна, схема електрична принципова, специфікація і складальний кресленик друкованого вузла, кресленик друкованої плати, перелік елементів, презентація

6. Дата видачі завдання 12 квітня 2021 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Огляд існуючих рішень	12.04.21-19.04.21	Вик. 
2	Розробка та аналіз завдання на проєкт	20.04.21-30.04.21	Вик. 
3	Розробка функціональної схеми та підбір компонентів	01.05.21-10.05.21	Вик. 
4	Розробка схеми електричної принципової	11.05.21-15.05.21	Вик. 
5	Розробка друкованої плати	16.05.21-22.05.21	Вик. 
6	Розробка 3D моделі	23.05.21-02.06.21	Вик. 
7	Аналіз працездатності пристрою	03.06.21-04.06.21	Вик. 
8	Розробка конструкторської документації	04.06.21-07.06.21	Вик. 
9	Оформлення текстової та графічної документації	07.06.21-09.06.21	Вик. 

Студент



Марія МЕРЕЖКО

Керівник



Володимир ПОПСУЙ

АНОТАЦІЯ

Дипломний проєкт на тему «Портативний наземний розвідувальний пристрій» виконано на 60 сторінках, що включають 21 ілюстрацій, 1 таблицю та 2 додатки.

Метою даного проєкту є розробка розвідувального пристрою керованого через мережу Wi-Fi або вбудований радіо модуль. Для досягнення поставленої мети було проаналізовано ринок електромеханічних іграшок, наукові та воєнні розробки безпілотних всюдиходів, що мають подібну функціональність та обрано найбільш оптимальні характеристики для власної реалізації в даному проєкті.

Спроектовано пристрій, проведені розрахунки, що підтверджують працездатність. Розроблений комплект конструкторської документації.

Ключові слова: пристрій, Raspberry, двигун, акумулятор, модуль, сервопривод, камера.

ANNOTATION

The topic of the diploma project is “Portable land reconnaissance device”, preformed within 60 pages, that include 21 illustrations, 1 table and 2 attachments.

The objective of this project is the development of reconnaissance device, which is going to be controlled via Wi-Fi network or embedded radio module.

For the goal achievement, electromechanical toys market, scientific and military developments of unmanned all-terrain vehicles with similar functionality have been analyzed. The most optimal characteristics have been selected for own realization in this project.

The device has been designed, calculations confirming working capacity have been performed. A set of design documentation has been developed.

Key words: пристрій (device), Raspberry, двигун (engine), акумулятор (battery), модуль (module), сервопривод (servo), камера (camera).


ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до дипломного проєкту

на тему: Портативний наземний розвідувальний пристрій

Київ — 2021 року

ЗМІСТ

Перелік скорочень.....	3
Вступ.....	5
1 Розробка і аналіз завдання на проєкт.....	6
1.1 Аналіз з точки зору конструктора.....	6
1.1.1 Призначення та об'єкт встановлення пристрою.....	6
1.1.2 Умови експлуатації пристрою.....	6
1.1.3 Децимальний номер.....	6
1.1.4 Попередній вибір вигляду корпусу.....	7
1.2 Аналіз з точки зору технолога.....	7
1.2.1 Обґрунтування методу виготовлення друкованої плати.....	7
1.2.2 Вибір матеріалу друкованої плати.....	8
1.2.3 Вибір класу точності плати та щільності виробництва.....	8
2 Огляд аналогів.....	9
3 Функціональна схема та опис елементів.....	16
3.1 Функціональна схема.....	16
3.2 Ядро.....	17
3.3 Модуль камери.....	19
3.4 Сервоплатформа.....	21
3.5 Двигун.....	24
3.5.1 Колекторний двигун.....	24

					PI71.464971.001 ПЗ				
ЗМ.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Портативний назем- ний розвідувальний пристрій	Лім.	Лист	Листів	
Розробив	Мережко М.С.						1		
Перевірів	Попсуй В.І.								
Н. Контр.									
Затвердив						PI-71 РТФ			

3.5.2 Безколекторний двигун	25
3.5.3 Висновки	25
3.5.4 Реалізація	25
3.6 Драйвер двигуна.....	27
3.7 Трансівер.....	28
3.8 Сервопривод	29
3.9 Акумулятор.....	30
4 Проєктування пристрою.....	34
4.1 Структурна схема.....	34
4.2 Опис конструкції.....	35
4.3 Розрахунок надійності материнської плати	41
Висновки	43
Перелік джерел посилань	45
Додатки	

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PI71.464971.001 ПЗ

Лист

2

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ДП – Друкована плата

ОС – Операційна система

ПНРП – Портативний Наземний Розвідувальний Пристрій

ТЗ – Технічне завдання

ШИМ — широтно-імпульсна модуляція

API – Application Programming Interface

BLE – Bluetooth Low Energy

BLDC (motor) – brushless DC electric (motor)

CSI – Camera Serial Interface

CW / CCW – Clockwise/counterclockwise

DC – Direct current, постійний струм

DSI – Display Serial Interface

HS – High speed

GPIO – General-purpose input/output

HDMI – High Definition Multimedia Interface

LAN – Local Area Network, локальна комп'ютерна мережа

MMAL – Multi-Media Abstraction Layer

Mbps – Megabits per second, мегабіти за секунду

LDDR – Low-Power Double Data Rate

LS – Low speed

MIPI – Mobile Industry Processor Interface

MMCX – Micro-miniature coaxial connector

MPEG – Moving Picture Experts Group

OpenGL ES – OpenGL for Embedded Systems

PWM – Pulse-width modulation

SD – Secure Digital – формат флеш-карт

SDRAM – Synchronous Dynamic Random Access Memory, синхронна динамічна пам'ять із довільним доступом

					<i>PI71.464971.001 ПЗ</i>	Лист
						3
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

SoC – System-on-a-Chip, система на кристалі

STEP / DIR – Step-direction interface

UART – Universal Asynchronous Receiver and Transmitter

V4L – Video4Linux, прикладний програмний інтерфейс захоплення відео

VGA – Video Graphics Array

Мережка М.С. РІ-71, 2021

					РІ71.464971.001 ПЗ	Лист
						4
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Розвідка (збір інформації) – не втрачає актуальності в сучасному світі.

Дипломний проєкт присвячений розробці розвідньо-діагностичного пристрою. Специфіка тематики полягає в тому, що у відкритих джерелах не публікуються важливі характеристики подібних пристроїв такі як: робоча частота, метод кодування сигналу, реальна дальність зв'язку, термін дії, швидкість та ін. Це спонукає до пошуку необхідної інформації у відкритих джерелах.

Радіoeлектронні засоби спрощують отримання достовірної інформації без нараження людини на небезпеку. Спеціальні роботизовані пристрої здатні виконувати завдання оперативної розвідки але мають високу ціну. Наразі існують завдання, які необхідно вирішувати із використанням електромеханічних пристроїв за високої технологічності із відносно невисокою ціною. Саме цю задачу необхідно вирішити у даному проєкті.

Радіокеровані розвідувальні пристрої мають перевагу перед розвідкою, що виконується людиною, щонайменше по трьом критеріям:

- компактність – можливість пройти шляхами, що недоступні людям;
- безпека – в процесі розвідки майже відсутня загроза життю оператора;
- можливість проведення безперервної активної відео та аудіо зйомки.

					PI71.464971.001 ПЗ	Лист
						5
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

1 РОЗРОБКА І АНАЛІЗ ЗАВДАННЯ НА ПРОЄКТ

Виходячи з умов технічного завдання, потрібно розробити пристрій, який буде функціонувати за помірною та тропічною кліматом, не зважаючи на погодні умови. При цьому камера має фіксувати зображення за будь-якого рівня освітленості. Пристрій має забезпечувати стабільну роботу якнайменше одну годину.

1.1 Аналіз з точки зору конструктора

1.1.1 Призначення та об'єкт встановлення пристрою

Прилад призначений для розвідки місцевості та збору інформації про оточуючі об'єкти та стан навколишнього середовища.

1.1.2 Умови експлуатації пристрою

Кліматичне виконання за ГОСТ 15150-69 NT-1.

NT – для макрокліматичних районів як із помірним, так і з тропічним кліматом.

1 – для експлуатації на відкритому повітрі.

Об'єкти встановлення відсутні. Розроблюваний пристрій є самостійним і динамічним.

1.1.3 Децимальний номер

46 – засоби радіоелектронні керування, зв'язку, навігації та обчислювальної техніки

464 – радіо приймально-передавальні

4649 – комплекти монтажні та експлуатаційні, тренажери та імітатори, засоби контрольно-випробувальних засобів радіо приймально-передавальних

46497 – засоби контрольно-випробувальні

464971 – програмно-керовані

Децимальний номер – PI71.464971.

					PI71.464971.001 ПЗ	Лист
						6
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

1.1.4 Попередній вибір вигляду корпусу

Аналіз технічного завдання дозволив встановити, що схема має бути максимально захищена від зовнішніх впливів. Корпус має бути достатньо міцним, щоб витримати вібрації різної сили та легкі удари, що можливі при зіткненнях із навколишніми об'єктами та падіння із невеликої висоти (до 1 метра). На рисунку 1.1 наведено зовнішній вигляд моделі.



Рисунок 1.1 – Попередній вигляд корпусу [1]

1.2 Аналіз з точки зору технолога

1.2.1 Обґрунтування методу виготовлення друкованої плати

Оскільки схема, відповідно за завдання, має велику кількість елементів, як поверхневого монтажу, так і вивідні, то дана плата орієнтовно матиме двосторонній монтаж та два шари металізації, тож її доцільно виготовляти комбінованим позитивним методом. При позитивному варіанті комбінованого методу функції захисного шару в процесі травлення виконує гальванічне покриття. Основні переваги полягають в наступному: виключається можливість зриву контактних майданчиків під час свердління отворів; знижується

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

PI71.464971.001 ПЗ

Лист

7

шкідливий вплив хімічних розчинів на ізоляційну основу і на міцність зчеплення фольги з основою плати.[1]

1.2.2 Вибір матеріалу друкованої плати

Матеріалом плати обрано двосторонній фольгований склотекстоліт. Склотекстоліт має високу механічну міцність, термостійкість, низькі втрати, високий поверхневий опір.

1.2.3 Вибір класу точності плати та щільності виробництва

Друкована плата матиме компоненти зі штирьовими і планарними выводами з високим насиченням поверхні ДП елементами, клас точності обираємо – 3.

					PI71.464971.001 ПЗ	Лист
						8
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ОГЛЯД АНАЛОГІВ

Для розробки радіокерованих моделей безпілотних всюдиходів найближчими доступними аналогами є моделі іграшкових автомобілів на дистанційному керуванні, що є у вільному продажу, адже інформацію про більш високоточну апаратуру отримати складно.

Суттєвою відмінністю від розроблюваного приладу є ігрове призначення більшості аналогів, радіус прийому-передачі сигналу та спосіб керування. У більшості випадків керування здійснюється через смартфон або спеціальний пульт, що розроблюється у базовій комплектації.

У випадку даного проєкту призначення – розвідково-дослідне, запланований радіус прийому-передачі інформації значно вищий (до десятків кілометрів), також вища енергоємність. Керування вестиметься через персональний комп'ютер оператора. Окрім цього можливе внесення додаткових функцій та модулів. Розрахунок іде на більш високу потужність та точність, а, отже, і вартість апарату. Перший аналог наведено на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – Автомобіль на дистанційному керуванні, модель 105-942-419, виробник W-star [2]

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PI71.464971.001 ПЗ

Лист

9

Основні характеристики моделі на рисунку 2.1:

- а) швидкість 25 км/год;
- б) ємність акумулятора 6 В, 500 мА·год;
- в) приблизний час роботи 15 хвилин;
- г) камера:
 - 1) кут вертикального повороту 60 °;
 - 2) розширення 720 р;
- д) режими керування:
 - 1) радіоконтролер з частотою 2,4 ГГц (максимальна величина віддалення 80 м);
 - 2) мобільний додаток через WI-FI (максимальна величина віддалення 35 - 40 м);
- е) габаритні розміри, мм: 320 x 195 x 120

Наступний варіант реалізації наведено на рисунку 2.2.



Рисунок 2.2 – Автомобіль на дистанційному керуванні, модель 4WD Off-Road, виробник WEHOLY [3]

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PI71.464971.001 ПЗ

Лист
10

Основні характеристики моделі на рисунку 2.2:

- а) швидкість 25 км/год;
- б) ємність акумулятора 800 мА·год; (8,4 В)
- в) приблизний час роботи 30 хвилин;
- г) камера відсутня;
- д) режим керування: радіоконтролер з частотою 2,4 ГГц (максимальна величина віддалення 80 м);
- е) габаритні розміри, мм 530 x 330 x 310

Остання розглянута в даному проєкті реалізація із ринкових моделей наведена на рисунку 2.3.



Рисунок 2.3 – Автомобіль на дистанційному керуванні, модель 290455A5, виробник TOOGOO [4]

Основні характеристики моделі на рисунку 2.3:

- а) швидкість 20 км/год;
- б) ємність акумулятора 500 мА·год; (6 В)
- в) приблизний час роботи 15 хвилин;
- г) камера:

1) статична ;

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PI71.464971.001 ПЗ

Лист

11

- 2) розширення 720 p;
- д) режими керування:
 - 1) радіоконтролер з частотою 2,4 ГГц (максимальна величина віддалення 50 м);
 - 2) Bluetooth (максимальна величина віддалення 25 м);
- е) габаритні розміри, мм: 315 x 193 x 120

Виходячи з наведених прикладів, вочевидь, що ринкові аналоги різняться здебільшого корпусами, характеристиками камери та специфікою режимів керування. У силу відсутності необхідності у високій точності наведені вище варіанти розроблені на основі дешевих мікроконтролерів, мають малопотужні акумулятори та двигуни, невеликий радіус роботи та неякісні камери.

Далі наведено більш актуальні варіанти, що слугуватимуть прототипами розроблюваного пристрою.

Дещо ускладнену реалізацію показано на рисунку 2.4

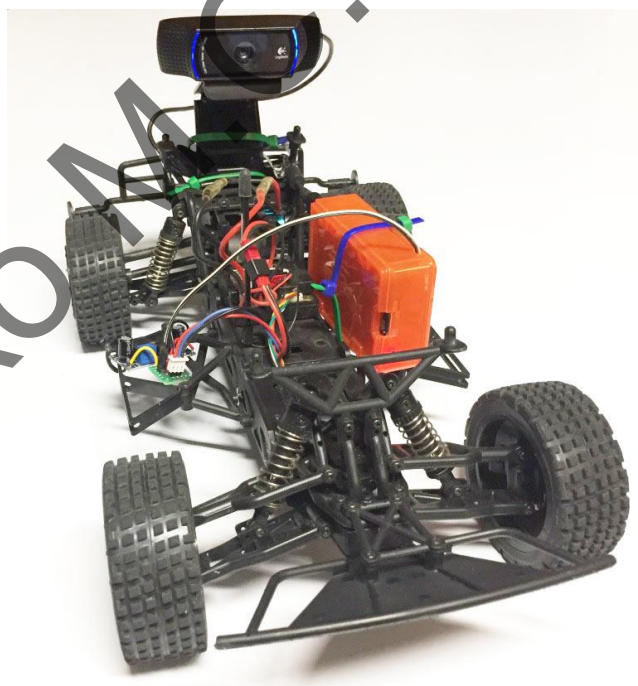


Рисунок 2.4 – Raspberry Pi WI-FI USB Webcam RC Car [5]

На рисунку 2.4 наведено прототип, розроблений на основі мікрокомп'ютера Raspberry Pi 3. У цьому випадку задіяно камеру Logitech C920 USB. Використано літій-іонний акумулятор 7,4 В, 1800 мА·год, який підключається через стабілізатор напруги LM2596. Шасі взято аналогічне версії серійного виробництва Lutema Baja HYP-R RC Car із кроковим двигуном моделі 390. Розвиває швидкість до 60 км/год. Максимальне віддалення 100 м.

Модуль передачі налаштовано на трансляцію відеопотоку на будь-яке приймаюче обладнання через браузер за допомогою програмного забезпечення MJPG Streamer. [5]

Альтернативна саморобна реалізація показана на рисунку 2.5.



Рисунок 2.5 – Raspberry Pi Remote Controlled Car [6]

Проект, що зображено на рисунку 2.5, модифікує машину на дистанційному керуванні виробника Traxxas, що у дозволяє керувати нею через

					PI71.464971.001 ПЗ	Лист
						13
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

комп'ютер. Ідея полягає в управлінні автомобілем, який підключається до певної локальної мережі, що дозволяє керувати ним в межах досяжності сигналу цієї мережі з будь-якої точки.

Функцію ядра виконує Raspberry Pi 3 із картою пам'яті. У якості рушійної сили було обрано кроковий двигун Pi-Pan моделі PiPanKit-MG. Акумулятор – FOXNOV 5000mAh Portable Charger, з портативним зарядним пристроєм. Камера стандартна від виробника Raspberry Pi. Для покращення якості та стабільності сигналу задіяно далекобійний Wi-Fi модуль з підсилюючою антеною. Основою для ходової системи слугує шасі Traxxas RC Car. Швидкість залежить від комплектації, базової та подальшої прошивки контролера. Час роботи за один сеанс може сягати кількох годин.

Конструкція передбачає встановлення додаткових модулів довільного призначення та внесення програмних коректив або інновацій в усіх можливих напрямках. [6]

У висновку можна зазначити що:

- 1) електромеханічні радіокеровані іграшки можуть виконувати функції розвідки;
- 2) специфічні високоточні та якісні пристрої заданої теми у вільному доступі відсутні;
- 3) наявні у вільному доступу аналоги – малопотужні та неефективні для наукових, дослідних та розвідних цілей;
- 4) розроблені інженерами радіолюбительські пристрої слугуватимуть основними прототипами, на основі яких буде вестись робочий процес у даному дипломному проєкті;
- 5) розроблюваний пристрій заплановано обладнати таким чином, щоб основні характеристики були наступними:
 - швидкість – 30 - 50 км/год;
 - приблизний час роботи – 1 - 2 год;
 - віддалення: пристрій має працювати в будь-якій точці світу, де наявна мережа незалежно від геолокації оператора;

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

PI71.464971.001 ПЗ

Лист

14

- камера: SANNCE 720 P, динамічна із функцією нічного бачення;
- необхідно також обладнати пристрій трекером (з англ. to track «просліджувати, слідувати, намічати курс») – пристроєм із окремим джерелом живлення, що дозволить відстежувати геолокацію апарату при розрядженому акумуляторі, та у випадку непередбачених подій, дасть змогу операторові знайти та забрати РКРП;

6) необхідна заміна акумулятора на більш потужний. За характеристиками можливий Fullymax 7,4 В 7500 mAгод. або його аналоги;

7) для спрощення конструкції та покращення працездатності пристрою пропонується замінити ядро пристрою на мікроконтролер із вбудованим програматором та модулем бездротової мережі. Наприклад: ESP8266, що окрім інших переваг надає можливість створення закритого каналу зв'язку і керування.

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PI71.464971.001 ПЗ

Лист
15

3 ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА ТА ОПИС ЕЛЕМЕНТІВ

3.1 Функціональна схема

На рисунку 3.1 зображено умовно загальний вигляд розроблюваного виконавчого модуля.

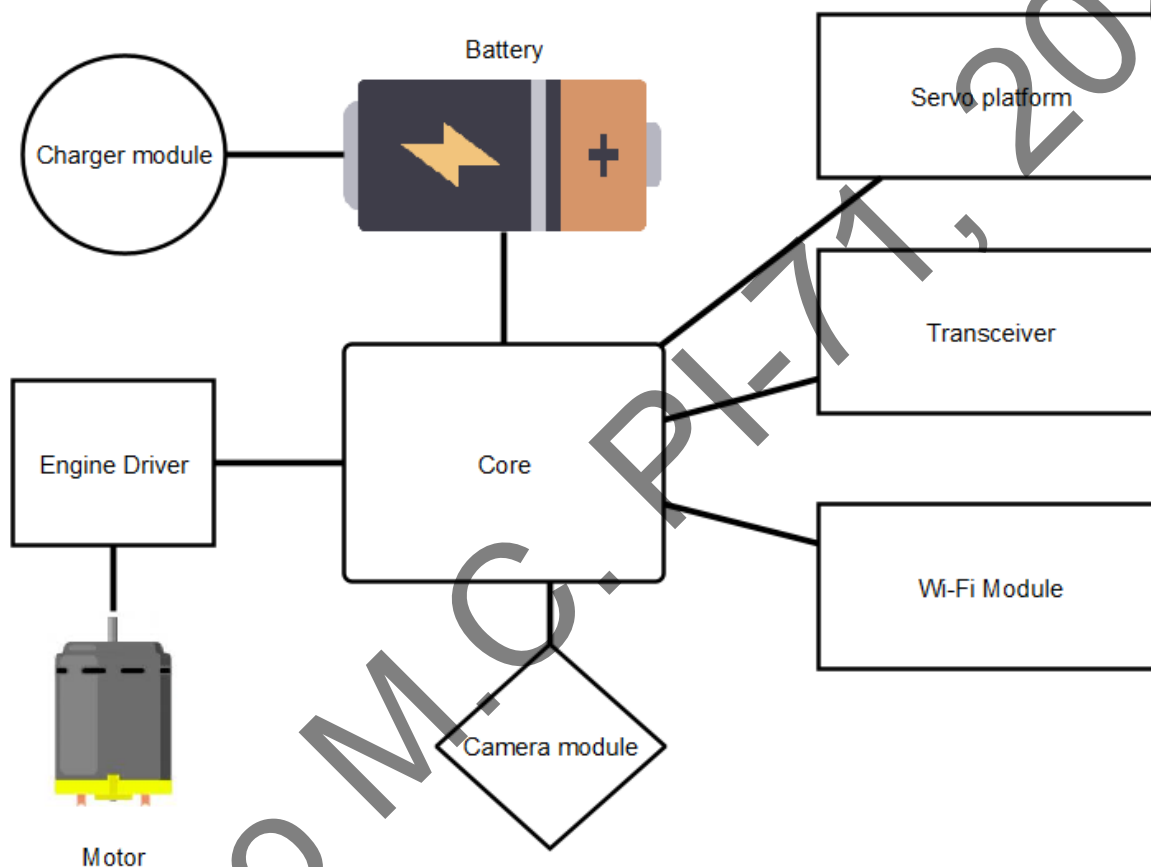


Рисунок 3.1 – Функціональна схема ПНРП

Оскільки, основна задача дипломного проекту – розробка технологічного, відносно недорогого пристрою, усі модулі будуть взяті як окремі готові одиниці у найбільш оптимальній комплектації з дотриманням вимог виробника стосовно електричної сумісності та розрахунком параметрів кола, відносно яких додаватимуться елементи обв'язки.

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

PI71.464971.001 ПЗ

Лист

16

3.2 Ядро

Ядро (core) – основна частина пристрою. Відповідає за контроль та реалізацію усіх функцій системи. У даному проєкті ядром було обрано Raspberry Pi 3 Model B+, що являє собою повноцінний мікрокомп'ютер, а отже має значно ширший функціонал за мікроконтролери.

Основні переваги Raspberry Pi перед аналогами:

- дешевизна (35 – 50 \$);
- розміри, мм 85,6 x 56 x 21, вага 45 грам;
- універсальність використання та підтримка усіх загальноновживаних мов програмування;
- вбудовані модулі широкого функціоналу;
- підтримка відео та аудіо потоків без додаткового обладнання.

Далі на рисунку 3.2 наведено зовнішній вигляд ядра даного проєкту.

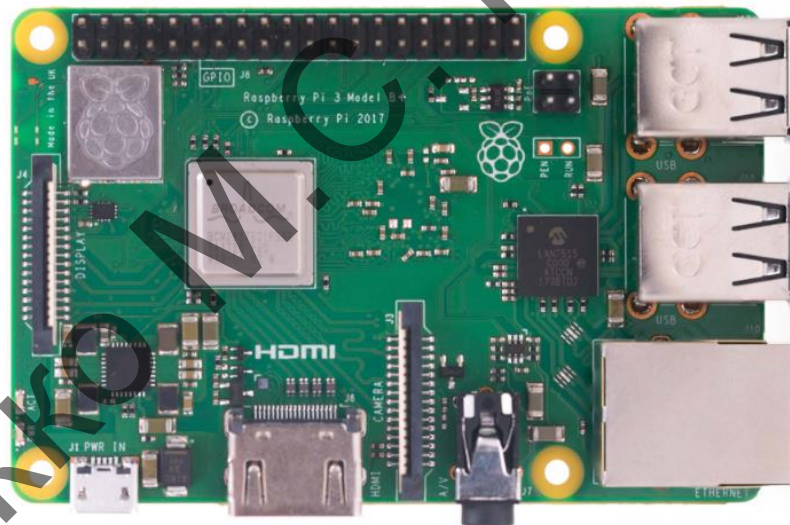


Рисунок 3.2 – Зовнішній вигляд Raspberry Pi 3 Model B+ [7]

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PI71.464971.001 ПЗ

Лист

17

Технічні характеристики Raspberry Pi 3 Model B+.

Процесор:	Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 64-bit SoC @ 1,4 ГГц
Пам'ять:	1GB LPDDR2 SDRAM
Зв'язок:	<ul style="list-style-type: none">– 2,4 ГГц та 5 ГГц IEEE 802.11.b/g/n/ac бездротова LAN, Bluetooth 4.2, BLE;– Gigabit Ethernet USB 2.0 (максимум 300 Mbps) ;– 4 × USB 2.0 порти.
Ввід/вивід:	40 портів GPIO
Відео та звук:	<ul style="list-style-type: none">– 1 повно розмірний HDMI;– MIPI DSI порт дисплею;– MIPI CSI порт камери;– 4-х полюсний стерео вихід і композитний відео порт.
Мультимедіа:	H.264, MPEG-4 дешифрування (1080p30); H.264 шифрування (1080p30); графіка OpenGL ES 1.1, 2.0
Підтримка SD карти:	Формат мікро SD карт для завантаження ОС та зберігання даних
Живлення:	<ul style="list-style-type: none">– 5 В/2.5 А DC через мікро USB конектор;– 5 В DC через GPIO порт;– Режим Power over Ethernet (PoE).
Робоча температура:	0–50 °C
Інформація з [8]	

					PI71.464971.001 ПЗ	Лист
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		18

Нумерацію та порядок виводів зображено на рисунку 3.3.

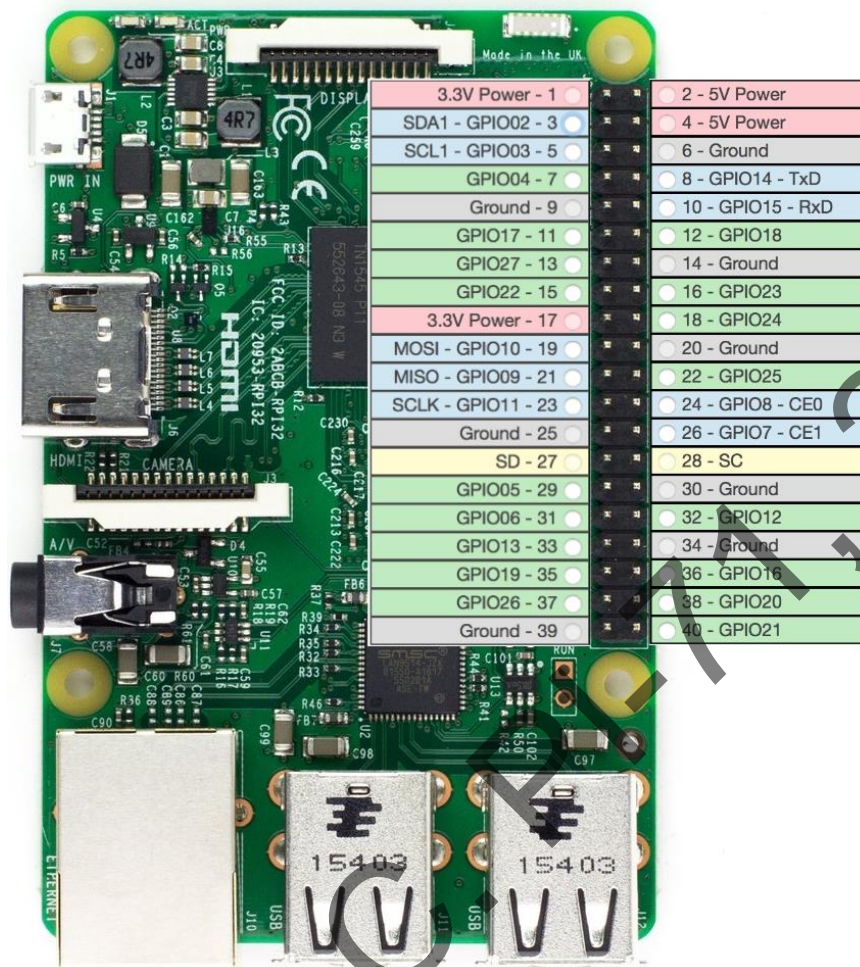


Рисунок 3.3 – Pinout Raspberry Pi 3 Model B+ [9]

3.3 Модуль камери

Модуль камери (camera module) має бути сумісним із ядром. Підключення камери до керуючого пристрою відбувається через відповідний драйвер.

На роль камери було обрано модуль від Raspberry Pi Foundation, що є розробником ядра, обраного для даного пристрою. Даний виробник має низку продуктів, що виконують необхідні функції. Наприклад Raspberry Pi High Quality Camera, що має значні переваги над обраним модулем. Але такі компоненти мають значно вищу ціну (порядку 50 £ сам модуль і ще 25-40 £

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PI71.464971.001 ПЗ

Лист

19

об'єктив). Тому для даного проєкту обрано Raspberry Pi NoIR Camera V2 (ціна виробника 24 £).

Такий вибір модулю камери пов'язаний в першу чергу із тим, що всі продукти, розроблені компанією Raspberry Pi Foundation є взаємно сумісними та показують високі показники ефективності при використанні в єдиному пристрої. Зовнішній вигляд модулю наведено на рисунку 3.4.



Рисунок 3.4 – Зовнішній вигляд модулю Raspberry Pi NoIR Camera V2 [10]

Як видно з рисунку 3.5, обраний модуль камери виконано на невеликій ДП із стрічковим кабелем довжиною 150 мм, що дозволяє довільно позиціонувати камеру в просторі.

Raspberry Pi NoIR Camera V2 має 8-ми мегапіксельний сенсор Sony IMX219. Він підтримує режими відео 1080p30, 720p60 и VGA90, а також фотозйомку.

					PI71.464971.001 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		20

Камера працює з усіма моделями Raspberry Pi 1, 2, 3 і 4. Доступ до неї можна отримати через API MMAL і V4L, і для неї створені численні сторонні бібліотеки, в тому числі бібліотека Picamera Python.

NoIR означає No Infrared. Ця версія камери дозволяє отримувати якісні зображення за поганого освітлення чи взагалі без нього за допомогою декількох інфрачервоних світлодіодів.

3.4 Сервоплатформа

Сервоплатформа (сервоприводний маніпулятор) – механічний прилад, що складається із двох або більше сервоприводів, які програмним чином керують положенням власних вузлів у просторі.

Оскільки у проєкті передбачено камеру як рухомий елемент із великим кутом повороту, необхідне використання маніпулятора, що являє собою послідовне з'єднання декількох взаємно незалежних сервоприводів із камерою на кінці.

Основними вимогами до сервоплатформи є:

- а) сумісність із ядром;
- б) компактність;
- в) легкість;
- г) дешевизна;
- д) дві осі обертання;
- е) простота конструкції;
- ж) доступність деталей на заміну.

Виходячи із потреб описаних вище, було обрано PT Pan/Tilt Camera Platform Anti-Vibration Camera Mount виробника winwill, зовнішній вигляд якого наведено на рисунку 3.5.

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PI71.464971.001 ПЗ

Лист

21



Рисунок 3.5 – Сервоплатформа [11]

Дана сервоплатформа не включає у свій склад сервоприводи та камеру.

Для цілей даного проекту підходить одна із найбільш відомих моделей сервоприводів – SG90. А саме: Tower Pro SG90. Вартість даної моделі складає від 1 до 2 доларів. Це одна із найбюджетніших версій доступних на ринку, яка, проте, має цілком прийнятні характеристики.

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PI71.464971.001 ПЗ

Лист

22

На рисунку 3.6 зображено зовнішній вигляд обраного компоненту.



Рисунок 3.6 – Tower Pro SG90 [12]

Характеристики Tower Pro SG90 [12]:

Вага:	9 г
Розміри:	21,5 x 11,8 x 22,7 мм
Швидкість без навантаження:	60 градусів/0,12 с (4,8 В)
Пусковий момент:	1,2 - 1,4 кг/см (4,8 В)
Робоча напруга:	4,8 - 6 В
Робоча температура:	Від -30 до +60 °С

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PI71.464971.001 ПЗ

Лист
23

3.5 Двигун

Очевидно, що для моделей таких масштабів необхідним є використання компактного електродвигуна середньої потужності. Схема можливих варіантів реалізації показана на рисунку 3.7.

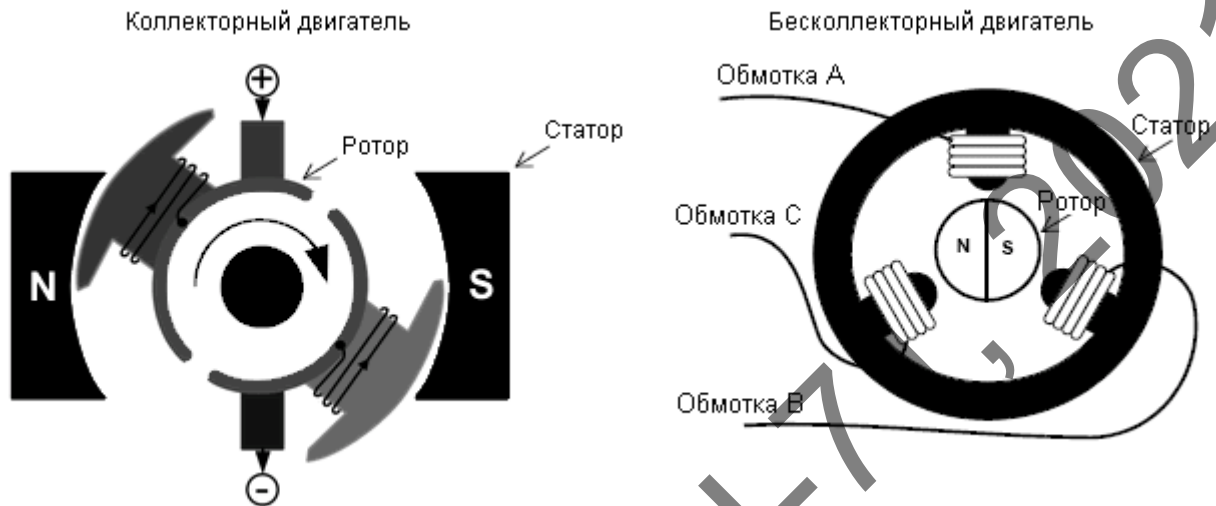


Рисунок 3.7 – Колекторний і безколекторний двигуни [13]

Порівняємо характеристики колекторного двигуна із безколекторним.

3.5.1 Колекторний двигун

Колекторний електродвигун – це електричний механізм, в якому датчиком положення ротора і перемикачем струму в обмотках є один і той же пристрій – щітково-колекторний вузол.

Основні елементи двигуна даного типу – це ротор (рухома частина) і статор (нерухома частина) (рис. 3.7).

У середині корпусу (статора) обертається рухомий ротор з мідною обмоткою. З одного боку валу ротора встановлена передавальна шестерня, або шків, а з іншого - колектор, який, по суті, є набором контактів.

На статорі розташовані графітові щітки, що контактують з колектором. Щітки призначені для передачі електроенергії на обмотку ротора.

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

PI71.464971.001 ПЗ

Лист

24

Для умов бездоріжжя та можливої підвищеної запиленості та вологості перспективнішим є використання безколекторного мотору.

Основні переваги двигунів даного типу – дешевизна та простота експлуатації і технічного обслуговування.

Із недоліків можна відмітити відносно невисокий ККД (близько 60%), порівняно низьку швидкість, низьку зносостійкість та високе енергоспоживання. [14]

3.5.2 Безколекторний двигун

Безконтактний (безколекторний, вентильний) електродвигун — тип синхронної машини, що реалізується в замкнутій системі за допомогою датчика положення ротора, системи керування (перетворювач координат) і силового напівпровідникового перетворювача. Їх часто також називають двигунами постійного струму або оберненою машиною постійного струму.

Основні переваги двигунів даного типу: високий ККД (92%), висока потужність та зносостійкість, високий ступінь захисту від пилу та в'язкого бруду та значна швидкість (кращі представники розвивають швидкість до 260 км/год).

Основні недоліки складають висока вартість та велика вага.

3.5.3 Висновки

Виходячи із умов експлуатації, а саме – можливості використання при поганих погодних умовах (дощ, туман тощо) та у місцевостях із підвищеною концентрацією пилу та за можливості потрапляння в'язкого бруду у тіло двигуна, — найбільш оптимальним є використання безколекторного двигуна.

3.5.4 Реалізація

За технічними характеристиками та вартістю компонента, найбільш оптимальним доступним рішенням є сенсорний мотор HOBBYWING XERUN 3650.

Зовнішній вигляд обраного двигуна показано на рисунку 3.8.

					PI71.464971.001 ПЗ	Лист
						25
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.8 – Сенсорний мотор HOBBYWING XERUN 3650 [15]

Характеристики HOBBYWING XERUN 3650 [15].

Типорозмір:	3650
Оберти/Вольт (KV):	4000
Кількість витків:	8,5 T
Живлення:	7,4 — 11,1 В
Струм покою:	3 А
Максимальний тривалий струм:	35 А
Максимальна споживана потужність:	115 Вт
Діаметр валу:	3,17 мм
Довжина валу:	15 мм
Довжина без валу:	52,5 мм
Загальний діаметр:	35,8 мм
Діапазон робочих температур:	-20 °C – +40 °C

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PI71.464971.001 ПЗ

Лист

26

3.6 Драйвер двигуна

Драйвер мотора (двигуна) (engine driver) – це електронний силовий пристрій, який на підставі цифрових сигналів управління управляє високоточними та високовольтними обмотками двигуна і дозволяє йому робити кроки або обертатися.

Було обрано DRV10970PWP – це інтегрований драйвер трифазних двигунів BLDC для побутових приладів, вентиляторів охолодження та інших програм управління загальним призначенням. Цей драйвер моторів і відповідні Python бібліотеки дозволяють керувати безколекторним сенсорним двигуном без додаткових елементів.

Обраний двигун має невеликий форм-фактор та просту структуру виводів, завдяки чому зменшено складність конструкції та розмір компоненту, що у свою чергу впливає на зменшення вартості мікросхеми.

Вихідний каскад складається із трьох напівмостів. Кожен напівміст здатен забезпечити до 1 А середньоквадратичного значення струму та піковий вихідний струм 1,5 А. Після переходу у сплячий режим пристрій споживає струм близько 35 мкА.

У драйвер вбудовано вдосконалений алгоритм комутації синусоїдального сигналу на 180° , що забезпечує високий рівень ефективності та низькі пульсації обертаючого моменту.

Наявна функція адаптивного регулювання кута повороту, що забезпечує найбільш оптимальну ефективність незалежно від параметрів двигуна та умов навантаження.

Технічні характеристики DRV8835:

- 1) Живлення напругами від 5 до 18 В
- 2) Вбудовані алгоритми комутації синусоїдального сигналу на 180° та трапецоїдального сигналу
- 3) Наднизьке споживання струму у сплячому режимі (35 мкА)
- 4) Адаптивне регулювання кута повороту
- 5) Один чи три датчики Холла

					PI71.464971.001 ПЗ	Лист
						27
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

- 6) Контроль напрямку обертання мотору
- 7) Програмована функція контролю струму
- 8) Вбудований тахометр на виводі FG
- 9) Повідомлення про блокування двигуна через вивід RD
- 10) Захисні функції
 - Блокування наднизької напруги живлення
 - Обмеження струму за циклом
 - Захист від перевантаження
 - Відключення при перегріві
 - Виявлення та повідомлення про блокування двигуна [16]

3.7 Трансівер

Прийомопередавач або трансівер (transceiver) у даній розробці є необхідним на випадок обриву зв'язку через Wi-Fi. Основними вимогами є невисоке споживання енергії та відносно великий радіус дії (як мінімум 1 км).

Під описані вище вимоги підходить радіо модуль на основі чіпу NRF24L01.

Це бюджетний модуль українського виробництва із досить простою схемою роботи, що призначений для телеметрії, дистанційного керування, створення бездротової мережі, пожежної безпеки, сигналізації тощо.

Модуль виконано зі з'ємною зовнішньою антеною (що за необхідності може бути замінена на потужнішу) радіусом дії до 1100 м у базовій конфігурації. Робоча частота модулю 2,4 ГГц.

Робоча напруга складає від 3 до 3,6 В, споживаний струм за нульової потужності становить 45 мА, максимальний споживаний струм – 115 мА за максимальної потужності + 20 дБм.

Максимальний коефіцієнт підсилення даного модуля – 2dBi, швидкість передачі – 2 Мбіт/с у відкритому просторі за віддалення не більше 520 м. 1 Мбіт/с – за віддалення до 750 м. За віддалення близького до максимальної дальності дії антени швидкість передачі не перевищує 250 Кб/с. Модуль ке-

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PI71.464971.001 ПЗ

Лист

28

рується інтерфейсом SPI. [17] Радіо модуль з антеною наведено на рисунку 3.9.



Рисунок 3.9 – Радіо модуль NRF24L01 бездротовий [17]

У зв'язку із описаними вище характеристиками, а саме – обмеження швидкості передачі даних та невисока потужність модуля, передача відео через даний радіо модуль буде виконуватися у монохромному форматі задля збереження швидкодії.

3.8 Сервопривод

Даний компонент не вказано у функціональній схемі, оскільки він, фактично, є частиною рульової системи шасі. У даному проєкті не передбачено розробку та конструювання останніх, а тому опис сервоприводу приведено у якості інформації для довідок.

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PI71.464971.001 ПЗ

Лист

29

Сервопривод (також серводвигун, сервомеханізм) — це пристрій в системах автоматичного регулювання або дистанційного керування, що за рахунок енергії допоміжного джерела здійснює механічне переміщення регулюючого органу відповідно до отримуваних від системи керування сигналів.[18]

У радіокерованих автомобілях сервоприводи використовуються для керування кутом повороту та, власне, для його здійснення.

3.9 Акумулятор

Для підбору акумулятора насамперед необхідно розрахувати оптимальну ємність заряду. Розрахунок буде вестися за приблизною спрощеною формулою:

$$Q = \frac{P \cdot t}{V \cdot k}, \quad (3.1)$$

де Q – необхідна ємність акумулятора, А·год, P – наявне навантаження, Вт, V – напруга кожної акумуляторної батареї, В, t – час резервування, год, k – коефіцієнт використання ємності акумуляторів (кількості електричної енергії, припустимої для використання споживачами). [19]

Виходячи із характеристик двигуна, батареї слід брати напругою рівною максимальній напрузі на обмотці двигуна, тобто 11,1В. Закладений час роботи складає не менше 1 години. Для підвищення зносостійкості коефіцієнт k було обрано значенням 0,7. Для розрахунку загального навантаження системи необхідно оцінити навантаження кожного елемента.

Максимальна споживана потужність для Raspberry складає 10,5 Вт (із технічної документації).

Модуль камери живиться від ядра, тому окремого навантаження не створює.

Максимальна споживана потужність двигуна складає 115 Вт (із технічної документації).

					PI71.464971.001 ПЗ	Лист
						30
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Потужність трансівера можна розрахувати через максимальний споживаний струм та напругу живлення:

$$P_t = I_t \cdot U_t = 115 \text{ мА} \cdot 3 \text{ В} = 0,345 \text{ Вт.} \quad (3.2)$$

Максимальне споживання більшості розповсюджених сервоприводів не перевищує 0,5-1 Вт.

Отже, загальна споживана потужність складає 128,845 Вт.

Із формули (3.1) випливає:

$$Q = \frac{128,845 \cdot 1}{11,1 \cdot 0,7} \approx 16,58 \text{ А}$$

Для гарантії оптимальної роботи всіх компонентів та забезпечення запасу заряду бажано використовувати елемент живлення дещо більшої ємності, ніж оптимальна.

					PI71.464971.001 ПЗ	Лист
						31
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Отже, виходячи із потреб напруги живлення, активного споживання струму, сумісності із іншими модулями та енергоемності, було обрано акумулятор Fullymax 11.1V 17500mAh Li-Po 3S 15C UAV. Ринкове зображення показано на рисунку 3.10.



Рисунок 3.10 – Зовнішній вигляд обраного акумулятора [20]

Літій-іонний полімер (Lithium Ion Polymer, або Li-Ion Pol), або Li-Po – найпоширеніший на сьогоднішній день тип батарей, який використовується у всьому мобільному портативному обладнанні.

Дані пристрої забезпечені універсальними контактними виводами, а вбудована електронна схема запобігає перезаряду і перегріву акумулятора внаслідок занадто інтенсивного використання.

Елемент має наступні характеристики [20]:

Висота: 37 мм
Довжина: 195 мм

					PI71.464971.001 ПЗ	Лист
						32
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Ширина:	70 мм
Ємність акумулятора:	17500 мА·год
Вихідна напруга:	11,1 В
Номінальний струм розряду:	15С
Максимальний струм розряду:	30С
Кількість банок:	3S
Роз'єм:	XT60
Вага:	1080 г
Номінальний струм заряду:	до 2С
Максимальний струм заряду:	не більше 5С

У таблиці номінальний та максимальний струми заряду і розряду вказані із використанням специфічної характеристики – так званого C-rate, що описує міру швидкості, з якою акумулятор заряджається або розряджається. Ця характеристика визначається як струм через акумулятор, розділений на теоретичний споживаний струм, за якого батарея буде забезпечувати власну номінальну ємність за 1 годину. Одиниці виміру даної величини – це год⁻¹.

Через втрату внутрішнього опору та хімічних процесів всередині елементів батарея рідко забезпечує номінальну ємність всього за 1 годину.

Як правило, максимальна ємність досягається за низької швидкості С, а зарядка чи розрядка за високої швидкості С скорочує строк служби та ємність акумулятора.

C-rate використовується у якості оцінки батарей для зазначення максимального струму, який може бути забезпечений елементом у колі без ризику втрати працездатності. [21]

					PI71.464971.001 ПЗ	Лист
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		33

4 ПРОЄКТУВАННЯ ПРИСТРОЮ

4.1 Структурна схема

На рисунку 4.1 наведено структурну схему розроблюваного пристрою.

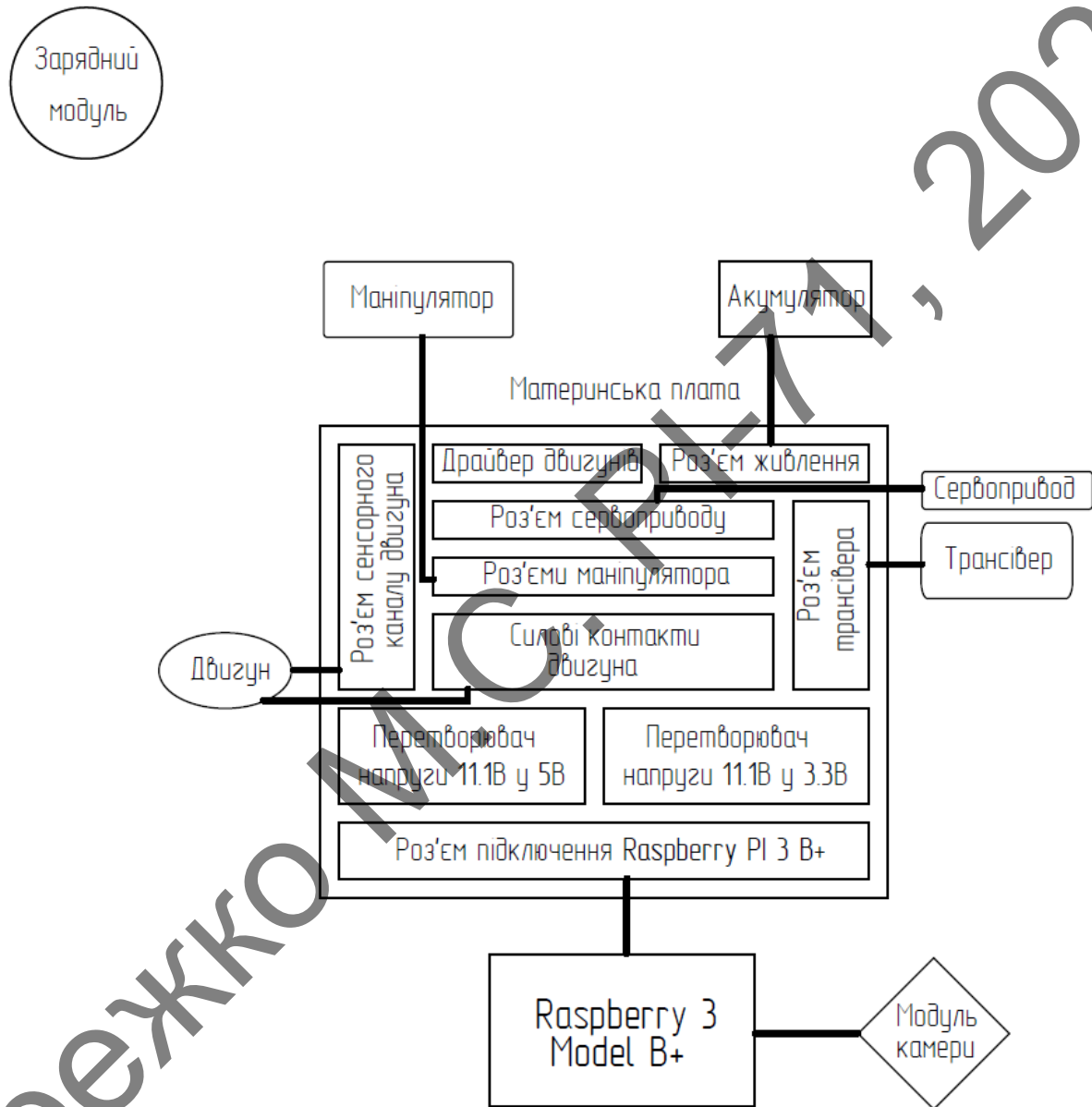


Рисунок 4.1 – Структурна схема ПНРП

Як видно зі схеми, для функціонування пристрою є необхідною наявність і розробка об'єднуючої материнської плати, у якій буде реалізовано подачу енергії на складові від обраного елемента живлення. Окрім цього, мате-

ринська плата має об'єднати у собі контакти усіх компонентів пристрою і реалізувати подачу сигналів на ядро та від нього для кожного структурного елементу.

Модуль камери живиться напряму від Raspberry і являє собою незалежний вузол.

4.2 Опис конструкції

За основу конструкції було взято шасі WPL D12 4x4 1/10 (рисунок 4.2-а) та корпус Euromas II (рисунок 4.2-б).

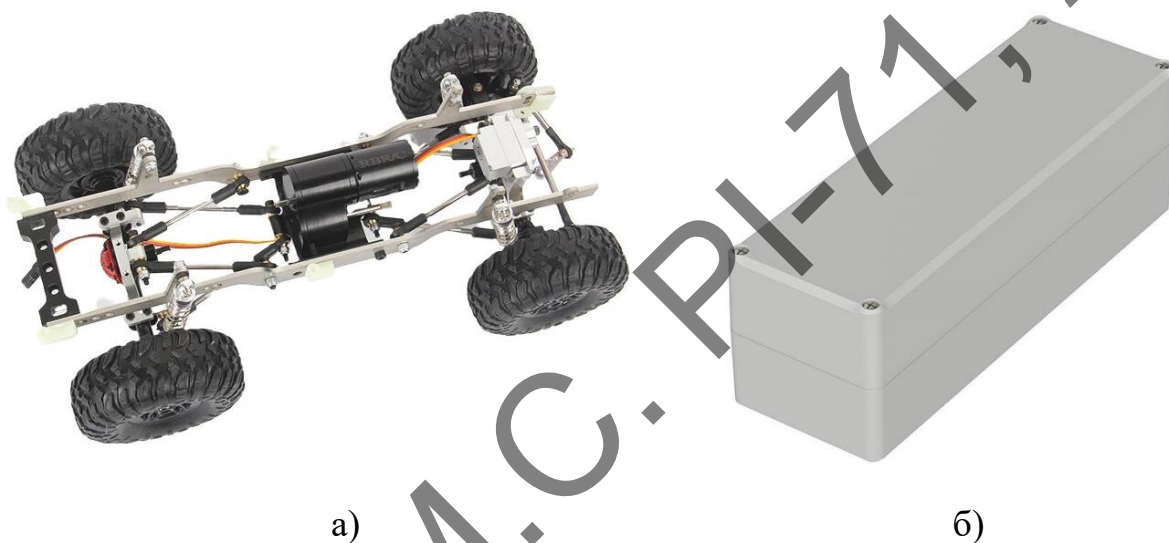


Рисунок 4.2 – Складові ПНРП:

а – WPL D12 4x4 1/10 [22]; б – Euromas II [23]

Шасі являють собою відносно недорогою комплектацію із м'якою підвіскою, великими колесами із високою прохідністю на пересічній місцевості та активною рульовою системою. Дана модель повністю відповідає вимогам ТЗ.

Корпус було підібрано виходячи першочергово із габаритів акумулятора із прорахунком можливості розміщення всіх комплектуючих по висоті. Габаритні розміри корпусу складають 240 x 80 x 80. Матеріал – АБС пластик.

АБС-пластик (Акрилонітрилбутадієнстирол) — термопластичний листовий конструкційний матеріал. Температура склування становить близько

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

PI71.464971.001 ПЗ

Лист
35

105°C. АБС-пластик є аморфним матеріалом, а отже, не має чітко визначеної температури плавлення. Матеріал має підвищену ударостійкість і пружність.
[24]

Варто також ввести поняття ступеню захисту оболонки для розуміння характеристик описаного вище матеріалу.

Ступінь захисту — міра захисту, що перевіряється стандартними методами випробувань, який забезпечується оболонкою від доступу до небезпечних частин (небезпечних струмопровідних і небезпечних механічних), попадання зовнішніх твердих предметів та (або) води всередину оболонки.

Перша цифра класифікатора вказує на ступінь захисту, що забезпечує оболонка. Якщо вона дорівнює 0, то оболонка не забезпечує захист ні від доступу до небезпечних частин, ні від проникнення зовнішніх твердих предметів. Перша цифра класифікатора 1 — вказує на те, що оболонка забезпечує захист від доступу до небезпечних частин тильною стороною руки, 2 — пальцем, 3 — інструментом, 4, 5 і 6 — дротом. При першій цифрі класифікатора, яка дорівнює 1, 2, 3 і 4, оболонка забезпечує захист від зовнішніх твердих предметів діаметром більше або рівним відповідно 50; 12,5; 2,5 і 1,0 мм. При цифрі 5 оболонка забезпечує частковий, а при цифрі 6 — повний захист від пилу.

Друга цифра класифікатора вказує ступінь захисту обладнання, яку забезпечує оболонка, від шкідливої дії води. Якщо друга цифра дорівнює 0, то оболонка не забезпечує захисту від шкідливої дії води. Друга цифра класифікатора 1 — вказує на те, що оболонка забезпечує захист від вертикально падаючих крапель води; 2 — від вертикально падаючих крапель води, коли оболонка відхилена на кут до 15 °; 3 — від води, що падає у вигляді дощу; 4 — від суцільного кроплення; 5 — від водяних струменів; 6 — від сильних водяних струменів; 7 — від впливу при тимчасовому (нетривалому) зануренні у воду; 8 — від впливу при тривалому зануренні у воду; 9 — в умовах високотемпературного миття навіть при високому тиску води.[25]

					PI71.464971.001 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		36

Для даного корпусу заявлено ступінь захисту IP 65, що означає повний захист від пилу і бруду та захист від вологи без занурення у воду та напрямлених сильнодіючих струменів води, що відповідає заявленим у ТЗ вимогам.

У середовищі Компас-3D було розроблено макет пристрою (рис. 4.3 та 4.4).

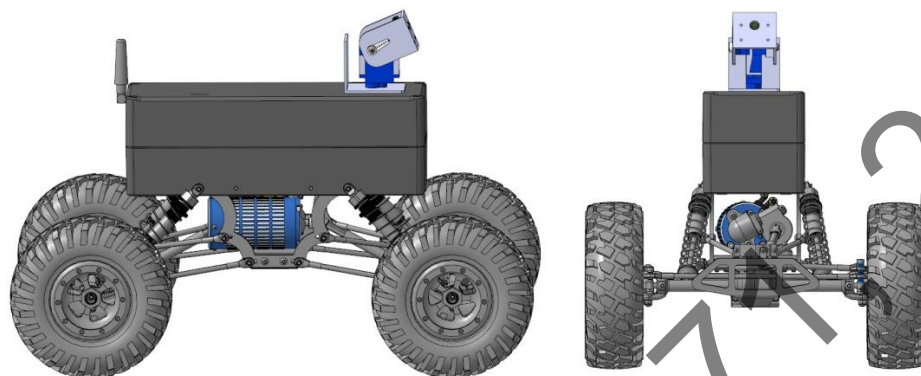
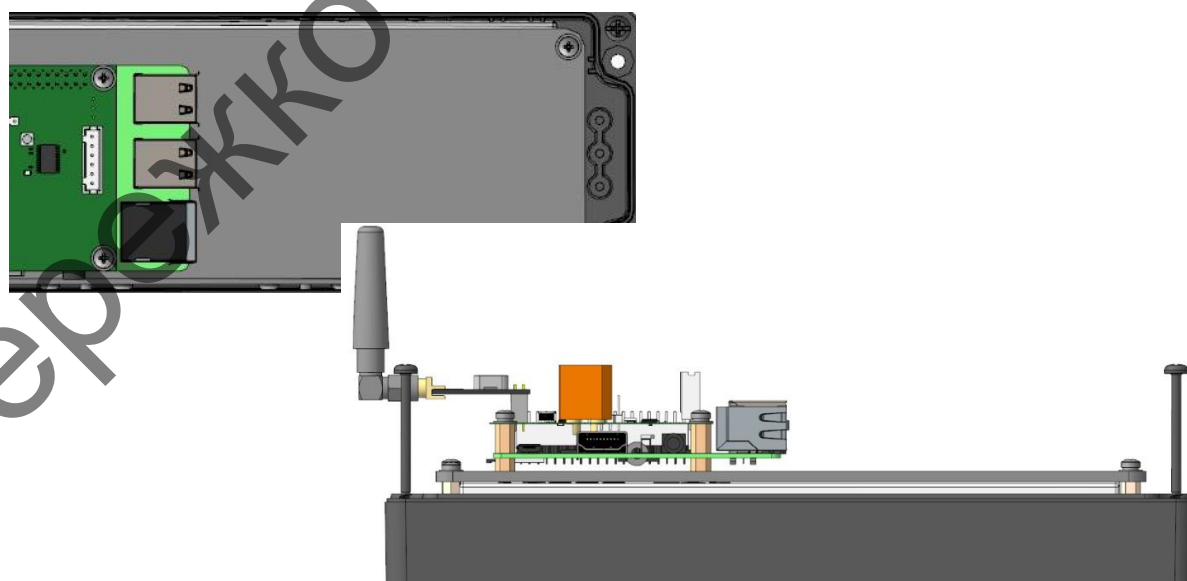


Рисунок 4.3 – Попередній вигляд корпусу



Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

PI71.464971.001 ПЗ

Лист
37

Рисунок 4.4 – Внутрішня комплектація

Як видно із рисунку 4.3, шасі кріпляться до корпусу боковими гвинтами, двигун встановлено у спеціальний паз, призначений для нього, та зафіксовано спеціальними кріпленнями.

Акумулятор розташовано у нижній частині корпусу і закріплено пластиною на чотирьох шестигранних різьбових стійках, що у свою чергу фіксуються гвинтами М3.

На 3-х міліметровій пластині (із АБС пластику), яка також є основою для кріплення ДП (рис. 4.4.), розташовано 4 шестигранні різьбові стійки, на яких у свою чергу розміщується модуль Raspberry, на ній аналогічно – материнська плата і згори – модуль трансівера. Уся конструкція кріпиться наскрізно гвинтами М3 довжиною 16 мм. Шайби нормальні забезпечують розподілення площі механічного навантаження, а пружинні запобігають само розкручуванню гвинтів. Додатково гвинти можна ставити на невисихаючий герметик.

Проводи до двигуна та шлейф до камери (умовно не показані) проводяться через отвір для антени, попередньо будучи завернутими у термоусадочну трубку (для запобігання намоканню та підвищення міцності). У середину отвору поміщено гумове ущільнююче кільце для протидії волозі та пилу.

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PI71.464971.001 ПЗ

Лист

38

Окремим компонентом є сервоплатформа, макет якої можна побачити на рисунку 4.5.

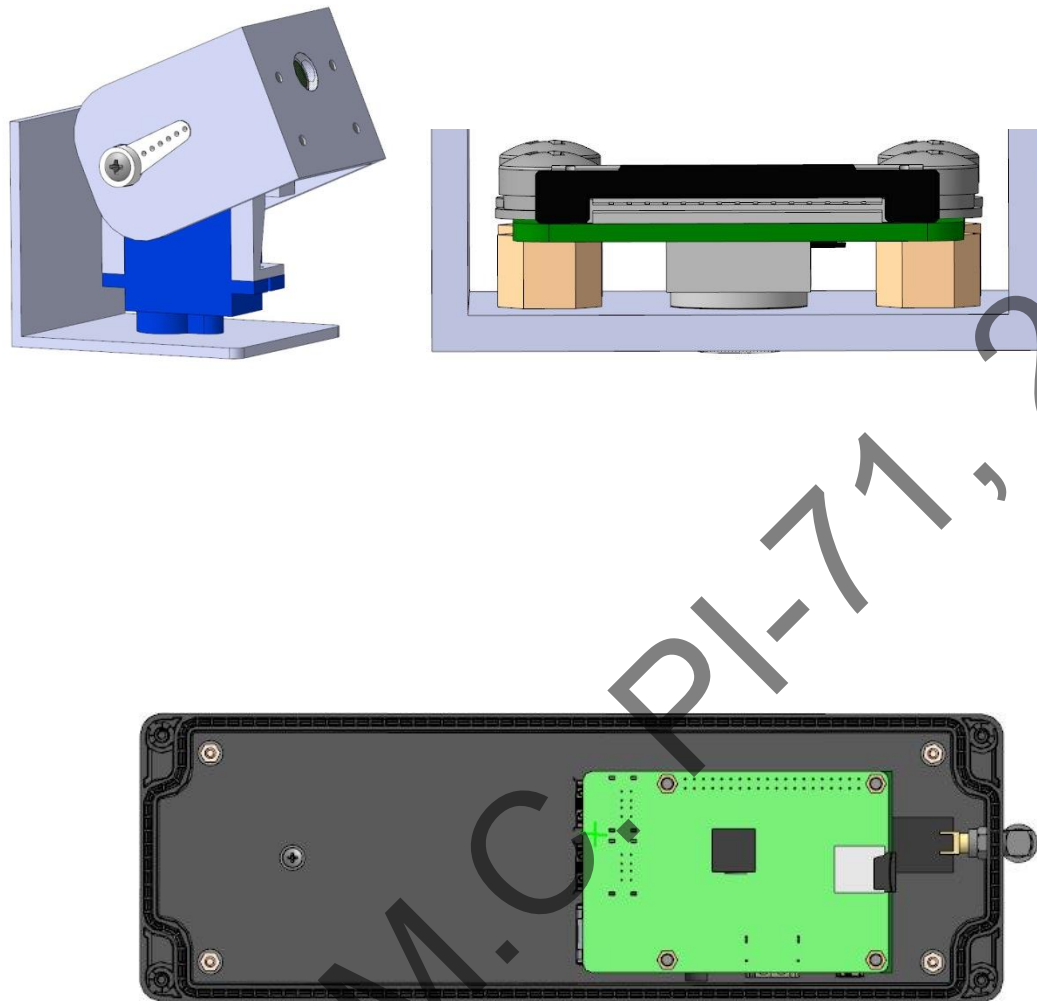


Рисунок 4.5 – Конструкція сервоплатформи

З рисунку 4.5: у лицьовій частині сервоплатформи наявні 4 отвори для кріплення камери, яка кріпиться на чотири стійки довжиною чотири міліметри та фіксується гвинтами М3 на шайбу та шайбу гровер. Сама сервоплат-

Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата

PI71.464971.001 ПЗ

Лист

39

форма кріпиться на верхню кришку гвинтом у центральний отвір нижнього сервоприводу.

Модуль камери приклеюється термостійким силіконом із вільного від корпусу боку.

Мережко М.С. РІ-71, 2021

					РІ71.464971.001 ПЗ	Лист
						40
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

4.3 Розрахунок надійності материнської плати

Актуальні умови при розрахунку надійності:

- відмова кожного елементу абсолютно взаємонезалежна та повністю випадкова подія;
- відмова одного елементу, призводить до відмови всього пристрою;
- параметри відмов постійні, оскільки не залежать від часу. Розрахунок надійності пристрою буде проводитися методом наближеного розрахунку. Відповідно до таблиці 6.17 [26], базова інтенсивність відмов комплектуючих λ_6 , робоче значення інтенсивності відмов λ_p , кількість елементів N , та поправний коефіцієнт K_e внесені в таблицю.

Базова інтенсивність відмов комплектуючих є загальною приведеною величиною для більшості однотипних елементів, що умовно зібрані у групи за якостями та характеристиками.

Параметри потоків відмов груп електричних, механічних та електромеханічних частин пристрою розраховуються за формулами, наведеними нижче, згідно таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Параметри надійності елементів

Назва і тип елемента	$\lambda_6 \cdot 10^{-6}, 1/\text{год}$	K_e	$\lambda_p \cdot 10^{-6}, 1/\text{год}$	N
Резистор	0,034	5	0,17	6
Керамічний конденсатор	0,022	5	0,11	11
Контактний роз'єм	0,015	5	0,075	6
Мікросхема логічна	0,023	5	0,115	3
Реле	0,0304	5	0,152	2

Експлуатаційний коефіцієнт складає 5, оскільки розроблюваний пристрій входить у групу наземної рухомої РЕА.

Математична модель розрахунку експлуатаційної інтенсивності відмов:

$$\lambda_e = \lambda_{\epsilon 1} \prod_{i=1}^{m_1} K_i^{(1)} + \dots + \lambda_{\epsilon n} \prod_{i=1}^{m_n} K_i^{(n)}, \quad (4.1)$$

де $\lambda_{\epsilon 1}$ – вихідна (базова) інтенсивність відмов j -ї частини виробу, $j = 1, \dots, n$; n – кількість складових частин виробу; $K_i^{(j)}$ – коефіцієнт, що враховує вплив i -го фактору для j -ї частини виробу, $i = 1, \dots, m$; $j = 1, \dots, n$.

Експлуатаційну інтенсивність відмов РЕА в цілому визначають як:

$$\lambda_{\text{РЕА}} = \sum_{i=1}^v \lambda_{\epsilon i} \cdot m_i, \quad (4.2)$$

де m_i – кількість модулів різного типу у складі РЕА, v – число різновидів модулів.

Із формули 4.2 експлуатаційна інтенсивність відмов материнської плати ПНРП становить: $\lambda_{\text{РЕА}} = 16,645 \cdot 10^{-6}, 1/\text{Год}$.

Час напрацювання на відмову складає величину обернену до $\lambda_{\text{РЕА}}$, тобто:

$$T_{\text{РЕА}} = \frac{1}{\lambda_{\text{РЕА}}} \approx 60078,1 \text{ год.} \quad (4.3)$$

Або 6 років 313 днів, що повністю відповідає вимогам ТЗ.

[https://www.bsuir.by/m/12_100229_1_72356.pdf]

					PI71.464971.001 ПЗ	Лист
						42
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

1 Проведений аналіз ТЗ, оцінки сучасних технологій та огляду існуючих рішень дозволив сформулювати вимоги до конструкції пристрою

2 В результаті проєктування розроблено пристрій для мобільної розвідки на основі мікрокомп'ютера Raspberry 3 model B+. Було запропоновано детально описану та обґрунтовану компонентну базу, що складається з наступних складових:

- Шасі WPL D12 4x4 1/10;
- Корпус Euromas II;
- Акумулятор Fullymax 11,1V 17500mAh Li-Po 3S 15C UAV;
- Безколекторний сенсорний мотор HOBBYWING XERUN 3650;
- Модуль Raspberry Pi NoIR Camera V2;
- Сервоплатформа для керування положенням камери PT Pan/Tilt Camera Platform виробника winwill;
- Радіо модуль NRF24L01 бездротовий.

Спроектований пристрій в основному відповідає вимогам ТЗ

3 У результаті конструкторської діяльності було розроблено функціональний прототип ПНРП, повністю готовий до реалізації актуального програмного забезпечення.

4 Для коректної роботи пристрою та виявлення вад у конструкції необхідна подальша апаратна реалізація та випробовування дослідного зразку за реальних умов експлуатації.

5 Підтверджена можливість реалізації ПНРП з використанням доступних компонентів

6 Розроблена конструкція ПНРП дозволяє швидко змінювати необхідні модулі і розширювати можливості використання пристрою

7 Конструкція ПНРП дозволяє використовувати модулі закритого зв'язку

					PI71.464971.001 ПЗ	Лист
						43
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

8 Реалізація пристрою з заявленою комплектацією дозволяє короткочасну роботу в тропічному кліматі. Для більш довготривалої роботи в таких умовах необхідне доопрацювання конструкції з метою підвищення герметичності і захисту від бактерій та плісняви та більш ретельний підбір компонентів-модулів, матеріалів і комплектуючих

Мережко М.С. РІ-71, 2021

					РІ71.464971.001 ПЗ	Лист
						44
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Zhorya 1:16 scale 4wd waterproof battery-powered wifi remote control rc toy car with 360 degrees HD wireless video camera – [Електронний ресурс] – Режим доступу:
https://www.alibaba.com/product-detail/Zhorya-1-16-scale-4wd-waterproof_60728698468.html
2. Remote control car with WIFI HD camera real-time image transmission, high-speed off-road vehicle 25KM – [Електронний ресурс] – Режим доступу:
<https://www.amazon.co.uk/real-time-transmission-high-speed-off-road-all-terrain/dp/B082STK7ZZ>
3. WEHOLY Remote Control Car Toy 4WD Off-Road – [Електронний ресурс] – Режим доступу:
<https://www.amazon.co.uk/WEHOLY-Off-Road-Oversized-Charging-Climbing/dp/B086KY73T6>
4. TOOGOO 25KM/H 2.4G Electric High Speed Racing RC Car with WiFi FPV 720P Camera HD 1:18 – [Електронний ресурс] – Режим доступу:
https://www.amazon.co.uk/TOOGOO-Electric-Speed-Racing-Camera/dp/B07XYXWQV4/ref=sr_1_2?dchild=1&keywords=TOOGO+290455A5&qid=1623412928&sr=8-2
5. Raspberry Pi Wifi USB Webcam RC Car – [Електронний ресурс] – Режим доступу:
<http://2xod.com/articles/raspberry-pi-wifi-usb-webcam-rc-car/>
6. Raspberry Pi Remote Controlled Car – [Електронний ресурс] – Режим доступу:
<https://www.instructables.com/Raspberry-Pi-Remote-Controlled-Car-1/>
7. Raspberry Pi 3 Model B+ – [Електронний ресурс] – Режим доступу:
<https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/>

					PI71.464971.001 ПЗ	Лист
						45
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

16. DRV10970 Three-Phase Brushless DC Motor Driver/[Texas instruments] – Datasheet
17. Бездротовий модуль NRF24L01+ 1 – [Електронний ресурс] – Режим доступу:
<https://arduino.ua/prod640-besprovodnoi-modul-nrf24l01palna-s-vneshnei-sma-antennai>
18. Сервопривод – [Електронний ресурс] – Режим доступу:
<https://uk.wikipedia.org/wiki/Сервопривод>
19. Что такое емкость аккумулятора? Методика ее расчета – [Електронний ресурс] – Режим доступу:
<https://220volt.com.ua/news/useful/akkumulyatornie-batarei/chto-takoe-emkost-akkumulyatora-metodika-ee-rascheta.html>
20. Аккумулятор Fullymax 11.1V 17500mAh Li-Po 3S 15C UAV – [Електронний ресурс] – Режим доступу:
<https://modelistam.com.ua/akkumulyator-fullymax-111-17500mah-15c-p-40087/>
21. Electric battery – C-Rate – [Електронний ресурс] – Режим доступу:
https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_battery#C_rate
22. WPL D12 4x4 1/10 Metal RC Car Chassis Kit – [Електронний ресурс] – Режим доступу:
https://www.banggood.com/WPL-D12-4x4-1-or-10-Metal-RC-Car-Chassis-Kit-Vehicle-Models-Parts-R582-p-1852856.html?cur_warehouse=CN&ID=45586&rmmds=search
23. Euromas II Kit – [Електронний ресурс] – Режим доступу:
<https://www.bopla.de/en/enclosure-technology/product/euromas-ii/abs-single-colored-1/et-236-lp.html>
24. АБС-пластик – [Електронний ресурс] – Режим доступу:
<https://uk.wikipedia.org/wiki/АБС-пластик>
25. Ступінь захисту оболонки – [Електронний ресурс] – Режим доступу:
[https://uk.wikipedia.org/wiki/IP_\(ступінь_захисту_оболонки\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/IP_(ступінь_захисту_оболонки))

					PI71.464971.001 ПЗ	Лист
						47
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

26. Боровиков С.М. Расчёт показателей надёжности радиоэлектронных средств: учебник [для студ. высш. уч. зав.]/ С.М. Боровиков, И.Н. Цырельчук, Ф.Д. Троян; М-во образования республики Беларусь, «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники». – Минск: БГУИР, 2010. – 71 ст.

Мережко М.С. РІ-71, 2021

					РІ71.464971.001 ПЗ	Лист
						48
Зм.	Лис	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаток А

ПОГОДЖЕНО

Науковий керівник



В. І. Попсуй

ЗАТВЕРДЖЕНО

В. о. зав. кафедрою радіоконструювання та виробництва радіоапаратури НТУУ «КПІ»

_____ Є. А. Нелін
д. т. н., професор

**ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
до дипломного проєкту**

«Портативний наземний розвідувальний пристрій»

Київ — 2021

Метою розробки є створення функціонально закінченого пристрою. ПНРП – це бюджетний безпілотний всюдихід, основною задачею якого є збір інформації на віддалених від оператора локаціях за допомогою трансляції відео потоку оточуючого простору у реальному часі. Пристрій має бути легким, мобільним та міцним, також мати високий ступінь прохідності пересічною місцевістю.

Необхідним є широкий кут обзору, який забезпечуватиметься завдяки повороту камери за допомогою сервоплатформи.

Однією із поставлених задач також є висока ремонтпридатність приладу, що досягається використанням бюджетних широко розповсюджених компонентів.

Далі наведено принципові вимоги до характеристик розроблюваного апарату.

Вимоги призначення

Портативний наземний розвідувальний пристрій (ПНРП) має відповідати наступним критеріям:

1. Час роботи та режими керування:

- Приблизний час роботи – 1 год.
- Керування відбуватиметься через модуль Wi-Fi по захищеному каналу; додатково наявний резервний канал зв'язку через власний радіо модуль.

2. Віддалення: пристрій має працювати в межах доступної Wi-Fi мережі незалежно від геолокації оператора.

3. Мобільність – у пристрою повинна бути значна прохідність пересічними місцевостями, відносно висока швидкість (порядку 40-50 км/год) і досить невеликі розміри.

4. Режим повної втрати зв'язку – спеціальний режим на випадок неможливості зв'язку із оператором жодним із каналів. Передбачає повернення ПНРП на останню локацію, де був наявний зв'язок із оператором.

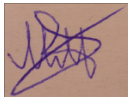
Вимоги до конструкції

Конструкція має забезпечувати високу прохідну здатність, бути міцною та відносно легкою, компактною.

Основні вимоги до конструкції пристрою:

1. Статичність складових відносно власної системи координат – усі елементи мають бути чітко зафіксовані в корпусі.
2. Захищеність від зовнішніх твердих предметів – матеріал корпусу легкий, але міцний (наприклад АБС пластик).
3. Захищеність від зовнішніх шкідливих впливів – усі системи контролю та керування мають бути герметично закриті і не допускати потрапляння вологи, бруду та пилу.
4. Широкий діапазон температур функціонування.

Виконавець: студент Мережко Марія



Додаток Б

Оформлення конструкторської документації виконано згідно з діючими стандартами.

Комплект КД:

- специфікація на пристрій PI71.464971.001;
- складальний кресленик пристрою, PI71.464971.001 СК;
- схема функціональна PI71.464971.001 Е1;
- схема електрична принципова PI71.464971.001 Е3;
- перелік елементів PI71.464971.001 ПЕ;
- специфікація на друкований вузол PI71. 464971.002;
- кресленик друкованого вузла PI71.464971.002 СК;
- кресленик друкованої плати PI71.758232.001

Форм.	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кільк.	Прим.
				Документація		
A2			PI71.464971.001 E1	Структурна схема		
A4			PI71.464971.001 ПЗ	Пояснювальна записка		
A1			PI71.464971.001 СК	Складальний кресленик		
				Складальні одиниці		
A4		1	PI71.468232.002	Материнська плата	1	
				Деталі		
A2		2	PI71.735434.001	Верхня кришка	1	
A4		3	PI71.721518.001	Перегородка	1	
				Стандартні вироби		
		4		Гвинт М3 х 8-Н ISO 7045	5	

Фор	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Ki- пк	Прим.
		5		Гвинт М3 х 10-Н ISO 7045	4	
		6		Гвинт М3 х 16-Н ISO 7045	4	
		7		Шайба 3 ГОСТ 6402-70	13	
		8		Шайба 3-200 HV ISO 7089	13	
				<i>Інші вироби</i>		
		9		Акумулятор		
				Fullymax 11.1V 17500 mAh	1	
		10		Антена	1	
		11		Корпус Euromas II	1	
		12		Модуль камери		
				Pi NoIR Camera V2	1	
		13		Радіо модуль NRF24L01	1	
		14		Сервоплатформа		
				PT Pan/Tilt Camera Platform	1	
		15		Raspberry Pi 3 model B+	1	
		16		Шасі WPL D12 4x4 1/10	1	
		17		Двигун XERUN 3650	1	
		18		Різьбова шестигранна штулка M3 x 4	8	
		19		Різьбова шестигранна штулка M3 x 9	4	
		20		Різьбова шестигранна стійка M3 x 35	4	
Изм	Лис	№ докум.	Підп	Дат	<i>PI71.464971.001</i>	
					2	

Мережко М.С. РІ-71, 2021