

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії

(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: *Мобільна комп'ютерна система з функцією дистанційного керування та відеоспостереження*

Виконав: студент 4 курсу, групи СІ-42

спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Герасименко О. Є.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Лецишин Ю. З.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Тиш Є. В.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Осухівська Г. М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Пастух О. А.

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2026

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Осухівська Г. М.
(підпис) (прізвище та ініціали)
«25» квітня 2026 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія»
(шифр і назва спеціальності)

студента Герасименка Олександра Євгеновича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Мобільна комп'ютерна система з функцією дистанційного керування та відеоспостереження

Керівник роботи к.т.н., доц. Лецишин Юрій Зіновійович
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 24 » квітня 2026 року № 4/9-188 .

2. Термін подання студентом завершеної роботи 16.06.2026

3. Вихідні дані до роботи Обчислювальна платформа: 32-бітні мікроконтролери STM32F103C8T6 (архітектура ARM Cortex-M3, модуль Blue Pill)

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ.

1. Аналіз технічного завдання та огляд аналогів.

2. Проектування апаратної та структурної частини системи.

3. Програмна реалізація та алгоритми керування тестування.

4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

Висновок.

Список використаних джерел.

Додаток А, Б, В.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень слайдів)

1. Схема електрична структурна (КС КРБ 123.171.00.00 Е1).

2. Схема електрична принципова (КС КРБ 123.171.00.00 Е3).

3. Блок-схема алгоритму роботи пульта та мобільної платформи (КС КРБ 123.171.00.01)

6. Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|--|---|----------------|------------------|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| <i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i> | <i>Сенчишин В. С. к. т. н., доцент</i> | | |
| | | | |

7. Дата видачі завдання 25.04.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів роботи | Термін виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|---|--------------------------------|----------|
| 1. | <i>Розробка технічного завдання</i> | <i>26.01 – 02.02</i> | |
| 2. | <i>Робота над першим розділом «Аналіз технічного завдання та огляд аналогів»</i> | <i>03.02 – 15.02</i> | |
| 3. | <i>Робота над другим розділом «Проектування апаратної та структурної частини системи»</i> | <i>20.04 – 25.04</i> | |
| 4. | <i>Робота над третім розділом «Програмна реалізація та алгоритми керування»</i> | <i>26.04 – 05.05</i> | |
| 5. | <i>Робота над четвертим розділом «Безпека життєдіяльності. Основи охорони праці»</i> | <i>07.05 – 25.05</i> | |
| 6. | <i>Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу</i> | <i>26.05 – 7.06</i> | |
| 7. | <i>Перевірка на академічний плагіат, перевірка керівником та консультантами</i> | <i>8.06 – 14.06</i> | |
| 8. | <i>Попередній захист кваліфікаційної роботи бакалавра</i> | <i>15.06 – 21.06</i> | |
| 9. | <i>Захист кваліфікаційної роботи бакалавра</i> | <i>23.06.2026</i> | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Студент

_____ (підпис)

Герасименко Олександр Євгенович

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Лецишин Юрій Зіновійович

_____ (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Герасименко О. Є. Мобільна комп'ютерна система з функцією дистанційного керування та відеоспостереження: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра: спец. 123 — комп'ютерна інженерія. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2026.

Ключові слова: мобільна комп'ютерна система, дистанційне керування, відеоспостереження, мікроконтролер, бездротова передача даних, моніторинг.

Кваліфікаційну роботу присвячено розробці та дослідженню мобільної комп'ютерної системи, оснащеної функціями дистанційного керування та відеоспостереження в режимі реального часу. У процесі виконання роботи було спроектовано апаратну архітектуру системи на базі мікроконтролерів STM32 (Blue Pill). Керування реалізовано за допомогою радіомодулів NRF24L01+, а відеозв'язок — через спеціалізоване обладнання (камера Foxeer Starlight та відеопередавач Foxeer Reaper Extreme V2). Також розроблено програмне забезпечення для управління рухом платформи з використанням драйвера двигунів L298N. Розглянуто питання безпечної експлуатації розробленої системи та організації робочого місця оператора. Створений прототип може застосовуватися для моніторингу важкодоступних або небезпечних для людини зон.

ANNOTATION

Herasymenko O. Ye. Mobile computer system with remote control and video surveillance functions: Bachelor's Graduation Thesis: speciality 123 — computer engineering. Ternopil: Ternopil Ivan Puluj National Technical University, 2026.

Keywords: mobile computer system, remote control, video surveillance, microcontroller, wireless data transmission, monitoring.

The qualification work is devoted to the development and research of a mobile computer system equipped with remote control and real-time video surveillance functions. During the work, the hardware architecture of the system was designed based on STM32 (Blue Pill) microcontrollers. Control is implemented using NRF24L01+ radio modules, and video communication via specialized equipment (Foxeer Starlight camera and Foxeer Reaper Extreme V2 video transmitter). Software for controlling the platform's movement using the L298N motor driver was also developed. The issues of safe operation of the developed system and the organization of the operator's workplace are considered. The created prototype can be used for monitoring hard-to-reach or hazardous areas.

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| ВСТУП | 10 |
| РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ ТА ОГЛЯД АНАЛОГІВ | 11 |
| 1.1 Аналіз вимог до мобільних систем відеоспостереження | 11 |
| 1.2 Огляд існуючих рішень та протоколів дистанційного керування | 14 |
| РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТУВАННЯ АПАРАТНОЇ ТА СТРУКТУРНОЇ ЧАСТИНИ СИСТЕМИ..... | 21 |
| 2.1 Розробка структурної схеми | 21 |
| 2.2 Вибір та обґрунтування компонентної бази..... | 25 |
| 2.2.1 Мікроконтролер STM32 Blue Pill Мі та поконтактний розподіл периферії..... | 26 |
| 2.2.2 Компоненти беззатримкового відеолінку Foxeer | 27 |
| 2.2.3 Драйвер двигунів та підсистема стабілізації живлення..... | 28 |
| 2.3 Розробка принципів електричних схем та вузлів комутації..... | 29 |
| 2.4 Алгоритми функціонування мікроконтролерів | 32 |
| РОЗДІЛ 3 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА АЛГОРИТМИ КЕРУВАННЯ..... | 36 |
| 3.1 Архітектура програмного забезпечення та середовище розробки | 36 |
| 3.2 Використання бібліотеки STM32 HAL для керування периферією..... | 37 |
| 3.2.1 Робота з портами вводу-виводу (GPIO)..... | 37 |
| 3.2.2 Аналого-цифрове перетворення (ADC)..... | 37 |
| 3.2.3 Генерація широтно-імпульсної модуляції (TIM/PWM)..... | 38 |
| 3.2.4 Робота з шиною SPI (взаємодія з NRF24L01+)..... | 38 |

| | | | | | | | | |
|-----------|------|-------------------|--------|------|---|-----------------------------|------|---------|
| | | | | | КС КРБ 123.171.00.00 ПЗ | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | Мобільна комп'ютерна система з функцією дистанційного керування та відеоспостереження | Літ. | Арк. | Аркушів |
| Розроб. | | Герасименко О. Є. | | | | | 6 | |
| Перевір. | | Лецишин Ю. З. | | | | ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42 | | |
| Реценз. | | Пастух О. А. | | | | | | |
| Н. Контр. | | Тиш Є. В. | | | | | | |
| Затверд. | | Осухівська Г. М. | | | | | | |

| | | |
|--|--|----|
| 3.3 | Огляд та тестування готового виробу..... | 39 |
| РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ.. | | 41 |
| 4.1 | Аналіз умов праці та небезпечних виробничих факторів під час розробки мобільної комп'ютерної системи | 41 |
| 4.2 | Електробезпека та пожежна безпека при конструюванні радіоелектронної апаратури..... | 43 |
| ВИСНОВКИ..... | | 46 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... | | 48 |
| Додаток А Технічне завдання | | |
| Додаток Б Перелік елементів | | |
| Додаток В Лістинг коду програми | | |

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | <i>КС КРБ 123.171.00.00 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 7 |

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

АЦП – Аналого-цифровий перетворювач

ШИМ – Широтно-імпульсна модуляція

BMS – Battery Management System (система керування батареями)

CAD – Computer-Aided Design (система автоматизованого проєктування)

CMOS – Complementary Metal-Oxide-Semiconductor (комплементарний металооксидний напівпровідник)

DC-DC – Direct Current to Direct Current (перетворювач постійного струму)

FPV – First Person View (вид від першої особи)

GPIO – General-Purpose Input/Output (інтерфейс вводу/виводу загального призначення)

HAL – Hardware Abstraction Layer (шар апаратних абстракцій)

ISM – Industrial, Scientific, and Medical (промислові, наукові та медичні радіочастоти)

LNA – Low-Noise Amplifier (малозумний підсилювач)

MCU – Microcontroller Unit (мікроконтролер)

PA – Power Amplifier (підсилювач потужності)

RX – Receiver (приймач)

SPI – Serial Peripheral Interface (послідовний периферійний інтерфейс)

TX – Transmitter (передавач)

UGV – Unmanned Ground Vehicle (безпілотний наземний транспортний засіб / роботизований комплекс)

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | <i>КС КРБ 123.171.00.00 ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 8 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

VTX – Video Transmitter (відеопередавач)

WDR – Wide Dynamic Range (широкий динамічний діапазон)

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|--------------------------------|------|
| | | | | | <i>КС КРБ 123.171.00.00 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | 9 |

ВСТУП

На сучасному етапі розвитку комп'ютерних технологій та робототехніки особливого значення набувають мобільні роботизовані комплекси, що здатні виконувати завдання в автономному режимі або під керівництвом оператора. Мобільні комп'ютерні системи з функціями дистанційного керування та відеоспостереження є критично важливими для проведення моніторингу місцевості, інспекції інженерних споруд, а також виконання пошуково-рятувальних робіт у важкодоступних або небезпечних для людини зонах.

Ефективність функціонування таких систем безпосередньо залежить від швидкодії обчислювального центру, надійності бездротового каналу зв'язку та мінімальної затримки відеопотоку. Використання сучасних 32-бітних мікроконтролерів архітектури ARM Cortex-M (зокрема плат STM32 Blue Pill) дозволяє забезпечити високу точність обробки команд та керування приводами у реальному часі порівняно із застарілими 8-бітними аналогами. Водночас організація радіоканалу на базі трансиверів NRF24L01+ та інтеграція спеціалізованого аналогового FPV-відеообладнання Foxeer забезпечують стійкість до завад і передачу візуальної інформації з нульовою затримкою, що є вирішальним фактором для точного маневрування мобільної платформи.

Процес бездротового дистанційного керування мобільними платформами та трансляції високошвидкісного відеопотоку в режимі реального часу. Апаратні та програмні засоби побудови мобільної комп'ютерної системи на базі мікроконтролерів STM32 із використанням радіомодулів NRF24L01+ та FPV-компонентів Foxeer.

Проектування та технічна реалізація прототипу високоефективної мобільної комп'ютерної системи з функцією дистанційного керування та беззатримкового відеоспостереження.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС КРБ 123.171.00.00 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 10 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ ТА ОГЛЯД АНАЛОГІВ

1.1 Аналіз вимог до мобільних систем відеоспостереження

Стрімкий розвиток сучасної мікроелектроніки, бездротових технологій зв'язку та вбудованих обчислювальних систем зумовив активне впровадження мобільних роботизованих комплексів (Unmanned Ground Vehicles, UGV) у різні сфери життєдіяльності людини. Від початкових концептів радіокерованих механізмів, які використовувались переважно в розважальних та базових навчальних цілях, індустрія перейшла до створення складних комп'ютеризованих платформ, здатних виконувати критично важливі завдання. Сучасні мобільні системи відеоспостереження використовуються для дистанційного моніторингу небезпечних або важкодоступних середовищ, інспекції інженерних комунікацій, трубопроводів, вентиляційних шахт, виконання пошуково-рятувальних операцій у зонах стихійних лих, а також в охоронних структурах для патрулювання закритих територій.

Головною парадигмою проєктування таких комплексів є забезпечення ефекту "телеприсутності" (telepresence) — здатності оператора адекватно оцінювати обстановку навколо мобільної платформи та оперативно реагувати на її зміни, перебуваючи на безпечній відстані. Це вимагає від системи відеоспостереження та каналу дистанційного керування відповідності низці жорстких технічних, експлуатаційних та ергономічних вимог.

Першою і найбільш критичною вимогою є мінімізація наскрізної затримки (latency) в контурі керування та передачі відеоданих. Наскрізна затримка складається з часу, необхідного на захоплення кадру матрицею камери, його обробку, модуляцію радіосигналу, передачу через ефір,

| | | | | | | | | |
|------------------|-------------|------------------|---------------|-------------|--|-------------------------------------|-------------|----------------|
| | | | | | КС КРБ 123.171.00.00 ПЗ | | | |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | | | |
| <i>Розроб.</i> | | Герасименко О. Є | | | <i>Мобільна комп'ютерна система з функцією дистанційного керування та відеоспостереження</i> | <i>Літ.</i> | <i>Арк.</i> | <i>Аркушів</i> |
| <i>Перевір.</i> | | Лецишин Ю. З. | | | | | 11 | 10 |
| <i>Реценз.</i> | | Пастух О. А. | | | | <i>ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42</i> | | |
| <i>Н. Контр.</i> | | Тиш Є. В. | | | | | | |
| <i>Затверд.</i> | | Осухівська Г. М. | | | | | | |

демодуляцію на стороні приймача та виведення на екран оператора. Для забезпечення безпечного маневрування, особливо в умовах обмеженого простору або при русі на високій швидкості, загальна затримка відеопотоку не повинна перевищувати 50–100 мілісекунд. Перевищення цього порогу призводить до десинхронізації між зоровим сприйняттям оператора та реальною фізичною моделлю поведінки платформи, що неминуче викликає так зване "розгойдування" (overcorrection) під час керування та підвищує ризик зіткнення з перешкодами.

Другою фундаментальною вимогою є стійкість каналів зв'язку до перешкод та електромагнітної інтерференції. Мобільна система, як правило, функціонує в умовах складної радіоелектронної обстановки (залізобетонні конструкції, металеві перекриття, наявність побутових мереж Wi-Fi та Bluetooth), що створює значне згасання сигналу та ефект багатопроменевого поширення радіохвиль (multipath fading). Крім того, сама платформа є джерелом потужних імпульсних завад, які генеруються щітково-колекторними вузлами тягових двигунів постійного струму під час ШІМ-комутації високих струмів. Отже, архітектура системи повинна передбачати апаратне або програмне рознесення частотних каналів для передачі телеметрії (команд керування) та широкосмугового відеосигналу, а також надійну гальванічну або LC-фільтраційну розв'язку підсистем живлення логічної та силової частин.

Третя вимога стосується адаптивності візуальної підсистеми до складних умов освітленості. Під час виконання інспекційних або розвідувальних завдань мобільна платформа часто потрапляє у зони з критичним дефіцитом світла (підвали, тунелі, неосвітлені приміщення) або в умови різкого перепаду контрастності (наприклад, виїзд з темного приміщення на яскраво освітлену вулицю). Звичайна цифрова оптика в таких умовах "сліпне" або потребує значного часу на підлаштування експозиції. Отже, курсова камера повинна володіти широким динамічним діапазоном

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС КРБ 123.171.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 12 |

(WDR — Wide Dynamic Range), високою світлочутливістю матриці (вимірюється в люксах) та мінімальним часом реакції алгоритмів автоматичного регулювання посилення (AGC).

Четвертою значущою вимогою є енергоефективність та управління автономним живленням. Мобільна комп'ютерна система живиться від бортового джерела обмеженої ємності, зазвичай літій-іонних (Li-ion) або літій-полімерних (Li-Po) акумуляторів. Процесори, трансивери та відеопередавачі повинні працювати в оптимальних теплових режимах, мати високий коефіцієнт корисної дії та, за необхідності, підтримувати режими зниженого енергоспоживання під час простою. Енергетичний баланс системи має бути розрахований таким чином, щоб струмовіддача акумуляторів покривала пікові навантаження під час старту двигунів, не викликаючи при цьому критичного просідання напруги (voltage sag), яке може призвести до перезавантаження мікроконтролерів (Brown-out Reset).

П'ята вимога полягає у механічній надійності та ергономічності конструкції. Компонування мобільної платформи повинно забезпечувати низький центр мас для запобігання перекиданню, а конструкція корпусу, створена за допомогою засобів автоматизованого проєктування (CAD-систем) і методів адитивного виробництва, має надійно фіксувати друковані плати, захищаючи їх від вібраційних навантажень. Пульти дистанційного керування, своєю чергою, повинен відповідати правилам ергономіки, забезпечуючи зручний хват, інтуїтивно зрозуміле розташування органів керування (джойстиків, тумблерів) та мінімізацію втоми кистей рук оператора під час тривалих сеансів роботи.

Узагальнюючи вищенаведене, проєктування сучасної мобільної комп'ютерної системи з функцією дистанційного керування та відеоспостереження вимагає комплексного мультидисциплінарного підходу. Необхідно знайти оптимальний баланс між обчислювальною потужністю мікроконтролерів, пропускнуою здатністю радіоканалів, якістю візуального

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС КРБ 123.171.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 13 |

сприйняття та енергетичною автономністю. Вирішення цієї задачі лежить у площині детального аналізу існуючих технологічних рішень, ретельного відбору компонентної бази та розробки оптимізованого багаторівневого програмного забезпечення.

1.2 Огляд існуючих рішень та протоколів дистанційного керування

Традиційні аматорські та навчальні мобільні системи тривалий час будувалися на базі 8-бітних мікроконтролерів (архітектури AVR, наприклад, ATmega328). Однак обмежена тактова частота (до 16–20 МГц), мала кількість апаратних таймерів та відсутність модулів прямого доступу до пам'яті (DMA) суттєво обмежують їхнє застосування в сучасних інженерних задачах. У системах, де необхідно одночасно обробляти високошвидкісні потоки даних з радіомодулів через шину SPI, формувати декілька високоточних сигналів широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) для драйверів двигунів та здійснювати фільтрацію сигналів телеметрії, 8-бітні обчислювачі демонструють недостатню продуктивність.

При проектуванні мобільних роботизованих систем фундаментальним етапом є вибір базової обчислювальної архітектури, протоколів передачі даних та технологій відеотрансляції. Ринок електронних компонентів пропонує широкий спектр рішень, які суттєво відрізняються за продуктивністю, затримками, енергоспоживанням та складністю імплементації.

Традиційно, для побудови базових та навчальних мобільних платформ широко використовувалися 8-бітні мікроконтролери архітектури AVR, найвідомішим представником яких є родина ATmega (наприклад, ATmega328P, що лежить в основі платформ Arduino Uno/Nano), рисунок 1.1.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС КРБ 123.171.00.00 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 14 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

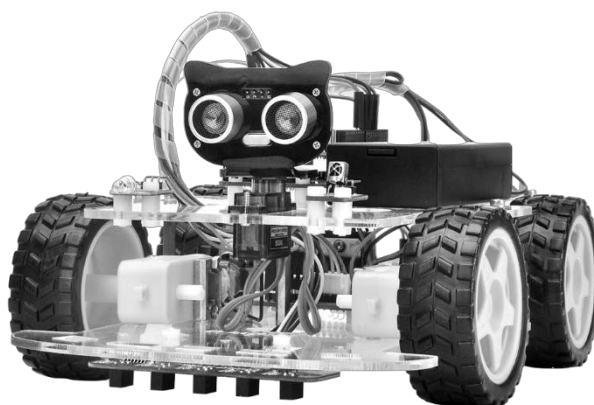


Рисунок 1.1 – Типова навчальна роботизована платформа на базі мікроконтролера архітектури AVR

Їхньою головною перевагою була низька вартість та величезна база готових бібліотек. Проте для сучасних інженерних систем з високими вимогами до реального часу (Real-Time Systems) архітектура AVR демонструє критичні обмеження. Тактова частота у 16-20 МГц, 8-бітна шина даних, відсутність апаратних математичних співпроцесорів та обмежена кількість переривань призводять до того, що мікроконтролер не здатний ефективно виконувати складні алгоритми фільтрації та маршрутизації даних без блокування основного циклу програми.

Сучасним промисловим стандартом у галузі вбудованих систем керування став перехід на 32-бітні мікроконтролери архітектури ARM Cortex-M. Яскравим представником цього сімейства є мікроконтролери лінійки STM32 від STMicroelectronics, зокрема модель STM32F103 (відома у форм-факторі Blue Pill). Ядро ARM Cortex-M3, що працює на тактовій частоті до 72 МГц, у поєднанні з 32-бітною шиною пам'яті, забезпечує багатократний приріст продуктивності. Наявність вдосконаленого контролера вкладених

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | <i>КС КРБ 123.171.00.00 ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 15 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

переривань (NVIC) дозволяє миттєво реагувати на зовнішні події (наприклад, надходження пакета даних по радіоканалу) з мінімальною латентністю.

Крім того, мікроконтролери STM32 оснащені розширеною периферією: багатоканальними 12-бітними АЦП для точного зчитування положення аналогових джойстиків, апаратними модулями високошвидкісного SPI (з частотою шини до 18 Мбіт/с) та просунутими 16-бітними таймерами (Advanced-control timers). Ці таймери здатні апаратно генерувати високочастотні сигнали широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) з роздільною здатністю до мікросекунд, що є критично важливим для плавного та безшумного керування колекторними двигунами через силові драйвери без залучення ресурсів центрального процесора.

Для забезпечення надійного каналу зв'язку між пультом та платформою використовуються різні радіочастотні технології. Протокол Wi-Fi (стандарт IEEE 802.11) працює в діапазонах 2.4 ГГц або 5 ГГц і забезпечує величезну пропускну здатність, достатню навіть для передачі цифрового відео високої роздільної здатності. Однак, використання Wi-Fi для передачі критичних до часу команд керування (телеметрії) має суттєві недоліки. Наявність масивного стека протоколів TCP/IP або UDP вносить програмну затримку в операційній системі. Механізми уникнення колізій (CSMA/CA), притаманні Wi-Fi, призводять до непередбачуваних стрибків затримки (jitter) в умовах зашумленого ефіру, коли в зоні дії знаходиться багато інших роутерів. Крім того, Wi-Fi модулі відрізняються високим енергоспоживанням та тривалим часом відновлення з'єднання після втрати сигналу.

Технологія Bluetooth (стандарт IEEE 802.15.1), включаючи її енергоефективну версію BLE, чудово підходить для обміну даними на коротких дистанціях. Проте її радіус дії в умовах прямої видимості рідко перевищує 30-50 метрів, а наявність навіть незначних перешкод зводить цю відстань до мінімуму, що робить Bluetooth абсолютно непридатним для мобільних систем, які мають функціонувати поза межами кімнати.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС КРБ 123.171.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 16 |

Протокол LoRa (Long Range) забезпечує неймовірну дальність зв'язку (на відкритій місцевості — до кількох десятків кілометрів) при мізерному енергоспоживанні, завдяки використанню лінійно-частотної модуляції (Chirp Spread Spectrum). Проте платою за дальність є вкрай низька швидкість передачі даних (від кількох сотень біт до кількох кілобіт на секунду) та високий час знаходження в ефірі (Time on Air) одного пакета. Це унеможлиблює передачу динамічних команд керування в реальному часі (з частотою оновлення 50-100 Гц), оскільки команди будуть надходити з величезною затримкою.

Найбільш раціональним рішенням для передачі телеметрії на дистанції до кількох сотень метрів є використання спеціалізованих трансиверів діапазону 2.4 ГГц ISM (Industrial, Scientific, and Medical), які підтримують власні оптимізовані протоколи низького рівня. Еталоном у цьому сегменті є мікросхема NRF24L01+ від компанії Nordic Semiconductor. На відміну від Wi-Fi, цей модуль не обтяжений важким мережевим стеком. Взаємодія з мікроконтролером відбувається безпосередньо через інтерфейс SPI. Апаратна реалізація протоколу Enhanced ShockBurst забезпечує автоматичне формування пакетів (Packet Assembly), додавання преамбули, обчислення контрольної суми (CRC) та апаратне підтвердження прийому з автоматичним повторним надсиланням у разі втрати пакету (Auto-ACK & Auto-Retransmit). Використання мікросхем NRF24L01+ із зовнішніми підсилювачами потужності (PA/LNA) та зниження швидкості передачі даних в ефірі (Air Data Rate) до 250 кбіт/с дозволяє значно підвищити чутливість приймача та досягти високої пробивної здатності радіосигналу крізь стіни та перекриття з затримкою менш як 5 мілісекунд.

Питання організації каналу відеоспостереження є одним з найважливіших. На сучасному етапі існує два кардинально різних підходи: цифрові та аналогові системи.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | <i>КС КРБ 123.171.00.00 ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 17 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Цифрові системи відеоспостереження (IP-камери, системи на базі Raspberry Pi або спеціалізовані цифрові FPV лінки на кшталт DJI) забезпечують неперевершену якість зображення, високу роздільну здатність (1080p, 4K) та стійкість до статичних завад. Однак фізика процесу передачі цифрового відео вимагає його стиснення (за допомогою кодеків H.264 або H.265) для зменшення бітрейту перед відправкою в радіоефір. На стороні приймача відбувається зворотний процес — буферизація та декодування. Цей математично складний процес неминуче вносить системну затримку, яка в найкращих масових цифрових системах становить 30–50 мс, а в бюджетних рішеннях на базі Wi-Fi може сягати 150–300 мс і більше. Під час швидкого руху мобільної платформи така затримка означає, що оператор бачить перешкоду на екрані тоді, коли машинка вже фізично з нею зіткнулася. Крім того, при погіршенні цифрового зв'язку зображення не деградує плавно, а розсипається на макроблоки (артефакти стиснення) або повністю завмирає (фріз кадру), що призводить до повної втрати просторової орієнтації.

Для завдань, де критичною є нульова затримка та збереження контролю навіть на межі втрати радіосигналу, беззаперечним лідером залишаються спеціалізовані аналогові системи на частоті 5.8 ГГц, які масово застосовуються у сфері FPV (First Person View) пілотування. В таких системах світлочутлива матриця камери (як правило, виконана за технологією CMOS або CCD) формує сирий аналоговий композитний сигнал у форматах NTSC або PAL. Цей сигнал без жодної цифрової обробки, стиснення чи буферизації подається на відеопередавач (VTX), де модулюється на несучу частоту 5.8 ГГц за допомогою частотної модуляції (FM).

Переваги такого підходу є визначальними для мобільної робототехніки: По-перше, затримка від матриці камери до екрана оператора (Glass-to-Glass latency) є фізично мінімальною і становить менш як 10 мілісекунд, що на людському рівні сприйняття відчувається як миттєва реакція. По-друге, рознесення частот: телеметрія працює на 2.4 ГГц, а відео — на 5.8 ГГц.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС КРБ 123.171.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 18 |

Завдяки цьому два потужні передавачі можуть фізично знаходитися в одному компактному корпусі платформи і працювати одночасно, не створюючи інтерференції та ефекту забиття (desensitization) приймального тракту один одного. По-третє, характер деградації сигналу: при проходженні крізь бетонні стіни або металеві конструкції високочастотний сигнал 5.8 ГГц сильно згасає. В аналоговій системі це проявляється у вигляді появи "білого шуму" (снігу) та горизонтальних смуг на екрані. Оператор продовжує бачити силуети перешкод і загальну динаміку руху, зберігаючи можливість вивести платформу з радіотіні, тоді як цифрова система в подібних умовах просто б відключилася.

Використання висококласних компонентів, таких як камери лінійки Foxeer Starlight, що мають надзвичайно високу світлочутливість (вимірюється в тисячних частках люкса), дозволяє системі "бачити" в умовах, де людське око фіксує суцільну темряву. А застосування потужних відеопередавачів (наприклад, Foxeer Reaper Extreme з вихідною потужністю до 2500 мВт) компенсує природне фізичне загасання хвиль міліметрового діапазону в щільних середовищах, гарантуючи стабільний лінк відео навіть при роботі всередині промислових будівель або багатоповерхових споруд.

Останньою ключовою ланкою в аналогах мобільних систем є метод керування виконавчими механізмами — тяговими електродвигунами. Найпоширенішим та найекономічнішим рішенням є використання колекторних двигунів постійного струму (DC motors) із вбудованими понижувальними редукторами. Вони забезпечують високий крутний момент на низьких обертах, що важливо для прохідності.

Мікроконтролер не може безпосередньо керувати такими двигунами через обмеження струму на своїх портах (для STM32 це максимуми в одиниці міліампер, тоді як мотори споживають амperi). Тому використовуються драйвери двигунів, побудовані за топологією Н-мосту (H-bridge). Історично найпопулярнішим бюджетним рішенням є мікросхема L298N. Хоча вона

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС КРБ 123.171.00.00 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 19 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

побудована на застарілій біполярній технології, що зумовлює значне падіння напруги на переходах транзисторів (і як наслідок — нагрівання мікросхеми), її запасу струму (до 2 А на канал) та вбудованих захисних діодів цілком достатньо для базових мобільних платформ вагою до 2-3 кілограмів. Більш сучасні драйвери на базі MOSFET-транзисторів (наприклад, TB6612FNG або дискретні рішення) мають вищий ККД, але драйвер L298N залишається стандартом де-факто завдяки своїй винятковій надійності, простоті підключення та стійкості до короткочасних струмових перевантажень під час блокування ротора двигуна об перешкоду. Диференціальний алгоритм розподілу потужності (танкове керування), реалізований програмно на стороні приймача, дозволяє машині обертатися на місці навколо власної осі (zero-radius turn), що робить платформу максимально маневровою в умовах обмеженого простору інспекційних зон.

Підсумовуючи огляд, можна стверджувати, що створення ефективної мобільної комп'ютерної системи вимагає відмови від спрощених побутових стандартів (Wi-Fi, 8-бітні процесори) на користь промислових та спеціалізованих технологій: 32-бітних ARM-контролерів з прямим програмуванням периферії (HAL), низькорівневих радіопротоколів на частоті 2.4 ГГц для мінімальної затримки команд та аналогового FPV-обладнання діапазону 5.8 ГГц для забезпечення безперервного беззатримкового відеоконтролю обстановки. Поєднання цих технологічних парадигм формує надійний фундамент для проєктування апаратної частини комплексу.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | <i>КС КРБ 123.171.00.00 ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 20 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТУВАННЯ АПАРАТНОЇ ТА СТРУКТУРНОЇ ЧАСТИНИ СИСТЕМИ

2.1 Розробка структурної схеми

Проектування апаратної архітектури мобільної комп'ютерної системи з функцією дистанційного керування та відеоспостереження базується на принципі модульності та розподілу функцій між двома фізично рознесеними вузлами: командним пультом оператора (передавачем) та мобільною роботизованою платформою (приймачем). Головним завданням розробки структурної схеми є наочне відображення інформаційних, сигнальних та силових зв'язків між обчислювальними центрами, бездротовими трансиверами, виконавчими механізмами та підсистемами живлення.

На відміну від спрощених архітектур, де блоки існують ізольовано, у розробленій структурі кожен елемент інтегрований у єдиний наскрізний контур керування та передачі медіаданих. Центральне місце в ієрархії обох пристроїв посідають обчислювальні блоки — 32-бітні мікроконтролери STM32, які виконують роль координаторів усіх процесів. На структурній схемі ці блоки виділені пріоритетним розміром, оскільки вони виконують основний функціонал із маршрутизації та обробки сигналів. Стрілками на схемі чітко вказано напрямок руху інформаційних потоків (від органів керування до виконавчих механізмів) та блоків живлення, рисунок 2.1.

| | | | | | КС КРБ 123.171.00.00 ПЗ | | | |
|-----------|------|-------------------|--------|------|---|-----------------------------|------|---------|
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | |
| Розроб. | | Герасименко О. Є. | | | Мобільна комп'ютерна система з функцією дистанційного керування та відеоспостереження | Літ. | Арк. | Аркушів |
| Перевір. | | Лецишин Ю. З. | | | | | 21 | 15 |
| Реценз. | | Пастух О. А. | | | | ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42 | | |
| Н. Контр. | | Тиш Є. В. | | | | | | |
| Затверд. | | Осухівська Г. М. | | | | | | |

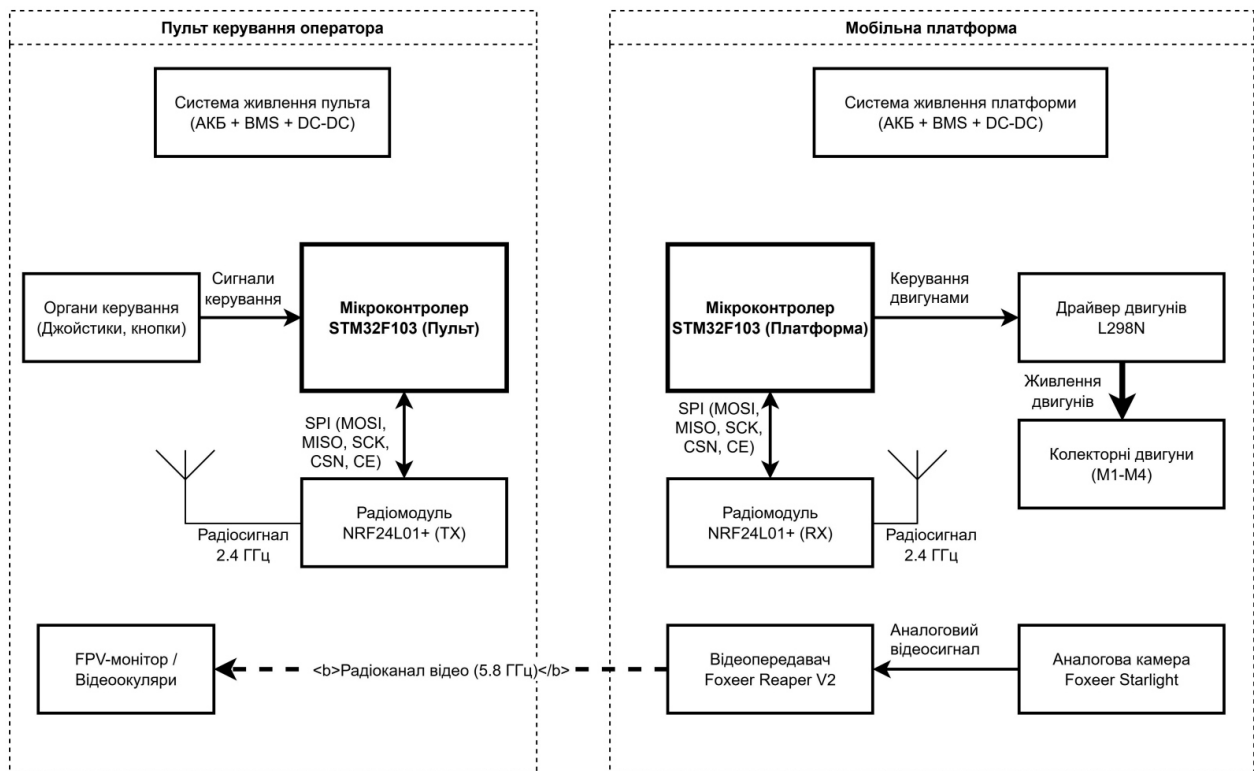


Рисунок 2.1 – Структурна схема

Процес взаємодії та передачі сигналів у системі, відповідно до наведеної структурної схеми, відбувається за таким алгоритмом:

Контур формування команд (Пульти оператора): Первинним джерелом сигналів є органи керування — аналогові джойстики на базі потенціометрів. Фізичний рух важеля джойстика змінює падіння напруги, яке по сигнальній лінії передається на вбудований аналого-цифровий перетворювач (АЦП) мікроконтролера STM32. Обчислювальний блок пульта обробляє ці аналогові сигнали, здійснює їх цифрове масштабування та через швидкісну апаратну шину SPI транслює сформований пакет даних на радіомодуль NRF24L01+. Радіомодуль пульта модулює сигнал і випромінює його в радіоефір.

Контур прийому та виконання команд (Мобільна платформа): Радіомодуль NRF24L01+, встановлений на мобільній платформі, постійно сканує ефір. При отриманні пакету даних він передає їх через шину SPI на бортовий мікроконтролер STM32. Бортовий мікроконтролер дешифрує байти команд і розраховує необхідну потужність для приводів. Далі мікроконтролер

генерує керуючі сигнали (високочастотну широтно-імпульсну модуляцію, ШІМ) та логічні рівні напрямку, які дротовими лініями надходять на силовий драйвер двигунів L298N. Драйвер, своєю чергою, комутує силову напругу на колекторні двигуни правих та лівих бортів, забезпечуючи фізичний рух платформи.

Контур автономного візуального контролю: Цей контур працює повністю незалежно від логіки керування рухом. Світлочутлива FPV-камера Foxeer захоплює зображення та у вигляді сирого аналогового композитного відеосигналу безпосередньо транслює його по кабелю на відеопередавач Foxeer Rearer V2. Передавач випромінює відеопотік в простір. На стороні оператора цей сигнал уловлюється автономним FPV-монітором або спеціалізованими відеоокулярами, рисунок 2.2.



Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд FPV окулярів

Підсистема енергозабезпечення: На структурній схемі показано, що акумуляторний блок (АКБ) через плату захисту BMS підключений до знижувальних DC-DC перетворювачів, рисунок 2.3.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | <i>КС КРБ 123.171.00.00 ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 23 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

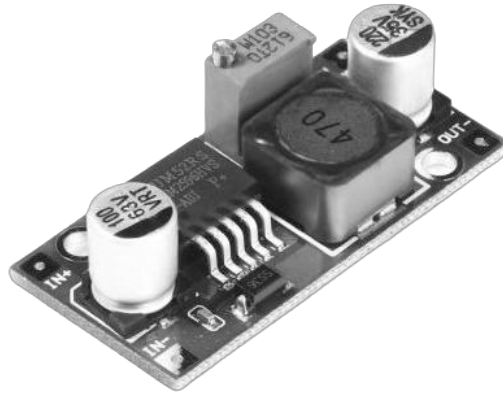


Рисунок 2.3 – Зовнішній вигляд DC-DC перетворювача

Лінії живлення від цих перетворювачів розходяться (що позначено відповідними стрілками) до драйвера двигунів, відеокамери, відеопередавача та мікроконтролерів, забезпечуючи кожного споживача необхідним рівнем напруги (12 В, 5 В або 3.3 В).

Додатково варто зазначити, що запропонована структурна схема забезпечує високий рівень системної модульності. Відокремлення контуру керування та телеметрії (2.4 ГГц) від контуру передачі відеоданих (5.8 ГГц) на фізичному рівні гарантує відсутність перехресних завад (інтерференції) між потужними радіопередавачами.

Мікроконтролери STM32 в обох вузлах виконують роль центральних диспетчерів з жорстким розподілом завдань: на боці пульта відбувається безперервне опитування аналогових датчиків із застосуванням програмної фільтрації від брязкоту контактів та шумів АЦП, а на боці платформи — швидкодіюча апаратна генерація ШІМ-сигналів, що максимально розвантажує обчислювальне ядро для обробки вхідних радіопакетів. Така децентралізована архітектура дозволяє комплексу працювати в режимі жорсткого реального часу з мінімальними системними затримками.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС КРБ 123.171.00.00 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 24 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

2.2 Вибір та обґрунтування компонентної бази

Для забезпечення надійного бездротового каналу телеметрії та обміну командами керування між пультом та мобільною платформою у реальному часі використано високоінтегрований радіочастотний трансивер NRF24L01+, що працює у безліцензійному ISM-діапазоні 2.4 ГГц. Розуміння внутрішньої логіки обробки високочастотних сигналів та маршрутизації даних вимагає детального аналізу внутрішньої структури мікросхеми. На рисунку 2.4 представлена архітектурна блок-схема радіочастотного трансивера, яка відображає основні апаратні вузли архітектури чіпа та контури взаємодії між ними.

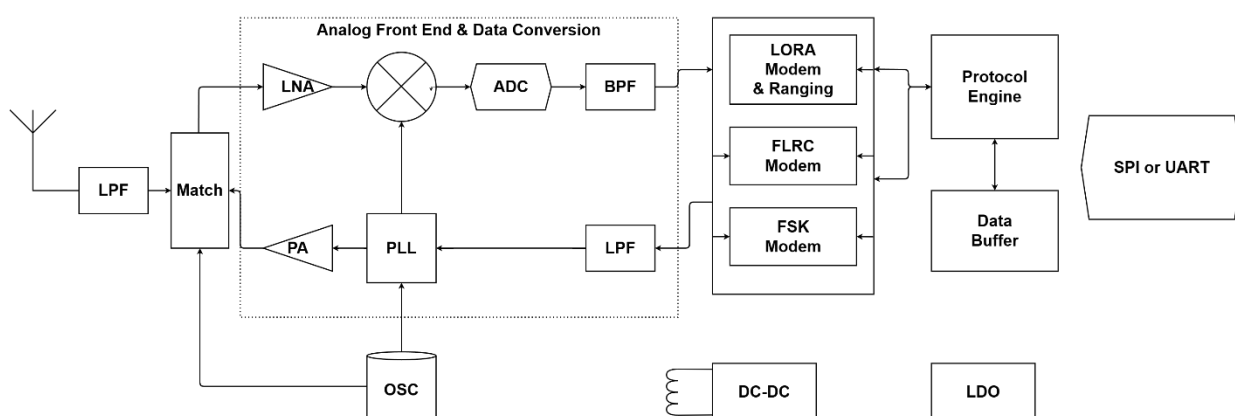


Рисунок 2.4 – Архітектурна блок-схема радіочастотного трансивера

Відповідно до наведеної функціональної схеми, основу трансивера складають високочастотний тракт (RF Front-End) та цифровий процесорний блок обробки пакетів. Тракт приймача містить малошумний підсилювач (LNA), який уловлює слабкий радіосигнал з антени, та демодулятор для виділення сирих даних. Тракт передавача базується на синтезаторі частот, частотному модуляторі та підсилювачі потужності (PA).

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

2.2.1 Мікроконтролер STM32 Blue Pill та поконтактний розподіл периферії

Для забезпечення максимальної швидкодії та паралельності обробки сигналів, як обчислювальне ядро для обох вузлів системи обрано 32-бітний мікроконтролер STM32F103C8T6 (платформа Blue Pill) на базі ядра ARM Cortex-M3, рисунок 2.5.

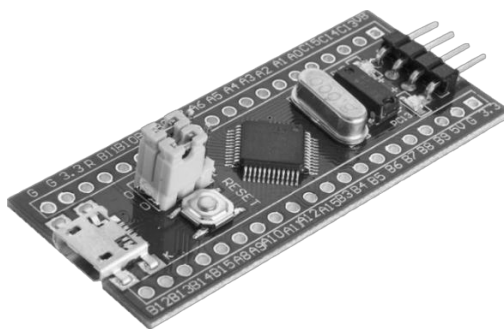


Рисунок 2.5 – Зовнішній вигляд мікроконтролера STM32F103

Для практичної реалізації системи було розроблено чітку схему розподілу портів мікроконтролера, де шина SPI1 (порти PA5, PA6, PA7) апаратно підтримує протокол SPI для взаємодії з трансиверами NRF24L01+, керуючі лінії радіомодуля (PA4, PB0) відповідають за сигнали CSN (вибір пристрою) та CE (активація радіоканалу), канали генерації ШІМ (PA2, PA3 на платформі) підключені до таймера TIM2 для формування керівних імпульсів на драйвер L298N, логіка напрямку руху (PA0, PA1, PB10, PB11 на платформі) забезпечує керування мостами драйвера L298N (рух вперед і назад), а входи АЦП (PA0, PA1 на пульті) використовуються для зчитування аналогових значень з потенціометрів джойстиків, рисунок 2.6.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС КРБ 123.171.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 26 |



Рисунок 2.6 – Зовнішній вигляд радіомодуля NRF24L01+

2.2.2 Компоненти беззатримкового відеолінку Foxeer

Для реалізації функції дистанційного візуального контролю замість загальної побутової системи відеоспостереження використано зв'язку двох спеціалізованих компонентів, що формують відкритий аналоговий високошвидкісний відеолінк діапазону 5.8 ГГц.

Першим елементом є курсова аналогова камера Foxeer Starlight. Вона формує сирий телевізійний сигнал (PAL/NTSC) без цифрового стиснення та кадрової буферизації, що дозволяє усунути програмну затримку, рисунок 2.7.



Рисунок 2.7 – Зовнішній вигляд камери Foxeer

Другим елементом є відеопередавач Foxeer Reaper Extreme V2. Цей модуль здійснює частотну модуляцію відеосигналу на несучу частоту 5.8 ГГц. Завдяки рознесенню частот (відео на 5.8 ГГц, керування на 2.4 ГГц) повністю

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС КРБ 123.171.00.00 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 27 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

виключено ризик взаємної інтерференції, а великий запас потужності передавача гарантує проникну здатність радіохвиль крізь залізобетонні перекриття, рисунок 2.8.



Рисунок 2.8 – Зовнішній вигляд відеопередавача
Foxeer Reaper Extreme V2

2.2.3 Драйвер двигунів та підсистема стабілізації живлення

Керування тяговими колекторними двигунами здійснюється за допомогою силового драйвера L298N, побудованого за топологією подвійного Н-мосту. Він дозволяє комутувати струми до 2 А на канал, захищаючи мікроконтролер від індуктивних викидів, рисунок 2.9.

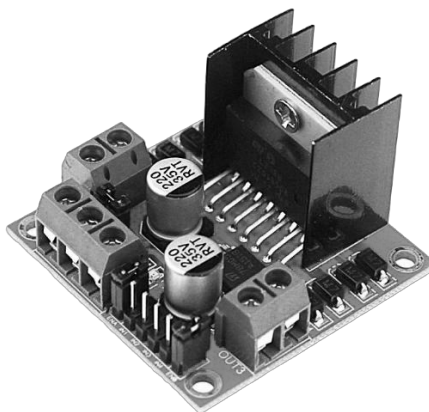


Рисунок 2.9 – Зовнішній вигляд модуля L298N

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КС КРБ 123.171.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 28 |

Підсистема живлення базується на літій-іонній акумуляторній збірці конфігурації 2S. Безпека експлуатації батарей забезпечується платою контролю BMS 2S, яка здійснює балансування комірок і захист від короткого замикання, рисунок 2.10.

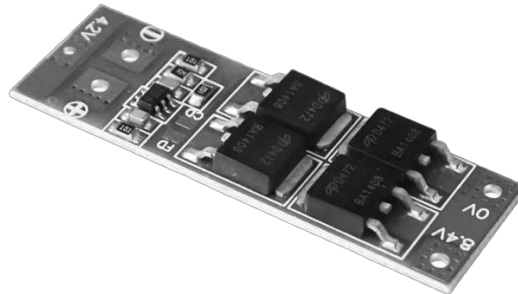


Рисунок 2.10 – Зовнішній вигляд Battery Management System (BMS)

Для ізоляції чутливої цифрової логіки STM32 та NRF24L01+ від імпульсних завад силових моторів, напруга від акумуляторів проходить через каскад стабілізації: імпульсний понижуючий DC-DC перетворювач LM2596 (знижує до 5 В) та лінійний стабілізатор AMS1117-3.3 (формує чисті 3.3 В).

2.3 Розробка принципів електричних схем та вузлів комутації

Оскільки мобільна платформа та пульт керування є двома фізично розділеними пристроями з відмінним набором периферійних компонентів та різним функціональним призначенням, для них було розроблено дві окремі принципові електричні схеми.

Електрична принципова схема мобільної платформи (приймача) відображає поконтактне підключення мікроконтролера STM32F103C8T6 до силового драйвера L298N та паралельне об'єднання двигунів для реалізації танкового керування. Також на ній зображено контур підключення FPV-камери до передавача Foxeer через згладжуючий LC-фільтр для усунення завад, рисунок 2.11.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС КРБ 123.171.00.00 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 29 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

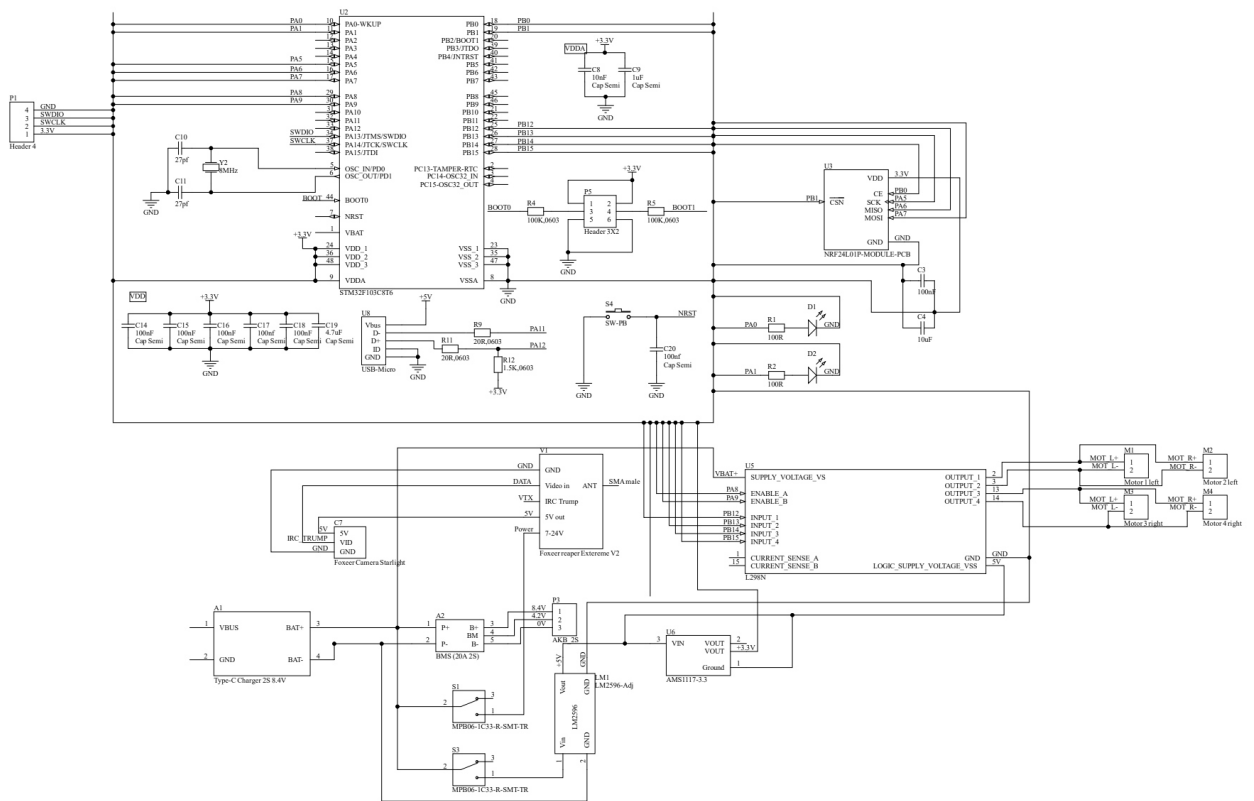


Рисунок 2.11 – Електрична принципова схема мобільної платформи

Електрична принципова схема пульта керування (передавача) описує комутацію потенціометрів джойстиків до аналогових входів АЦП мікроконтролера, підключення радіомодуля NRF24L01+ до шини SPI, а також схему вузла автономної зарядки акумуляторної батареї на базі контролера Туре-С, рисунок 2.12.

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

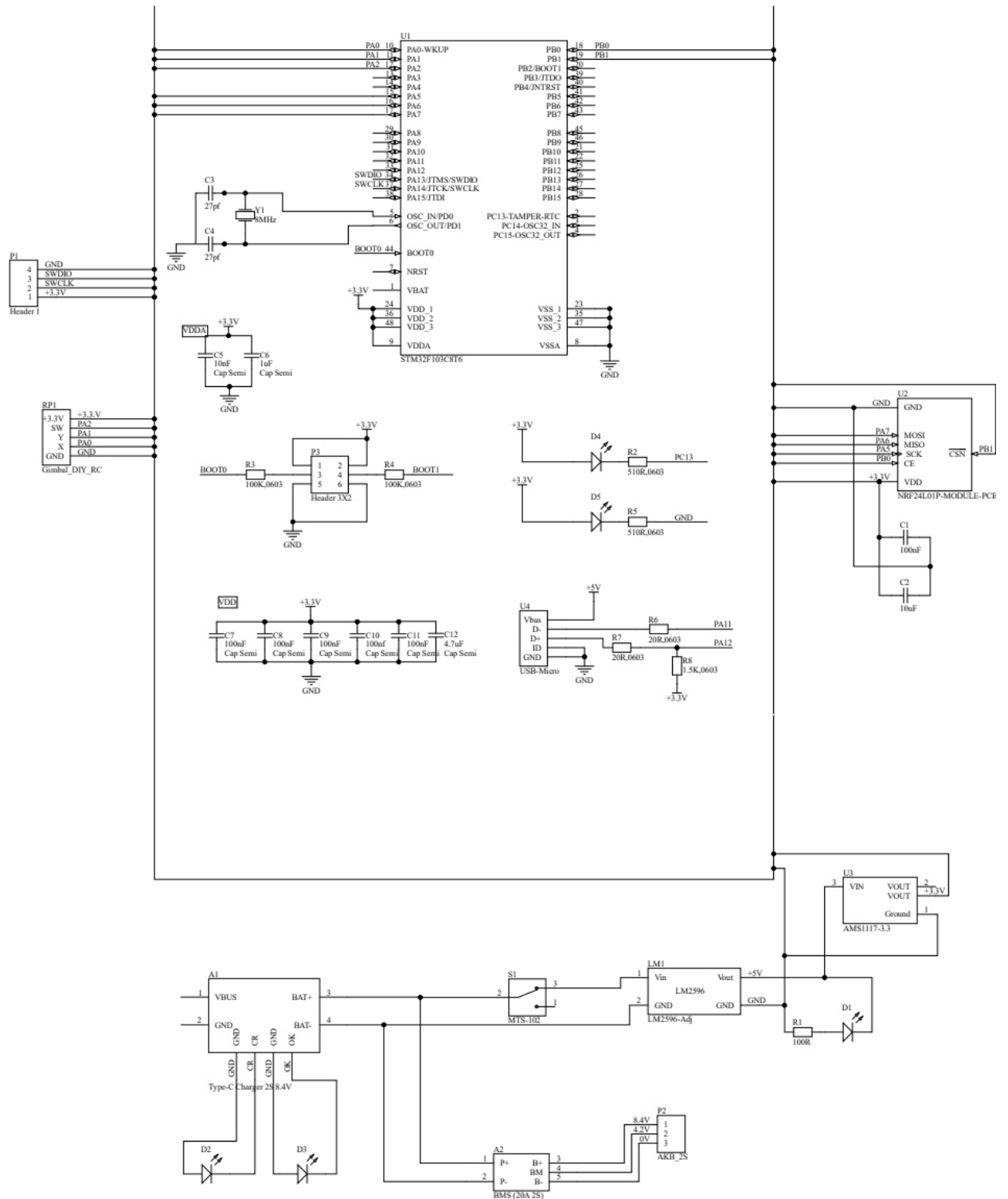


Рисунок 2.12 – Електрична принципова схема пульта

Детальні переліки елементів (специфікації комплектуючих) до кожної з наведених електричних принципових схем винесені у Додаток Б даної кваліфікаційної роботи.

2.4 Алгоритми функціонування мікроконтролерів

На основі розробленої архітектури та використаних HAL-драйверів було створено блок-схеми алгоритмів для обох мікроконтролерів системи.

Як видно з блок-схеми алгоритму пульта, після подачі живлення відбувається одноразова ініціалізація периферії (HAL_Init, SystemClock_Config) та конфігурація радіомодуля в режим передавача (TX) зі швидкістю 250 kbps для забезпечення максимальної пробивної здатності сигналу. Далі програма входить у нескінченний цикл while(1).

У цьому циклі відбувається послідовне опитування АЦП каналів осей X та Y. Сирі 12-бітні значення конвертуються у знакові 8-бітні змінні швидкості та напрямку, пакуються у структуру Payload і через шину SPI передаються у буфер радіомодуля для негайної відправки. Цикл повторюється із фіксованою затримкою у 10 мс, що забезпечує частоту оновлення керуючих команд на рівні 100 Гц, рисунок 2.13.

Аналізуючи блок-схему алгоритму пульта керування, можна виділити критично важливий етап первинної ініціалізації. На цьому етапі відбувається конфігурація тактування ядра мікроконтролера, налаштування портів вводу-виводу та встановлення специфічних параметрів радіомодуля NRF24L01+ (вибір частотного каналу, налаштування максимальної потужності передавача та зниження швидкості передачі даних для підвищення пробивної здатності радіохвиль).

Основний цикл програми побудований за принципом безперервного полінгу (опитування) каналів АЦП. Отримані дані про положення осей джойстиків проходять етап математичного масштабування: сирі 12-бітні значення перетворюються у нормовані знакові змінні швидкості та напрямку, які пакуються у спеціальну структуру даних (Payload) і через інтерфейс SPI передаються в буфер трансивера для негайної відправки в ефір.

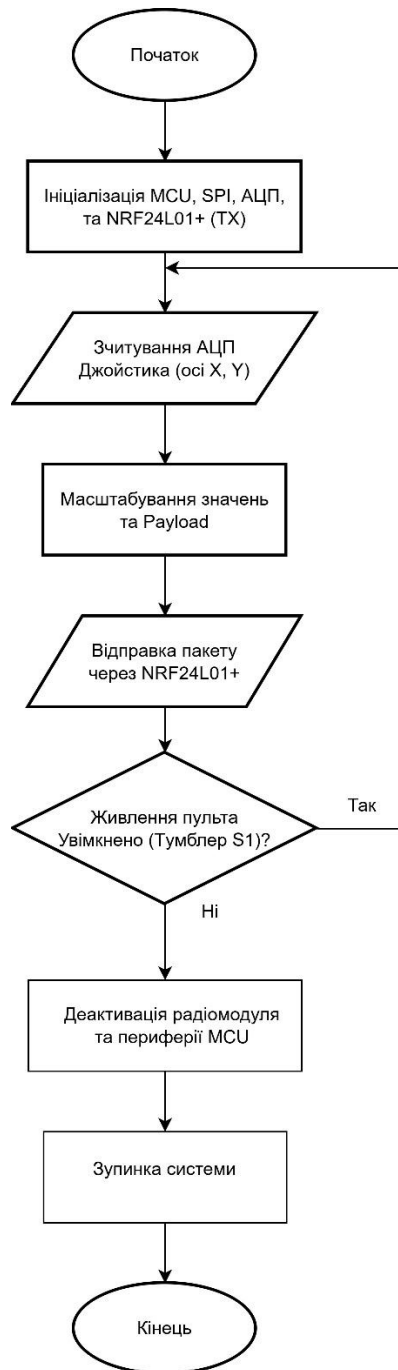


Рисунок 2.13 – Блок-схема алгоритму роботи пульта керування

Алгоритм приймача встановленого на мобільній платформі, є критично важливим для безпечної експлуатації комплексу. Після ініціалізації ШІМ-таймерів, трансивер переводиться у режим безперервного прослуховування ефіру (RX). В основному циклі мікроконтролер постійно перевіряє прапорець переривання від NRF24L01+, рисунок 2.14.

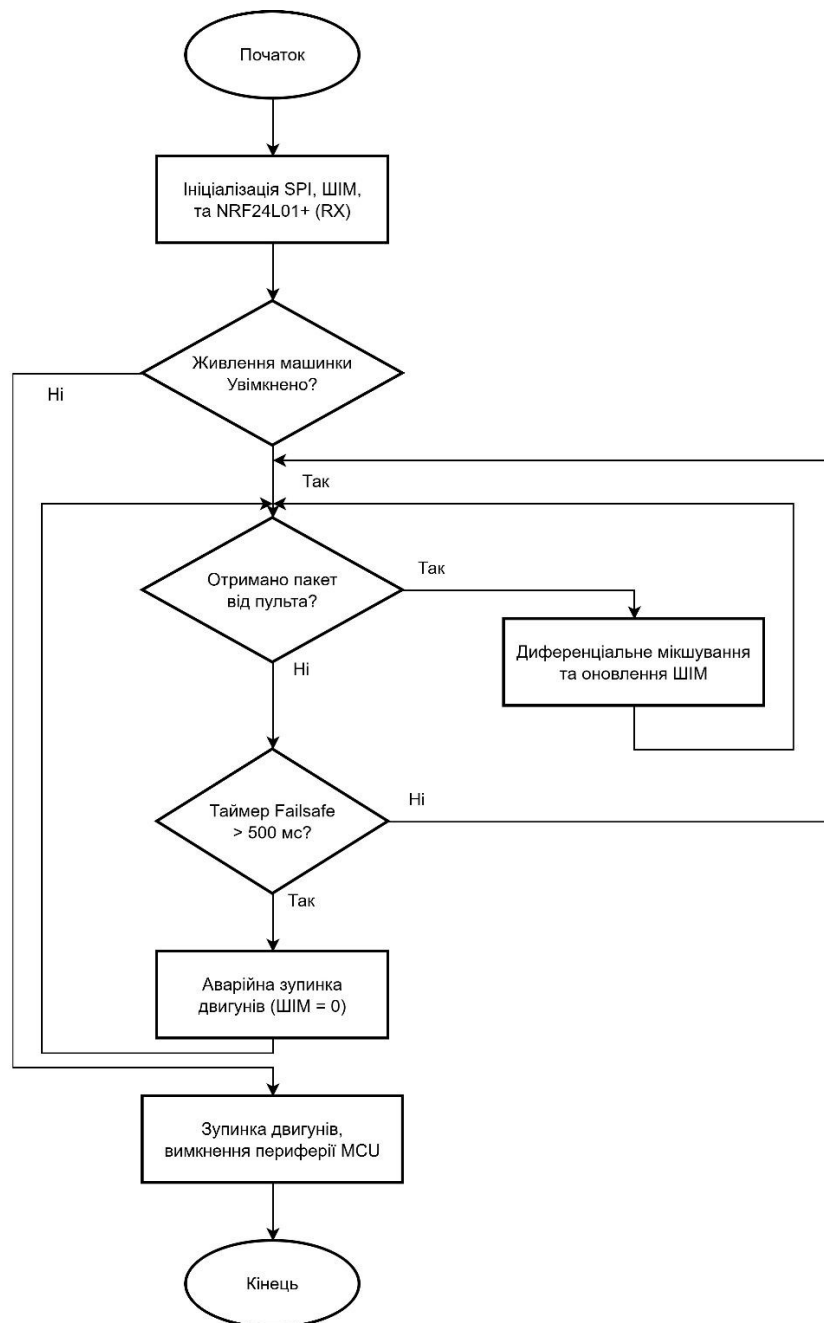


Рисунок 2.14 – Блок-схема алгоритму роботи мобільної платформи

Якщо надходить валідний пакет даних, мікроконтролер зчитує його, оновлює регістри ШІМ для двигунів відповідно до диференціального алгоритму та, що найважливіше, скидає програмний лічильник `lastPacketTime = HAL_GetTick()`.

Якщо ж зв'язок обривається (наприклад, платформа заїхала за товсту залізобетонну стіну, або на пульті розрядився акумулятор), нові пакети

перестають надходити. У цьому випадку алгоритм переходить до перевірки протоколу безпеки Failsafe.

Якщо різниця між поточним системним часом HAL_GetTick() та часом останнього отриманого пакета перевищує встановлений ліміт (500 мілісекунд), мікроконтролер примусово записує нульові значення у регістри ШІМ Set_Motors(0, 0), зупиняючи всі двигуни. Цей алгоритм унеможлиблює неконтрольований рух платформи (Flyaway) при втраті радіосигналу, гарантуючи збереження обладнання та безпеку оточуючих.

Логіка роботи мобільної платформи побудована на постійному скануванні ефіру. При успішному прийомі валідного пакету мікроконтролер розпаковує дані та виконує процедуру диференціального мікшування. Цей математичний апарат перераховує загальні значення швидкості та напрямку у незалежні рівні шпаруватості ШІМ для лівого та правого бортів платформи (реалізація танкового керування). Ключовим елементом експлуатаційної безпеки системи є програмний таймер Failsafe.

Алгоритм безперервно порівнює системний час отримання останнього пакету з поточним відліком таймера мікроконтролера. Якщо різниця перевищує граничний поріг у 500 мілісекунд — що є прямою ознакою втрати радіозв'язку або розряду батареї пульта — система переходить в аварійний режим. Мікроконтролер примусово записує нульові значення у регістри порівняння таймерів, що миттєво припиняє подачу керівних імпульсів на драйвер L298N і зупиняє тягові двигуни, запобігаючи неконтрольованому руху комплексу.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС КРБ 123.171.00.00 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 35 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

РОЗДІЛ 3 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА АЛГОРИТМИ КЕРУВАННЯ

3.1 Архітектура програмного забезпечення та середовище розробки

Розробка програмного забезпечення для мобільної комп'ютерної системи вимагає жорсткого дотримання парадигм програмування вбудованих систем реального часу. Оскільки обчислювальним ядром системи виступають мікроконтролери архітектури ARM Cortex-M3 (STM32F103), базовою мовою програмування було обрано C/C++. Це забезпечує оптимальний баланс між високорівневими абстракціями та можливістю низькорівневого доступу до регістрів пам'яті.

Програмний комплекс розділений на два незалежні проєкти (прошивки):

Прошивка пульта керування (TX): Відповідає за збір даних з аналогових датчиків (джойстиків), їх нормалізацію та циклічну відправку пакетів телеметрії в радіоефір.

Прошивка мобільної платформи (RX): Відповідає за безперервне прослуховування ефіру, дешифрацію вхідних пакетів, виконання диференціального математичного мікшування (танкового керування) та апаратну генерацію сигналів для драйвера силових двигунів, а також за реалізацію протоколу безпеки (Failsafe)

Розробка, компіляція та лінування коду здійснювалися у спеціалізованому інтегрованому середовищі розробки STM32CubeIDE. Для конфігурації периферійних модулів мікроконтролера на початковому етапі використовувався графічний кодогенератор STM32CubeMX, який дозволяє візуально налаштувати тактування ядра (Clock Configuration) та розподілити порти вводу-виводу (Pinout).

| | | | | | КС КРБ 123.171.00.00 ПЗ | | | |
|-----------|------|-------------------|--------|------|---|-----------------------------|------|---------|
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | |
| Розроб. | | Герасименко О. Є. | | | Мобільна комп'ютерна система з функцією дистанційного керування та відеоспостереження | Літ. | Арк. | Аркушів |
| Перевір. | | Лецишин Ю. З. | | | | | 36 | 5 |
| Реценз. | | Пастух О. А. | | | | ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42 | | |
| Н. Контр. | | Тиш Є. В. | | | | | | |
| Затверд. | | Осухівська Г. М. | | | | | | |

Ключовою особливістю програмної реалізації є використання бібліотеки апаратних абстракцій STM32 HAL (Hardware Abstraction Layer), наданої виробником STMicroelectronics. Використання HAL дозволяє відійти від прямої маніпуляції бітами в регістрах пам'яті (як це робиться в бібліотеці CMSIS), натомість пропонуючи набір стандартизованих високорівневих C-функцій і структур. Це значно підвищує читабельність коду, спрощує його портативність на інші лінійки мікроконтролерів STM32 та пришвидшує процес розробки.

3.2 Використання бібліотеки STM32 HAL для керування периферією

Керівництво апаратними модулями мікроконтролера за допомогою бібліотеки HAL реалізується через ініціалізацію специфічних структур даних (Handle TypeDef) та виклик відповідних API-функцій. У межах даної роботи було залучено чотири основні апаратні інтерфейси: GPIO, ADC, TIM та SPI.

3.2.1 Робота з портами вводу-виводу (GPIO)

Для керування напрямком обертання двигунів (подача логічних нулів або одиниць на входи IN1-IN4 драйвера L298N) використовуються базові функції GPIO. Ініціалізація портів відбувається через структуру GPIO_InitTypeDef, де вказується режим роботи піна (наприклад, GPIO_MODE_OUTPUT_PP — двотактний вихід Push-Pull). Безпосередня зміна стану піна в основному циклі програми виконується функцією: HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_0, GPIO_PIN_SET);

3.2.2 Аналого-цифрове перетворення (ADC)

На пульті оператора для зчитування позиції двох осей джойстика використовується багатоканальний 12-бітний АЦП. Бібліотека HAL дозволяє опитувати канали в режимі Polling (очікування готовності). Алгоритм зчитування виглядає наступним чином:

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС КРБ 123.171.00.00 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 37 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Запуск АЦП HAL_ADC_Start(&hadc1), Очікування завершення конверсії напруги в цифровий код: HAL_ADC_PollForConversion(&hadc1, HAL_MAX_DELAY), отримання результату (значення від 0 до 4095): uint32_t joy_val = HAL_ADC_GetValue(&hadc1); Отримане значення програмно масштабується у діапазон швидкостей (-255 ... +255), де 0 відповідає нейтральному центральному положенню джойстика.

3.2.3 Генерація широтно-імпульсної модуляції (TIM/PWM)

Для плавного регулювання швидкості обертання колекторних двигунів платформи використовується апаратна генерація ШІМ за допомогою таймера TIM2. Перевага використання HAL полягає в тому, що після налаштування базової частоти таймера (через параметри Prescaler та Period), генерація імпульсів запускається лише один раз: HAL_TIM_PWM_Start(&htim2, TIM_CHANNEL_3).

Надалі зміна шпаруватості ШІМ (робочого циклу), яка прямо пропорційна швидкості двигуна, відбувається динамічно без зупинки таймера за допомогою спеціального макросу, який напряду пише значення в регістр порівняння: __HAL_TIM_SET_COMPARE(&htim2, TIM_CHANNEL_3, speed_value); Це забезпечує миттєву реакцію моторів на команди без завантаження центрального процесора.

3.2.4 Робота з шиною SPI (взаємодія з NRF24L01+)

Обмін даними між мікроконтролером та трансивером NRF24L01+ є найскладнішою частиною програмного комплексу. Інтерфейс SPI налаштовано в режимі Master. Для передачі команд та пакетів даних в регістри радіомодуля використовується функція: HAL_SPI_TransmitReceive(&hspi1, &tx_data, &rx_data, 1, 100); Ця функція HAL є повнодуплексною: за один такт синхронізації вона відправляє байт команди (tx_data) в трансивер і одночасно зчитує байт статусу (rx_data) з нього. Завдяки цьому реалізується швидке формування пакетів даних та перевірка успішності їх доставки в ефір.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС КРБ 123.171.00.00 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 38 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

3.3 Огляд та тестування готового виробу

Після завершення етапів проєктування, пайки та програмної реалізації було проведено остаточну збірку та комплексне тестування прототипу. Мобільна комп'ютерна система складається з двох фізичних пристроїв. Основним виконавчим вузлом є роботизована платформа. На її шасі компактно змонтовано мікроконтролер, драйвер двигунів L298N, систему автономного живлення з DC-DC перетворювачами та курсову FPV-камеру Foxeer для передачі відео в реальному часі. Усі електронні компоненти надійно зафіксовані для стійкості під час руху, рисунок 3.1.



Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд мобільної робо платформи

Керування цією платформою здійснюється за допомогою спеціально розробленого пульта оператора, рисунок 3.2. Пульт виконано в окремому корпусі, на якому зручно розміщено два аналогові джойстики для точного диференціального маневрування (вперед/назад та розвороти). У верхній частині розташовано тумблери активації живлення. Під час тестування перевірялася швидкість відгуку системи на команди з пульта та загальна ергономіка керування.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | <i>КС КРБ 123.171.00.00 ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 39 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |



Рисунок 3.2 – Зовнішній вигляд пульта дистанційного керування

Практичне тестування на відкритій місцевості та в приміщенні показало високу надійність розробленого комплексу. Радіомодулі NRF24L01+ забезпечують стабільний зв'язок на частоті 2.4 ГГц без відчутних затримок, а трансляція аналогового відеосигналу на частоті 5.8 ГГц відбувається чітко і не створює перешкод для каналу керування. Також успішно пройшов перевірку алгоритм безпеки Failsafe: при штучному вимкненні тумблера на пульті, мобільна платформа миттєво припиняла рух. Створений прототип повністю відповідає поставленому технічному завданню та готовий до експлуатації.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | <i>КС КРБ 123.171.00.00 ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 40 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Аналіз умов праці та небезпечних виробничих факторів під час розробки мобільної комп'ютерної системи

Розробка мобільної комп'ютерної системи з функцією дистанційного керування та відеоспостереження є комплексним процесом, який включає тривалі етапи проектування апаратної частини, написання програмного коду для мікроконтролерів, а також монтажні та налагоджувальні роботи. Робоче місце розробника — це, як правило, стіл, обладнаний персональним комп'ютером, паяльною станцією, вимірювальними приладами та інструментами для збірки механічних компонентів. Відповідно до Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», затверджених Наказом МОЗ України від 08.04.2014 р. № 248, під час виконання цих робіт на організм розробника можуть впливати небезпечні та шкідливі фактори виробничого середовища, а також фактори важкості та напруженості трудового процесу.

Хімічні фактори виробничого середовища переважно виникають під час монтажних робіт. Процес пайки електронних компонентів на друковані плати супроводжується виділенням у повітря робочої зони шкідливих речовин. Використання свинцевовмісних припоїв та каніфольних флюсів призводить до утворення аерозолів свинцю та парів каніфолі. Свинець є токсичною речовиною першого класу небезпеки, що має здатність накопичуватися в організмі, вражаючи нервову систему, систему крові та внутрішні органи. Пари флюсів можуть викликати подразнення слизових оболонок дихальних шляхів та очей, а при тривалому впливі — алергічні реакції та хронічні

| | | | | | КС КРБ 123.171.00.00 ПЗ | | | |
|-----------|------|-------------------|--------|------|---|-----------------------------|------|---------|
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | |
| Розроб. | | Герасименко О. Є. | | | Мобільна комп'ютерна система з функцією дистанційного керування та відеоспостереження | Літ. | Арк. | Аркушів |
| Перевірив | | Лецишин Ю. З. | | | | | 41 | 5 |
| Консульт. | | Сенчишин В. С. | | | | ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42 | | |
| Н. Контр. | | Тиш Є. В. | | | | | | |
| Затверд. | | Осухівська Г. М. | | | | | | |

захворювання легень, тому робоче місце обов'язково повинно бути обладнане місцевою витяжною вентиляцією.

Напруженість та важкість трудового процесу пов'язані з особливостями роботи за комп'ютером під час написання коду для мікроконтролерів, створення креслень або моделювання корпусу. Робота вимагає значного нервово-емоційного напруження, високої концентрації уваги та тривалого статичного навантаження на опорно-руховий апарат. Тривале сидіння в незручній позі призводить до застою крові в органах малого таза, порушення кровообігу в нижніх кінцівках, викривлення хребта та болю в м'язах спини і шиї. Крім того, інтенсивне зорове навантаження під час роботи з дрібними деталями коду та компонентами на платі викликає зорову втому, що може проявлятися різьзою в очах, погіршенням фокусування, а згодом — розвитком короткозорості. Для мінімізації впливу цих факторів необхідно суворо дотримуватися санітарно-гігієнічних вимог до робочого місця.

Приміщення має бути просторим (не менше 6 квадратних метрів на одне робоче місце) та добре провітрюваним. Робочий стіл і крісло повинні бути ергономічними, з можливістю регулювання висоти сидіння та кута нахилу спинки. Монітор комп'ютера слід розташовувати на відстані 60-70 сантиметрів від очей, щоб верхній край екрана знаходився на рівні очей або трохи нижче. Приміщення повинно мати як природне, так і штучне освітлення, де освітленість на поверхні робочого столу повинна становити не менше 300-500 люкс.

Для забезпечення необхідної яскравості під час дрібних монтажних робіт слід використовувати місцеве освітлення з плафоном, який не створює відблисків. Режим праці та відпочинку також є критичним фактором, тому для профілактики зорової та м'язової втоми необхідно робити регламентовані перерви тривалістю 10-15 хвилин кожні 1-2 години роботи.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|--------------------------------|------|
| | | | | | <i>КС КРБ 123.171.00.00 ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 42 |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | |

4.2 Електробезпека та пожежна безпека при конструюванні радіоелектронної апаратури

Оскільки розробка мобільної комп'ютерної системи передбачає використання електричної енергії як для живлення стаціонарного лабораторного обладнання (персонального комп'ютера, паяльної станції), так і для мобільної платформи (літій-іонні акумулятори типу 18650, модулі зарядки та балансування), питання електробезпеки та пожежної безпеки набувають першочергового значення. Електробезпека під час роботи в лабораторії або домашній майстерні регламентується чинними Правилами безпечної експлуатації електроустановок споживачів, затвердженими наказом Комітету по нагляду за охороною праці Міністерства праці та соціальної політики України від 09.01.1998 року № 4. Усі прилади та вимірювальні комплекси, що працюють від мережі змінного струму напругою 220 В, повинні бути надійно заземлені.

Категорично забороняється використання обладнання з пошкодженою ізоляцією провідників, несправними штепсельними вилками або розетками. Ремонт, заміну елементів та будь-яке налагодження приладів, що живляться від електричної мережі, слід проводити лише при повністю знятій напрузі. При роботі з електричним паяльником необхідно обов'язково використовувати підставку з негорючого матеріалу, щоб запобігти випадковому термічному пошкодженню ізоляції дротів, що лежать на робочій поверхні столу, та уникнути короткого замикання. Паяльне обладнання повинно мати надійну термоізоляцію ручки та справний шнур живлення.

Окрему підвищену небезпеку становить джерело автономного живлення мобільної платформи та пульта керування — літій-іонні акумулятори. Незважаючи на їхню високу ефективність і велику енергетичну ємність, такі елементи є джерелом підвищеної пожежної небезпеки. При порушенні встановлених умов експлуатації, виникненні короткого замикання, механічному пошкодженні корпусу або критичному перезаряді літієві

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС КРБ 123.171.00.00 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 43 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

акумулятори здатні дуже швидко перегріватися, самозайматися і навіть вибухати з виділенням значної кількості токсичних газів. Тому обов'язковою та незамінною умовою побудови системи є інтеграція електронних плат захисту та балансування комірок (BMS). Під час безпосереднього монтажу акумуляторної збірки необхідно бути вкрай обережним, надійно ізолювати всі відкриті контакти каптоновим скотчем або термоусадкою, щоб повністю унеможливити ризик випадкового короткого замикання металевим ручним інструментом.

Процес заряджання готового інженерного виробу повинен відбуватися під постійним наглядом розробника і з використанням відповідного штатного модуля заряду.

Пожежна безпека в приміщенні розробника забезпечується суворим виконанням вимог чинних Правил пожежної безпеки в Україні, затверджених наказом МВС України. Основними причинами виникнення пожеж в електротехнічних лабораторіях є токові перевантаження електромережі, виникнення великих перехідних опорів, а також необережне поводження з нагрівальними приладами або залишення їх без нагляду. Для ефективного запобігання пожежам внутрішня електромережа приміщення повинна бути захищена автоматичними вимикачами, розрахованими на відповідний номінальний струм, та пристроями захисного відключення (ПЗВ), які миттєво спрацьовують при виникненні струму витоку. Робоче місце заборонено захаращувати легкозаймистими матеріалами, паперовою документацією, пластиком або залишками упаковок поблизу зони виконання пайки.

Для гасіння можливого загоряння електроустановок під напругою до 1000 В у приміщенні обов'язково повинен знаходитись справний вуглекислотний (ВВК-2) або порошковий (ВП-2) вогнегасник.

Використання води або пінних вогнегасників для локалізації вогню на електрообладнанні категорично забороняється, оскільки це може призвести до ураження розробника електричним струмом. У разі виникнення пожежі алгоритм дій є наступним: необхідно негайно повністю знеструмити

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС КРБ 123.171.00.00 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 44 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

обладнання шляхом вимкнення загального рубильника або витягування вилки з розетки, якщо це безпечно для життя, після чого терміново приступити до локалізації полум'я за допомогою вогнегасника або щільної негорючої тканини.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|--------------------------------|------|
| | | | | | <i>КС КРБ 123.171.00.00 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | 45 |

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі успішно вирішено актуальну науково-технічну задачу з проєктування, програмно-апаратної реалізації та дослідження мобільної комп'ютерної системи з функціями дистанційного керування та відеоспостереження в режимі реального часу.

Проведено детальний аналіз сучасних архітектурних рішень та бездротових протоколів передачі даних, що використовуються у сфері мобільної робототехніки та дистанційного моніторингу. Обґрунтовано доцільність переходу від застарілих 8-бітних обчислювальних платформ до продуктивних 32-бітних мікроконтролерів архітектури ARM Cortex-M, що дозволило забезпечити високу точність та паралельність обробки сигналів у реальному часі.

Розроблено структурну та принципову електричну схеми взаємодії між основними вузлами мобільної платформи (приймача) та дистанційного пульта оператора (передавача). Організовано чіткий розподіл інформаційних та силових контурів, що забезпечило високу завадостійкість цифрової логіки від електричних шумів, які генеруються силовими приводами. Обґрунтовано та підібрано оптимальну компонентну базу системи. Як обчислювальні центри застосовано мікроконтролери STM32 Blue Pill. Бездротовий канал керування та телеметрії реалізовано на базі трансиверів NRF24L01+ (діапазон 2.4 ГГц), а силове управління колекторними двигунами покладено на драйвер L298N, який працює за принципом подвійного H-мосту під дією апаратних ШІМ-сигналів мікроконтролера.

Спроектовано підсистему аналогового FPV-відеоспостереження, яка функціонує у високочастотному діапазоні 5.8 ГГц, що повністю виключило ризик взаємної інтерференції з каналом керування. Інтеграція світлочутливої камери Foxeer Starlight та потужного відеопередавача Foxeer Reaper Extreme V2 дозволила досягти чіткої та деталізованої візуалізації в умовах критичного дефіциту освітлення, а головне — забезпечила беззатримкову (Near-Zero

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | <i>КС КРБ 123.171.00.00 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 46 |

Latency) трансляцію кадру, необхідну для динамічного маневрування платформи.

Розроблено програмне забезпечення для мікроконтролерів пульта та машинки на базі бібліотек апаратної абстракції (HAL). Реалізовано алгоритми пропорційного зчитування стану органів керування через АЦП, оптимізовано параметри радіомодулів (зниження швидкості до 250 kbps для збільшення чутливості та дальності), а також впроваджено алгоритм безпеки *Failsafe*, який автоматично зупиняє рух платформи у разі втрати пакетів зв'язку.

Створено діючий інженерний прототип комплексу та проведено його випробування у реальних умовах відкритих просторів та всередині залізобетонних конструкцій будівель. Результати тестування підтвердили повну відповідність розробленої системи вимогам технічного завдання, високу плавність ходу, надійність утримання радіоканалу та стабільність відеотрансляції крізь перешкоди.

У розділі безпеки життєдіяльності проведено комплексний аналіз конструкції щодо умов безпечної експлуатації. Обґрунтовано пожежну безпеку використання літій-іонних акумуляторів шляхом інтеграції плати захисту й балансування BMS 2S 20A та застосування вогнетривкого корпусу. Також детально розписано ергономічні вимоги до організації робочого місця оператора (параметри освітлення, мікроклімату, геометрії зору та режимів праці) з метою мінімізації професійних ризиків та збереження здоров'я обслуговуючого персоналу.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС КРБ 123.171.00.00 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 47 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Bardwell, J. RadioMaster TX12 MKII In-Depth Review and Teardown / Joshua Bardwell // FPV Knowledge Base. — 2022.
2. Oscar Liang. RadioMaster TX12 MKII Radio Transmitter Review & Comparison / Oscar Liang // DIY FPV Blogs. — 2022.
3. ExpressLRS Official Documentation: Hardware Architecture / ELRS Development Team. — 2024.
4. EdgeTX User Manual. Version 2.8 / 2.9 (and newer) / EdgeTX Core Team. — 2023–2025. — 180+ p.
5. Рябенський В. М. Цифрова обробка сигналів та мікропроцесори. Київ: НУБІП, 2018. 290 с.
6. Скляр Б. Цифровий зв'язок. Теоретичні основи та практичне застосування. Москва: Вільямс, 2003. 1104 с.
7. Харченко В. С. Безпілотні авіаційні комплекси: архітектура та надійність. Харків: НАКУ "ХАІ", 2020. 215 с.
8. Шостак І. В. Проектування систем керування безпілотними літальними апаратами. Київ: КПП ім. Ігоря Сікорського, 2021. 195 с.
9. Solomon Systech. SSD1306 Advanced Information: 128 x 64 Dot Matrix OLED Segment/Common Driver. 2008. 65 p.
10. SPI Block Guide V03.06. Motorola Inc., 2004. 32 p.
11. I2C-bus specification and user manual. Rev. 6. NXP Semiconductors, 2014. 64 p.
12. STMicroelectronics. STM32F103x8, STM32F103xB Datasheet. 2015. 117 p.
13. STMicroelectronics. UM1718 User manual: STM32CubeMX for STM32 configuration and initialization C code generation. 2023. 364 p.
14. STMicroelectronics. UM1850 User manual: Description of STM32F1 HAL and low-layer drivers. 2022. 1230 p.
15. STMicroelectronics. UM2609 User manual: STM32CubeIDE user guide. 2023. 240 p.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | <i>КС КРБ 123.171.00.00 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 48 |

16. Жаровський Р.О., Луцик Н.С., Осухівська Г.М., Паламар А.М., Тиш Є.В. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія» усіх форм навчання. Тернопіль: ТНТУ, 2024. 39 с.

17. Паламар М.І., Стрембіцький М.О., Паламар А.М. Проектування комп'ютеризованих вимірювальних систем і комплексів. Навчальний посібник. Тернопіль: ТНТУ. 2019. 150 с.

18. Voloskyi V., Leshchyshyn Y., Romanyshyn N., Palamar A., Tarasenko L. Method and algorithm for efficient cell balancing in the lithium-ion battery control system. CEUR Workshop Proceedings, The 1st International Workshop on Bioinformatics and Applied Information Technologies (BAIT 2024), Zboriv, Ukraine, October 02-04, 2024. Vol. 3842. P. 258-267.

19. Лецишин Ю.З., Романишин Н.Р., Наконечний В.В., Паламарчук А.О. Розробка системи зв'язку як інтегрованого елементу роботизованих систем. Проблеми створення, розвитку та застосування високотехнологічних систем спеціального призначення з урахуванням досвіду антитерористичної операції. Збірник тез доповідей XXI Всеукраїнської науково-практичної конференції. Житомир, 2016. С. 102.

20. Лецишин Ю.З., Назаревич Т.О., Міська І.В. Створення вбудованих систем на базі структурно - параметричних моделей цифрових каналів зв'язку. VIII Науково-технічна конференція «Інформаційні моделі, системи та технології». Тернопіль, 2020. С. 127.

21. Leschyshyn Y., Scherbak L., Nazarevych O., Gotovych V., Tymkiv P., Shymchuk G. Multicomponent Model of the Heart Rate Variability Change-point. IEEE XVth International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH). 2019. P. 110–113.

22. Tymkiv P., Leshchyshyn Y. Algorithm Reliability of Kalman Filter Coefficients Determination for Low-Intensity Electroretinosignal. IEEE 15th

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | <i>КС КРБ 123.171.00.00 ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 49 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM). 2019. P.1-5.

23. Leschyshyn Y., Semchyshyn O. Periodically correlated heart rate variability detection by Neyman - Pearson criterion. 9th International Conference - The Experience of Designing and Applications of CAD Systems in Microelectronics. 2007. P. 139–140.

24. Геврик Є.О. Охорона праці. К.: Ельга, Ніка-Центр, 2003. 280 с.

25. Державні санітарні норми та правила «Гранично допустимі концентрації хімічних речовин у повітрі робочої зони». Затверджено наказом МОЗ України від 14.07.2020 № 1596. Київ, 2020. 84 с.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|--------------------------------|------|
| | | | | | <i>КС КРБ 123.171.00.00 ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 50 |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | |

Додаток А
Технічне завдання

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

“Затверджую”

Завідувач кафедри КС

_____ Осухівська Г.М.

“ 2 ” лютого 2026 р.

Мобільна комп'ютерна система з функцією дистанційного керування та
відеоспостереження

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на 14 листках

Вид робіт:

Кваліфікаційна робота

На здобуття освітнього ступеня «Бакалавр»

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

«УЗГОДЖЕНО»

«ВИКОНАВЕЦЬ»

Керівник кваліфікаційної роботи

Студент групи СІ-42

_____ к.т.н., доц. Лещишин Ю. З.

_____ Герасименко О. Є.

“ 2 ” лютого 2026 р.

“ 2 ” лютого 2026 р.

Тернопіль 2026

1 Загальні відомості

1.1 Повна назва та її умовне позначення

Мобільна комп'ютерна система з функцією дистанційного керування та відеоспостереження.

КС КРБ 123.171.00.00

1.2 Виконавець

Студент групи СІ-42, факультету комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедри комп'ютерних систем та мереж, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, Герасименко О. Є.

1.3 Підстава для виконання роботи

Підставою для виконання кваліфікаційної роботи є наказ по університету (№4/9-188 від 24.04.2026 р.)

1.4 Планові терміни початку та завершення роботи

Плановий термін початку виконання кваліфікаційної роботи – 26.01.2026 р.

Плановий термін завершення виконання кваліфікаційної роботи – 23.06.2026 р.

1.5 Порядок оформлення та пред'явлення результатів роботи

Порядок оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу здійснюється у відповідності до чинних норм та правил ISO, ЕСКД, ЕСПД та ДСТУ.

Пред'явлення проміжних результатів роботи з виконання кваліфікаційної роботи здійснюється у відповідності до графіку, затвердженого керівником роботи. Попередній захист кваліфікаційної роботи відбувається при готовності роботи – наявності пояснювальної записки та графічного матеріалу.

Пред'явлення результатів кваліфікаційної роботи відбувається шляхом захисту на відповідному засіданні ЕК, ілюстрацією основних досягнень за допомогою графічного матеріалу.

2 Призначення і цілі створення системи

2.1 Призначення системи

Система призначена для проведення дистанційного візуального моніторингу місцевості, інспекції інженерних споруд, а також виконання дослідницьких чи пошукових завдань у важкодоступних або небезпечних для людини зонах.

2.2 Мета створення системи

Метою є розробка, проєктування та технічна реалізація прототипу високоефективної мобільної комп'ютерної системи з функцією бездротового дистанційного керування та беззатримкового відеоспостереження в режимі реального часу на базі 32-бітних мікроконтролерів

2.3 Характеристика об'єкту

Розроблена система являє собою мобільну роботизовану платформу з автономним живленням, яка керується оператором на відстані за допомогою спеціалізованого пульта. Система використовує високошвидкісні обчислювальні модулі STM32 (Blue Pill) та розділені радіоканали: 2.4 ГГц для передачі команд телеметрії та 5.8 ГГц для трансляції аналогового відеопотоку.

3 Вимоги до системи

3.1 Система повинна складатися з двох основних взаємопов'язаних блоків:

Мобільна платформа (приймач): мікроконтролер STM32, драйвер двигунів L298N, радіомодуль NRF24L01+, FPV-камера Foxeer Starlight, відеопередавач Foxeer Reaper Extreme V2, підсистема автономного живлення з BMS.

Пульт керування (передавач): мікроконтролер STM32, аналогові органи керування (джойстики), радіомодуль NRF24L01+, система відображення відео (FPV-монітор або окуляри).

3.2 Вимоги до способів та засобів зв'язку:

Канал керування має бути реалізований на базі трансиверів NRF24L01+ у діапазоні 2.4 ГГц із використанням протоколу апаратного підтвердження пакетів та швидкості 250 kbps для максимальної дальності.

Канал відеотрансляції повинен функціонувати у діапазоні 5.8 ГГц для виключення взаємних завад із каналом керування.

3.3 Вимоги до режимів функціонування системи:

Нормальний режим: безперервний обмін пакетами даних між пультом та платформою, плавне керування силовими двигунами через ШІМ-сигнали, стабільна трансляція відео з нульовою затримкою (Near-Zero Latency).

Аварійний режим (Failsafe): у разі втрати радіозв'язку між пультом та платформою на час понад 500 мс, система повинна автоматично обнулити ШІМ-сигнали та виконати екстрену зупинку двигунів для запобігання втраті контролю над машинкою.

3.4 Вимоги до надійності

Система повинна бути стійкою до інтерференції частот та електричних шумів від колекторних двигунів.

Живлення цифрової логіки має бути гальванічно розв'язане від силової підсистеми за допомогою імпульсних DC-DC перетворювачів та LC-фільтрів.

3.5 Вимоги до безпеки

Електро та пожежна безпека: Акумуляторний блок повинен бути оснащений системою керування BMS 2S 20A для захисту від короткого замикання, перерозряду та перезаряду літій-іонних комірок.

Терморегуляція: Відеопередавач потужністю до 2.5 Вт повинен мати пасивний алюмінієвий радіатор та програмну можливість зниження потужності (Pitmode) під час простою для запобігання тепловому пробою та опікам оператора.

3.6 Вимоги до експлуатації та організації робочого місця оператора

Мікроклімат та параметри освітлення робочого місця оператора під час керування платформою повинні відповідати санітарним нормам (температура 22–25 °С, освітленість 300–500 лк). Тривалість безперервного візуального контролю через FPV-тракт не повинна перевищувати 45 хвилин без перерви.

4. Вимоги до документації:

Комплект документації повинен відповідати вимогам ЄСКД та ДСТУ і містити:

пояснювальну записку;

графічний матеріал (структурна схема системи, схема електрична принципова, структурна схема ПЗ, блок-схеми алгоритмів).

5. Стадії та етапи проектування, таблиця 1.

Таблиця 1 – Стадії та етапи виконання кваліфікаційної роботи бакалавра

| № етапу | Назва етапу виконання кваліфікаційної роботи бакалавра | Термін виконання |
|---------|---|----------------------|
| 1 | <i>Розробка технічного завдання</i> | <i>26.01 – 02.02</i> |
| 2 | <i>Робота над першим розділом «Аналіз технічного завдання та огляд аналогів»</i> | <i>03.02 – 15.02</i> |
| 3 | <i>Робота над другим розділом «Проектування апаратної та структурної частини системи»</i> | <i>20.04 – 25.04</i> |
| 4 | <i>Робота над третім розділом «Програмна реалізація та алгоритми керування»</i> | <i>26.04 – 05.05</i> |
| 5 | <i>Робота над четвертим розділом «Безпека життєдіяльності. Основи охорони праці»</i> | <i>07.05 – 25.05</i> |
| 6 | <i>Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу</i> | <i>26.05 – 7.06</i> |
| 7 | <i>Перевірка на академічний плагіат, перевірка керівником та консультантами</i> | <i>8.06 – 14.06</i> |
| 8 | <i>Попередній захист кваліфікаційної роботи бакалавра</i> | <i>15.06 – 21.06</i> |
| 9 | <i>Захист кваліфікаційної роботи бакалавра</i> | <i>23.06.2026</i> |

Додаток Б
Перелік елементів

| <i>Поз. позначення</i> | <i>Найменування</i> | <i>Кіл.</i> | <i>Примітка</i> |
|------------------------|---------------------------------|-------------|-----------------|
| | | | |
| | <u>Модулі та плати</u> | | |
| | | | |
| A1 | Type-C Charger 2S 8.4V | 1 | |
| A2 | BMS 2S 20A | 1 | |
| | | | |
| | <u>Конденсатори</u> | | |
| | | | |
| C1 | 100nF | 1 | |
| C2 | 100uF | 1 | |
| | | | |
| | <u>Індикатори</u> | | |
| | | | |
| D1, D2 | Led_white | 2 | |
| | | | |
| LM1 | Стабілізатор напруги LM2596-Adj | 1 | |
| | | | |
| P1 | Роз'єм підключення STlink | 2 | |
| P2 | АКВ 2S 18650 | | |
| | | | |
| | <u>Резистори</u> | | |
| | | | |
| R1, R2 | 100R | 2 | |
| | | | |
| | <u>Перемикачі</u> | | |
| | | | |
| S1, S2 | Перемикач MPB06-1C33-R-SMT-TR | 2 | |
| | | | |
| | <u>Мікросхеми та модулі</u> | | |
| | | | |
| U1 | STM32F103C8T6 | 1 | |
| U2 | NRF24I01P-module-pcb | 1 | |
| U3 | L298 Driver motor | 1 | |
| U4 | AMS1117-3.3V | 1 | |
| | | | |
| | <u>Модулі відеозв'язку</u> | | |
| | | | |
| V1 | Foxeer reaper Extreme V2 | 1 | |
| V2 | Foxeer camre Starlight | 1 | |

| | | | | | | | | |
|-----------|------------|-------------------|---------------|-------------|---|--------------------------|--------------|----------------|
| | | | | | КС КРБ 123.171.00.00 ПЕ | | | |
| <i>Зм</i> | <i>Арк</i> | <i>№ докум</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | | | |
| Розроб. | | Герасименко О. Є. | | | Мобільна комп'ютерна система з функцією дистанційного керування та відео спостереження Перелік елементів мобільної платформи | <i>Літ</i> | <i>Аркуш</i> | <i>Аркушів</i> |
| Перевір. | | Пецишин Ю. З. | | | | н | 59 | 1 |
| Консульт. | | | | | | ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42 | | |
| Н. контр. | | Тиш С. В.. | | | | | | |
| Зав. каф. | | Осухівська Г. М. | | | | | | |

Додаток В

Лістинг коду програми

Вихідний код програми пульта керування (Передавач – main.cpp):

```
#include "main.h"
#include "nrf24l01.h"
SPI_HandleTypeDef hspi1;
ADC_HandleTypeDef hadc1;
struct PayloadTX {
int8_t throttle; // Швидкість (вперед/назад)
int8_t steering; // Напрямок (вліво/вправо)
uint8_t buttons; // Стан додаткових кнопок
};
PayloadTX dataPacket;
void SystemClock_Config(void);
static void MX_GPIO_Init(void);
static void MX_SPI1_Init(void);
static void MX_ADC1_Init(void);
int main(void)
{ HAL_Init();
SystemClock_Config();
MX_GPIO_Init();
MX_SPI1_Init();
MX_ADC1_Init();
// Ініціалізація радіомодуля NRF24L01+
NRF24_Init();
NRF24_SetChannel(100); // 2.500 ГГц
NRF24_SetDataRate(RF24_250KBPS); // Максимальна чутливість
NRF24_SetPALevel(RF24_PA_MAX); // Максимальна потужність
NRF24_OpenWritingPipe(0xF0F0F0F0E1LL);

NRF24_StopListening();
while (1) {
// Зчитування вертикальної осі джойстика (Швидкість)
HAL_ADC_Start(&hadc1);
if (HAL_ADC_PollForConversion(&hadc1, 10) == HAL_OK) {
uint32_t adc_val1 = HAL_ADC_GetValue(&hadc1);
dataPacket.throttle = (int8_t)((adc_val1 - 2048) / 16);
}
// Зчитування горизонтальної осі джойстика (Поворот)
```

```

    if (HAL_ADC_PollForConversion(&hadc1, 10) == HAL_OK) {
        uint32_t adc_val2 = HAL_ADC_GetValue(&hadc1);
        dataPacket.steering = (int8_t)((adc_val2 - 2048) / 16);
    }
    HAL_ADC_Stop(&hadc1);

    dataPacket.buttons = HAL_GPIO_ReadPin(GPIOB, GPIO_PIN_12);

    // Відправка пакету даних
    NRF24_Write(&dataPacket, sizeof(PayloadTX));

    HAL_Delay(10); // Циклічна затримка 10 мс
}

```

Вихідний код програми мобільної платформи (Приймач – main.cpp)

```

#include "main.h"
#include "nrf24l01.h"

SPI_HandleTypeDef hspi1;
TIM_HandleTypeDef htim2; // ШИМ для лівого мотора
TIM_HandleTypeDef htim3; // ШИМ для правого мотора

struct PayloadRX {
    int8_t throttle;
    int8_t steering;
    uint8_t buttons;
};

PayloadRX receivedPacket;
uint32_t lastPacketTime = 0;
void SystemClock_Config(void);
static void MX_GPIO_Init(void);
static void MX_SPI1_Init(void);
static void MX_TIM2_Init(void);
static void MX_TIM3_Init(void);
void Set_Motors(int16_t leftSpeed, int16_t rightSpeed);
int main(void) {
    HAL_Init();
    SystemClock_Config();

```

```

MX_GPIO_Init();
MX_SPI1_Init();
MX_TIM2_Init();
MX_TIM3_Init();
// Запуск генерації апаратного ШІМ для драйвера L298N
HAL_TIM_PWM_Start(&htim2, TIM_CHANNEL_1);
HAL_TIM_PWM_Start(&htim3, TIM_CHANNEL_1);
// Конфігурація NRF24L01+ у режим приймача
NRF24_Init();
NRF24_SetChannel(100);
NRF24_SetDataRate(RF24_250KBPS);
NRF24_OpenReadingPipe(1, 0xF0F0F0F0E1LL);
NRF24_StartListening();
lastPacketTime = HAL_GetTick();
while (1) {
    if (NRF24_Available()) {
        NRF24_Read(&receivedPacket, sizeof(PayloadRX));
        lastPacketTime = HAL_GetTick(); // Скидання таймера безпеки
        // Алгоритм диференціального мікшування для танків/машинок
        int16_t    leftMotor    =    receivedPacket.throttle    +
receivedPacket.steering;
        int16_t    rightMotor   =    receivedPacket.throttle   -
receivedPacket.steering;

        Set_Motors(leftMotor, rightMotor);
    } else {
        // Перевірка протоколу безпеки Failsafe
        if ((HAL_GetTick() - lastPacketTime) > 500) {
            Set_Motors(0, 0); // Екстрена зупинка двигунів
        }
    }
}

void Set_Motors(int16_t leftSpeed, int16_t rightSpeed) {
    // Логіка напрямку руху для лівого мотора (IN1, IN2)
    if (leftSpeed >= 0) {
        HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_0, GPIO_PIN_SET);
        HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_1, GPIO_PIN_RESET);
    }
}

```

```
    __HAL_TIM_SET_COMPARE(&htim2, TIM_CHANNEL_1, leftSpeed);  
} else {  
    HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_0, GPIO_PIN_RESET);  
    HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_1, GPIO_PIN_SET);  
    __HAL_TIM_SET_COMPARE(&htim2, TIM_CHANNEL_1, -leftSpeed);  
}
```