

Вінницький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Інформаційних електронних систем

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра Інформаційних радіоелектронних технологій і систем

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

РАДІОТЕХНІЧНА СИСТЕМА ДИСТАНЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ РУХОМОЮ ПЛАТФОРМОЮ

Виконав: студент 2(4)-го курсу, групи РТ-23мс
спеціальності 172 – Електронні комунікації та
радіотехніка ОП- Радіотехніка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Петриця С.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., ст. викл. каф. ІРТС

Притула М.О.

(прізвище та ініціали)

«11» 06 2025 р.

Рецензент: к.т.н., доц., доцент каф. ІКСТ

Семенова О.О.

(прізвище та ініціали)

«12» 06 2025 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ІРТС

д.т.н., проф. Осалчук О.В.

(прізвище та ініціали)

«13» 06 2025 р.

Вінниця ВНТУ - 2025 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет Інформаційних електронних систем
Кафедра Інформаційних радіоелектронних технологій і систем
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань – 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації
Спеціальність – 172 Електронні комунікації та радіотехніка
Освітньо-професійна програма – Радіотехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІРТС

Олександр ОСАДЧУК

 2023 року

ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Петриці Станіславу Вікторовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

- Тема роботи. «Радіотехнічна система дистанційного керування рухомою платформою»
керівник роботи Притула Максим Олександрович, к.т.н., ст. викл. каф. ІРТС
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу від “20”03 2025 року № 97
- Строк подання студентом роботи 10 06 2025 року
- Вихідні дані до роботи: частота передачі команд 433МГц; забезпечити можливість змінювати напрямок та кут повороту рухомої платформи; забезпечити наявність органів керування; команди керування повинні шифруватись; забезпечити крок зміни кута повороту 10⁰ вліво та вправо.
- Зміст текстової частини: Вступ. Аналіз сучасного стану систем дистанційного керування. Розробка радіотехнічної системи дистанційного керування рухомою платформою. Дослідження експериментального зразка. Охорона праці. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.
- Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Загальна структурна схема радіотехнічної системи дистанційного керування рухомою платформою. Розпіновка Arduino Nano. Радіомодулі WL101-341. Серводвигун SG90. Кроковий двигун 28BYJ-48. Детальна структурна схема радіотехнічної системи. Передавальна складова радіотехнічної системи. Приймальна складова радіотехнічної системи. Дослідження експериментального зразка.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Основна частина	к.т.н., ст. викл. каф. ІРТС Притула М.О.		
Охорона праці	професор кафедри БЖДПБ, доцент, д.п.н., Дембіцька С.В.		

7. Дата видачі завдання 25.03.2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

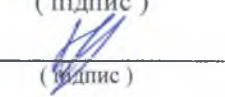
№ з/п	Назва етапів бакалаврської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	При-мітка
1.	Вибір, узгодження та затвердження теми БКР	14.02.2025-28.02.2025	
2.	Огляд та аналіз літературних джерел.	01.03.2025-19.03.2025	
3.	Розробка завдання на БКР. Затвердження теми.	20.03.2025-25.03.2025	
4.	Попередня розробка основних розділів. Аналіз вирішення поставленої задачі. Розробка структурної схеми та технічних рішень.	26.03.2025-06.05.2025	
5.	Математичне моделювання та електричні розрахунки . Експериментальне дослідження.	07.05.2025-18.05.2025	
6.	Розробка ілюстративної частини БКР	19.05.2025-22.05.2025	
7.	Охорона праці (ОП)	23.05.2025-25.05.2025	
8	Оформлення пояснювальної записки та ілюстративної частини.	26.05.2025-05.06.2025	
9.	Нормоконтроль	07.06.2025-10.06.2025	
10.	Попередній захист БКР, доопрацювання, рецензування БКР	11.06.2025-15.06.2025	
11.	Захист БДР ЕК	16.06.2025-17.06.2025	

Студент


(підпис)

Петриця С.В.

Керівник роботи


(підпис)

Притула М.О.

АНОТАЦІЯ

ДК 621.396

Петриця С. В. Радіотехнічна система дистанційного керування рухомою платформою. Бакалаврська кваліфікаційна робота зі спеціальності 172 – Електронні комунікації та радіотехніка, освітня програма – Радіотехніка. Вінниця: ВНТУ, 2025. 91 с. Укр. мовою. Бібліогр.: 39 назв; рис. 20; табл. 7.

Бакалаврська кваліфікаційна робота присвячена теоретичному вивченню та практичній реалізації радіотехнічної системи дистанційного керування рухомою платформою. У роботі розроблено структурну схему системи, підібрано електронну елементну базу та реалізовано програмне забезпечення для керування платформою.

У процесі дослідження виконано аналіз сучасних технологій дистанційного керування мобільними об'єктами, розглянуто принципи передачі команд за допомогою радіомодулів, особливості роботи сервоприводів і драйверів для двигунів. Проведено моделювання рухомої платформи та експериментальну перевірку її працездатності. У загальній частині роботи здійснено огляд літературних джерел, наведено обґрунтування актуальності теми, описано послідовність проєктування пристрою.

Ключові слова: радіотехнічна система, дистанційне керування, рухома платформа, сервоприводи, радіомодулі, Arduino.

ABSTRACT

Petrytsia S. V. Radio Engineering System for Remote Control of a Mobile Platform. Bachelor's thesis in the specialty 172 – Electronic Communications and Radio Engineering, educational program – Radio Engineering. Vinnytsia: VNTU, 2025. 91 p. In Ukrainian. Bibliography: 39 sources; illustrations: 20; tables: 7.

This bachelor's qualification work is devoted to the theoretical study and practical implementation of a radio engineering system for remote control of a mobile platform. The work includes the development of a structural diagram of the system, the selection of the electronic component base, and the implementation of software for platform control.

During the research, modern technologies for remote control of mobile objects were analyzed, the principles of command transmission using radio modules were examined, as well as the features of servo motors and motor drivers. The mobile platform was modeled and experimentally tested for operational performance. The general section of the thesis includes a literature review, justification of the topic's relevance, and a description of the device design sequence.

Keywords: radio engineering system, remote control, mobile platform, servo motors, radio modules, Arduino.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ СИСТЕМ	
ДИСТАНЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ.....	9
1.1 Актуальність дослідження та розробки радіотехнічних систем дистанційного керування.....	10
1.2 Аналіз сучасних систем радіокерування.....	17
1.3 Частотні діапазони для радіокерування	23
2 РОЗРОБКА РАДІОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНОГО	
КЕРУВАННЯ РУХОМОЮ ПЛАТФОРМОЮ.....	27
2.1 Вибір та обґрунтування мікроконтролерного модуля.....	27
2.2 Вибір та обґрунтування модуля радіокерування	34
2.3 Вибір та обґрунтування серводвигуна	40
2.4 Вибір та обґрунтування крокового двигуна.....	45
2.5 Розробка структурної схеми радіотехнічної системи.....	49
2.6 Розробка програмного забезпечення.....	51
3 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ЗРАЗКА	59
3.1 Складання дослідного зразка.....	59
3.2 Дослідження передавальної частини.....	61
3.3 Дослідження приймальної частини.....	62
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	65
4.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи	66
4.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії	69
4.3 Пожежна безпека	75
ВИСНОВКИ	78
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	80
Додаток А (обов'язковий) Ілюстративний матеріал.....	84
Додаток Б (обов'язковий) Протокол перевірки бакалаврської кваліфікаційної роботи.....	91

ВСТУП

Рухома радіотехнічна система дистанційного керування — це складна технологічна система, що застосовує радіотехнології для управління рухомими платформами в різних сферах діяльності. Ця система інтегрує в собі різноманітні компоненти, такі як сенсори, модулі передачі даних, оброблювальні пристрої, а також алгоритми аналізу і управління. [1]

Актуальність теми.

Актуальність створення рухомої радіотехнічної системи дистанційного керування зумовлена зростаючими потребами у автоматизації процесів, викликаними глобалізацією, індустріалізацією та збільшенням обсягів виробництв. Дистанційне управління дозволяє виконувати завдання в умовах, недоступних для людини, з високою ефективністю та безпекою.

Основна функція рухомої радіотехнічної системи дистанційного керування полягає в можливості керувати платформою на відстані, отримуючи зворотний зв'язок щодо її стану. Це забезпечує безперервний моніторинг та контроль над виконанням завдань у реальному часі, а також оперативне внесення коректив у процеси. [2]

Сфера застосування таких систем є дуже широкою. Вони можуть бути використані у:

- Промисловості: для автоматизації монтажних та обслуговуючих процесів.
- Сільському господарстві: для виконання польових робіт з високою ефективністю.
- Екології: для моніторингу забруднення навколишнього середовища та контролю за станом екосистем.
- Транспорті: для управління безпілотними транспортними засобами та моніторингу дорожніх умов.

Останнім часом розвиток радіотехнічних систем дистанційного керування активно досліджується в багатьох наукових напрямках. Ці системи

все більше використовуються для вирішення проблем екології, безпеки, автоматизації виробництва та наукових досліджень, що підкреслює їхню значущість у сучасному суспільстві.

Система складається з мікроконтролерів, датчиків, модулів зв'язку, інтерфейсів для користувача, які забезпечують простоту керування. Корпус системи може бути виготовлений з використанням 3D-друку, що дає змогу забезпечити гарну ергономіку та й легкість у модифікації. [3]

Мета роботи.

Метою дослідження є розробка рухомої радіотехнічної системи дистанційного керування, а також оптимізація її структури з метою підвищення ефективності та надійності. Це передбачає розробку структурних схем, вибір відповідних елементів та розробку програмного забезпечення.

Об'єкт і предмет дослідження.

Об'єктом дослідження є радіотехнічні системи дистанційного керування, їх основні інженерні та програмні компоненти.

Предметом дослідження є моделі та алгоритми, що забезпечують функціонування систем, а також інтеграція зі специфічними платформами.

Завдання дослідження:

1. Провести аналіз сучасного стану систем дистанційного керування.
2. Розробити рухому радіотехнічну систему, обрати та обґрунтувати схему системи, включаючи програмне забезпечення і необхідні модулі.
3. Провести моделювання радіотехнічної системи та її окремих компонентів.
4. Визначити найбільш продуктивні модулі та обрати моделюючий пакет для подальшого аналізу.

Цей проект сприяє розширенню знань про можливості радіотехнічних систем у контексті автоматизації і дистанційного управління, а також підтримує розробку інноваційних технологій у різних сферах.

1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ СИСТЕМ ДИСТАНЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ

1.1 Актуальність дослідження та розробки радіотехнічних систем дистанційного керування

Сучасний ландшафт систем дистанційного керування (ДК) переживає період безпрецедентного зростання та трансформації, що глибоко зумовлено синергією проривних технологій у сферах бездротових комунікацій, мініатюрної електроніки, розвинених сенсорних мереж та інтелектуальних алгоритмів штучного інтелекту. Ці системи, що колись вважалися нішевими інструментами, сьогодні стали фундаментальною складовою безлічі аспектів нашого життя, надаючи користувачам безшовну можливість здійснювати контроль над різноманітними пристроями та складними процесами, незалежно від фізичної близькості. [4]

Ключовими тенденціями та характеристиками систем дистанційного керування (ДК) є:

1. Всеосяжна інтеграція з екосистемою Інтернету речей (IoT): Системи ДК демонструють все більш глибоке проникнення та інтеграцію з розгалуженими екосистемами Інтернету речей. Ця симбіотична взаємодія призводить до формування складних мереж взаємопов'язаних "розумних" пристроїв, що охоплюють житлові простори (керування кліматом, освітленням, безпекою), промислові об'єкти (автоматизація виробничих ліній, моніторинг обладнання) та міське середовище (розумне освітлення, управління трафіком). Така інтеграція відкриває нові горизонти для автоматизації рутинних завдань, оптимізації споживання ресурсів та створення більш інтелектуальних та адаптивних середовищ.

2. Домінування та диверсифікація бездротових технологій: Переважна більшість сучасних систем ДК покладається на широкий спектр бездротових протоколів зв'язку, кожен з яких оптимізований для конкретних потреб та сценаріїв використання. Від високошвидкісного Wi-Fi для передачі великих

обсягів даних до енергоефективного Bluetooth Low Energy (BLE) для носимих пристроїв, малопотужних мереж Zigbee та Z-Wave для домашньої автоматизації, далекобійних протоколів LoRaWAN та NB-IoT для промислових та міських застосувань, вибір бездротової технології визначає дальність зв'язку, пропускну здатність, енергоспоживання, стійкість до завад та вартість розгортання. Ця диверсифікація забезпечує гнучкість та можливість вибору оптимального рішення для будь-якого завдання ДК.

3. Перетворення мобільних додатків на універсальні інтерфейси керування: Смартфони та планшети еволюціонували від простих комунікаційних пристроїв до централізованих пультів дистанційного керування завдяки розробці спеціалізованих мобільних додатків. Ці додатки надають користувачам інтуїтивно зрозумілі графічні інтерфейси для безпосередньої взаємодії з різноманітними підключеними пристроями. Вони не лише дублюють функціональність традиційних пультів, але й часто пропонують розширені можливості, такі як візуалізація даних, налаштування складних сценаріїв автоматизації та віддалений доступ через інтернет.

4. Ера голосового керування та віртуальних асистентів: Проривні досягнення в технологіях розпізнавання природної мови та розвитку віртуальних асистентів, таких як Amazon Alexa, Google Assistant та Apple Siri, кардинально змінили спосіб взаємодії людини з системами ДК. Голосове керування забезпечує безпрецедентний рівень зручності, дозволяючи користувачам керувати пристроями та процесами за допомогою простих голосових команд, звільняючи руки та спрощуючи складні операції. Інтеграція віртуальних асистентів додає ще один рівень інтелектуальності, дозволяючи системам ДК розуміти контекст, реагувати на складні запити та навіть передбачати потреби користувачів. [5]

5. Складні сценарії автоматизації та персоналізації: Сучасні системи ДК виходять за межі простого ручного керування, пропонуючи потужні інструменти для створення складних сценаріїв автоматизації. Користувачі можуть налаштовувати послідовності дій, які автоматично запускаються при

настанні певних подій (наприклад, зміна часу доби, спрацювання датчика), або за розкладом. Крім того, системи стають все більш персоналізованими, використовуючи алгоритми машинного навчання для аналізу поведінки користувачів, запам'ятовування їхніх уподобань та адаптації інтерфейсу та функціональності до індивідуальних потреб. [6]

6. Архітектура, що базується на хмарних технологіях: Широке впровадження хмарних платформ стало ключовим фактором у розвитку сучасних систем ДК. Хмара забезпечує не лише віддалений доступ до керування пристроями з будь-якої точки світу, де є підключення до Інтернету, але й надає потужні можливості для зберігання великих обсягів даних, проведення складного аналізу, інтеграції з різноманітними сторонніми сервісами та забезпечення масштабованості систем ДК. Хмарна інфраструктура також спрощує оновлення програмного забезпечення та розгортання нових функцій.

7. Критична важливість безпеки в епоху підключених пристроїв: Зі зростанням кількості пристроїв, підключених до мережі, питання кібербезпеки набувають першочергового значення для систем ДК. Сучасні системи використовують багаторівневі підходи до забезпечення безпеки, включаючи надійні протоколи шифрування для захисту переданих даних, строгі механізми аутентифікації для запобігання несанкціонованому доступу, регулярні оновлення програмного забезпечення для усунення вразливостей та впровадження засобів виявлення та запобігання вторгненням.

8. Інтелектуальне керування за допомогою штучного інтелекту (ШІ): Елементи штучного інтелекту все глибше проникають у системи ДК, відкриваючи нові можливості для інтелектуального керування та оптимізації. Алгоритми машинного навчання використовуються для аналізу даних про споживання енергії, поведінку користувачів та стан навколишнього середовища, що дозволяє системам ДК автоматично регулювати роботу пристроїв для мінімізації витрат, підвищення комфорту та забезпечення безпеки. Приклади включають інтелектуальне керування термостатами,

оптимізацію графіків освітлення та проактивне виявлення потенційних проблем з обладнанням.

9. Експансія в нові галузі застосування: Застосування систем ДК постійно розширюється, охоплюючи нові галузі та вертикалі. У промисловості вони використовуються для дистанційного моніторингу та керування складним обладнанням і роботизованими системами. В сільському господарстві вони забезпечують точне землеробство через дистанційне керування іригаційними системами та моніторинг стану посівів за допомогою дронів. У транспортній сфері вони є ключовою технологією для розвитку автономних транспортних засобів та інтелектуальних систем управління трафіком. В енергетиці вони використовуються для дистанційного керування розподільними мережами та оптимізації роботи електростанцій. [7]

Основними сферам застосування систем ДК є:

1. Розумний дім: Створення інтелектуального життєвого простору: У сфері розумного будинку системи ДК стали центральним елементом для керування різноманітними аспектами життєвого простору. Вони дозволяють користувачам контролювати освітлення (регулювання яскравості, кольору, створення сценаріїв), опалення та кондиціонування повітря (налаштування оптимального клімату, енергозбереження), системи безпеки (активація та деактивація сигналізації, керування замками, перегляд відео з камер спостереження), побутову техніку (дистанційний запуск пральних машин, духовок, пилососів-роботів) та мультимедійні системи (керування телевізорами, аудіосистемами). Інтеграція з голосовими асистентами та створення складних сценаріїв автоматизації значно підвищують комфорт та зручність проживання.

2. Промислова автоматизація: Підвищення ефективності та безпеки виробництва: У промисловому секторі системи ДК відіграють критично важливу роль у підвищенні ефективності виробничих процесів та забезпеченні безпеки праці. Вони використовуються для дистанційного

керування промисловими роботами, верстатами з ЧПУ, конвеєрними лініями та іншим складним обладнанням. Бездротові сенсорні мережі, інтегровані з системами ДК, забезпечують збір даних у реальному часі про стан обладнання, що дозволяє проводити предиктивне обслуговування та запобігати аваріям. Дистанційне керування також дозволяє операторам контролювати небезпечні або важкодоступні виробничі процеси, мінімізуючи ризики для персоналу.

3. Транспорт: Шлях до автономності та інтелектуальної мобільності: У транспортній галузі системи ДК є ключовою технологією для розвитку автономних транспортних засобів, включаючи безпілотні літальні апарати (дрони), автономні автомобілі, поїзди та морські судна. Вони також використовуються в інтелектуальних системах управління трафіком для оптимізації потоків руху, зменшення заторів та підвищення безпеки на дорогах. Дистанційний моніторинг та діагностика транспортних засобів дозволяють проводити своєчасне технічне обслуговування та запобігати поломкам. [8]

4. Системи безпеки: Забезпечення захисту та спокою: У сфері безпеки системи ДК забезпечують розширені можливості для моніторингу та реагування на потенційні загрози. Вони використовуються для дистанційного керування системами відеоспостереження (перегляд зображення в реальному часі, керування поворотом та наближенням камер), охоронними сигналізаціями (активація та деактивація, отримання сповіщень про тривогу), системами контролю доступу (дистанційне відкриття та закриття дверей, керування електронними замками) та системами пожежної безпеки. Інтеграція з мобільними додатками дозволяє користувачам контролювати безпеку свого майна з будь-якої точки світу.

5. Медицина: Телемедицина та дистанційний моніторинг пацієнтів: У сфері охорони здоров'я системи ДК відкривають нові можливості для телемедицини та дистанційного моніторингу стану пацієнтів. Носимі датчики та імплантовані пристрої, підключені до бездротових мереж, дозволяють

лікарям відстежувати життєво важливі показники пацієнтів у реальному часі. Системи ДК також використовуються для дистанційного керування медичним обладнанням, проведення телеконсультацій та надання медичної допомоги на відстані, що особливо важливо для пацієнтів у віддалених районах або з обмеженою мобільністю.

6. Енергетика: Оптимізація виробництва та розподілу енергії: В енергетичному секторі системи ДК використовуються для дистанційного керування електростанціями (контроль за роботою генераторів, регулювання потужності), підстанціями (перемикання ліній, моніторинг параметрів мережі) та системами розподілу енергії (керування потоками енергії, виявлення та усунення аварій). Розумні енергетичні мережі (Smart Grids) активно використовують системи ДК для оптимізації виробництва, передачі та споживання електроенергії, підвищення надійності та ефективності енергосистеми.

7. Сільське господарство: Точне землеробство та автоматизація сільськогосподарських робіт: У сільському господарстві системи ДК сприяють розвитку точного землеробства та автоматизації сільськогосподарських робіт. Дистанційно керовані трактори та комбайни, безпілотні літальні апарати для моніторингу стану полів та внесення добрив, автоматизовані системи поливу та клімат-контролю в теплицях – все це приклади застосування систем ДК для підвищення врожайності, оптимізації використання ресурсів та зменшення впливу на навколишнє середовище. [9]

Перспективами розвитку систем дистанційного керування є:

1. Забезпечення сумісності та інтероперабельності між різнорідними пристроями: Однією з ключових проблем у сфері ДК залишається відсутність універсальних стандартів та протоколів, що ускладнює взаємодію між пристроями різних виробників та екосистем. Розробка та впровадження відкритих стандартів та інтерфейсів є критично важливим для забезпечення безперебійної роботи різнорідних пристроїв в єдиній системі ДК.

2. Необхідність стандартизації протоколів зв'язку: Відсутність єдиних стандартизованих протоколів бездротового зв'язку ускладнює розробку універсальних рішень ДК та обмежує можливості інтеграції пристроїв різних виробників. Розвиток та широке впровадження загальноприйнятих стандартів сприятиме зниженню витрат на розробку, підвищенню сумісності та стимулюватиме інновації в галузі.

3. Постійне зростання загроз кібербезпеці: Зі збільшенням кількості підключених пристроїв зростає і ризик кібератак на системи ДК. Забезпечення надійного захисту від несанкціонованого доступу, крадіжки даних та порушення роботи систем є критично важливим завданням. Подальший розвиток методів шифрування, аутентифікації та виявлення вторгнень є необхідним для забезпечення безпеки екосистем ДК.

4. Захист конфіденційності персональних даних користувачів: Системи ДК часто збирають великі обсяги персональних даних користувачів, включаючи інформацію про їхню поведінку, звички та місцезнаходження. Забезпечення належного захисту цієї інформації та дотримання принципів конфіденційності є важливим етичним та юридичним аспектом розвитку систем ДК.

5. Підвищення енергоефективності підключених пристроїв: Для багатьох застосувань ДК, особливо в сфері IoT та носимих пристроїв, тривалий час автономної роботи є критично важливим. Розробка більш енергоефективних апаратних компонентів, протоколів зв'язку та алгоритмів керування енергоспоживанням є ключовим напрямком досліджень у галузі.

6. Розгляд етичних аспектів використання автономних систем керування та ШІ: Зі зростанням автономності систем ДК виникають важливі етичні питання, пов'язані з відповідальністю за прийняті рішення, потенційними наслідками їхньої роботи та впливом на суспільство. Ретельний розгляд та врегулювання цих питань є необхідним для забезпечення відповідального та етичного розвитку технологій ДК. [10]

Перспективи розвитку систем ДК залишаються надзвичайно багатообіцяючими. Очікується подальша глибока інтеграція елементів штучного інтелекту, що призведе до появи більш "розумних" та автономних систем, здатних приймати рішення на основі контексту та навчатися з досвіду. Розвиток більш інтуїтивно зрозумілих та природних інтерфейсів керування, таких як розширені можливості голосового керування та жестове управління, зробить взаємодію з системами ДК ще більш зручною та ефективною. Подальше розширення можливостей автоматизації та персоналізації дозволить створювати системи, які краще відповідають індивідуальним потребам та уподобанням користувачів. Очікується, що системи ДК стануть ще більш невід'ємною частиною нашого повсякденного життя, сприяючи підвищенню комфорту, ефективності, безпеки та стійкості в різних сферах діяльності.

Таким чином, сучасний стан систем дистанційного керування характеризується динамічним розвитком, широким спектром застосувань та глибокою інтеграцією з передовими технологіями. Вони відіграють дедалі важливішу роль у цифровій трансформації багатьох галузей економіки та суспільства, проникаючи в наше повсякденне життя та змінюючи спосіб нашої взаємодії з навколишнім світом. Подальший прогрес у цій галузі буде спрямований на подолання існуючих викликів та реалізацію величезного потенціалу, забезпечуючи ще більш "розумні", автономні та інтегровані рішення, які сприятимуть підвищенню комфорту, ефективності, безпеки та стійкості в різних сферах нашої діяльності. Майбутнє систем дистанційного керування обіцяє бути ще більш захоплюючим та інноваційним, відкриваючи нові горизонти для взаємодії людини з технологіями та навколишнім світом. Отже, враховуючи вище наведене, розробка систем дистанційного керування, в тому числі і рухомими платформами, є актуальним напрямком розробки.

1.2 Аналіз сучасних систем радіокерування

Апаратура радіокерування — це комплекс компонентів, що використовують для радіокерування рухомими об'єктами. Модельна апаратура пропорційного радіокерування, діє таким чином, що кожен повільний рух ручки керування передавача, аналогічно повторюється важелем відповідної рульової машинки (виконавчий механізм) на борту моделі. Це означає що, пілот (водій) може плавно, з потрібною швидкістю і на будь-який кут повертати колеса, кермо повороту або висоти, а також змінювати оберти двигуна на моделях та рухомих платформах.

До складу системи РК входить:

- передавач (пульт)
- приймач
- керуючі механізми (сервоприводи)
- блоки (акумулятори) живлення (передавача, приймача і т.п)

Передавач (рис. 1.1) оснащений двома основними ручками (важелями) керування схожими на джойстик. Ручка рухається вільно в межах двох осей та приводять в рух два потенціометра, сигнали від яких передаються на борт моделі. [5]

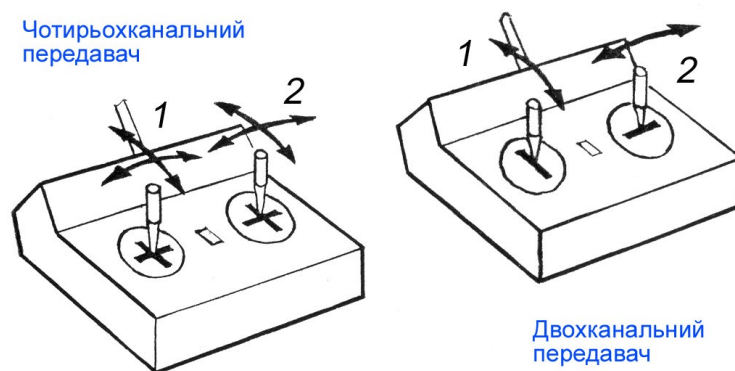


Рисунок 1.1 – Приклади радіопередавачів

Наприклад, на 4-х канальному передавачі (рис. 1.1) ручка 1 (приклад одного з варіантів розміщення команд на ручках) рухом вперед-назад, керує обертами мотора («газом»), рухом вправо-вліво, керує кермом повороту;

Ручка 2 рухом вперед-назад керує кермом висоти, а рухом вправо-влів елеронами.

На двоканальному передавачі ручка 1 (має точку фіксації в центрі) рухом вперед, керує обертами мотора, назад гальмами. Ручка 2 керує тільки функцією вправо-влів.

Залежно від кількості каналів передавача, ручки керування на пульті, мають одну або дві осі руху. Кожному напрямку руху ручки відповідає своя рульова машинка встановлена на борту моделі. Ручки керування (крім ручки газу для авіамоделей) підпружинені та мають нейтральне положення, від якого відпрацьовуються рухи вправо-влів, вперед-назад. Для керування авто-, судомоделями і простими планерами достатньо двоканального передавача. Для авіамоделей необхідна трьох-чотириканальна, а для вертольотів, щонайменше, шестиканальна тільки зі спеціальними функціями. [11]

На рис. 1.2 зображений передавач люкскласу: 14 канальний передавач люкс класу, оснащений кольоровим сенсорним дисплеєм та операційною системою Windows CE.



Рисунок 1.2 – Передавач люкс класу

Більш складні передавачі мають додаткові канали (загалом до 14), по яких команди подаються ручками з круговими або лінійним рухом або тумблером. Більшість сучасних передавачів, оснащені мікрокомп'ютером з дисплеєм, а в моделях вищого рівня можна зустріти великий кольоровий сенсорний дисплей і операційну систему Windows CE.

Такі комп'ютерні апаратури дають багато можливостей пілотові для налаштування різних авіа -, авто - та судномodelей. Насамперед вони містять готові програми для повноцінного налаштування планерів, пілотажних літаків, modelей з дельтоподібним крилом, V- подібним хвостовим оперенням, вертольотів та низку стандартних функцій, які пілот може змінювати залежно від особливостей моделі, та власних вподобань.

В комп'ютерних передавачах є можливість зберігати в пам'яті (в деяких передавачах пам'ять поміщає до кількох десятків modelей) вже налаштовані функції, положення тримерів для всіх modelей, та інші параметри. Всі ці дані відображаються на графічному дисплеї. Найновіші системи, що працюють в діапазоні 2,4 ГГц, мають функцію двонапрявленого зв'язку, що дає можливість отримувати телеметричні данні з борту моделі. Наприклад, температуру двигуна, стан заряду акумулятора, висоту польоту тощо. [12]

Зазвичай апаратура забезпечує радіус дії більший, ніж відстань можливого візуального контакту пілота з моделлю (це близько 100 м). Системи керування, що працюють в діапазоні 2,4 ГГц забезпечують надійний зв'язок до 800 метрів по землі, та до 2000 м для літаючих modelей.

За зовнішнім компонуванням, передавачі бувають трьох типів: у вигляді підвісного великого пульта (т.з. «парта»); компактного ручного пульта; пістолетного компонування. Підвісний пультівий передавач поширений переважно в Європі. При керуванні моделлю, його підвішують на ремінь за дві спеціальні металеві скоби, пілот тримає ручки управління двома (трьома) пальцями спираючись руками на передавач. Для більшої зручності такий передавач ще вставляють у спеціальну підставку-столик. Такі передавачі виготовляють фірми Grauper, Robe, Multiplex, Jeti.

Передавач виконаний у вигляді ручного пульта виглядає більш компактно, пілот може тримати такий передавач в руках та управляє джойстиками великими пальцями. Така манера керування більше поширена в США і Японії. Деякі пілоти підвішують такий передавач за допомогою ремня на шиї та керують ручками як пультовим передавачем.

Пістолетний варіант передавача призначений, переважно, для керування автомоделями, але їх з успіхом використовують і судоделісти для швидкісних моделей. На ньому ручка керування поворотами, виконана у вигляді колеса, а ручка газу у вигляді гачка, який приводиться в рух вказівним пальцем. Така компоновка передавача визнана автомоделісти дуже зручною і стала дуже поширена. При керуванні, такий передавач тримають в лівій руці, а правою «кермують» колесоподібною ручкою. Пістолетні передавачі бувають також прості триканальні, та більш складні оснащені комп'ютером.

Приймач радіосигналу встановлюється на моделі, до нього під'єднують виконавчі пристрої - серводвигуни, регулятори швидкості та ін.

Зазвичай приймачі виконані в пластмасовому корпусі, в якому знаходяться гнізда для підключення серводвигунів. Приймачі мають власну антену: тонкий дріт завдовжки 30—100 см для МГц діапазону, та коротеньких «вусиків» у тих, що працюють в ГГц діапазоні. Мініатюрні приймачі (2-4 канали) для легких моделей, можуть бути без корпусу, лише вкриті прозорою плівкою. [13]

На борту моделі встановлюють виконавчі механізми які перетворюють сигнал з передавача в певну дію. Основним таким компонентом є серводвигуни, які виконують механічний рух для переміщення рульових поверхонь та механізмів авіамоделей, коліс автомобілів тощо. Вони бувають різних розмірів, відрізняються зусиллям та швидкістю виконання команди. Важіль на валу сервоприводу відхиляється від центральної точки в обидва боки на 60 градусів. Кут відхилення можна запрограмувати з передавача експонентально, лінійно, асиметрично та інш. Існують сервоприводи з

постійним обертанням вала, які використовують як лебідки на моделях яхт. Для керування електромоторами використовують електронні регулятори обертів (контролери). Також існують електронні вимикачі для вмикання лампочок, світлодіодів, звукових сигналів тощо.

Після проведеного аналізу, можна виділити найпопулярніших пультів радіокерування рухомими колісними платформами: FlySky, Radiolink, Futaba, Spektrum.

Серед асортименту моделей кожного бренду можна знайти апаратуру на «свою кишеню» і в залежності від наданих вимог. Неведемо виділені основні особливості пультів кожного виробника.

Найчастіше пульти бренду FlySky можна знайти в повному комплекті радіокерованих автомоделей. Багато фірм-виробників машин на управлінні віддають перевагу простим, надійним і недорогим передавачам FlySky. Пульти мають необхідний мінімальний набір функцій і високу завадостійкість. Крім цього відрізняються досить великим радіусом дії і відмінно підходять для покатушок в межах міста (де завад значно більше, ніж на відкритій місцевості). У залежності від вартості та моделі передавача змінюється функціонал. У більш дорогих пультах доступна настройка окремих параметрів, таких як експоненти каналів, ABS, запис і зберігання до 10 моделей. [14]

Радіоапаратура бренду Radiolink відрізняється хорошим співвідношенням ціна/якість. Комплект приймача і передавача забезпечує високу стійкість перед завадами, низьке енергоспоживання. Приймачі відрізняються високою чутливістю. Пульти націлені на спрощення керування швидкісними моделями, збереження їх траєкторії. Універсальні моделі підійдуть для керування судо- і автомоделей. Пульти з вбудованим гіроскопом забезпечують чудовий контроль і дальність дії керування на відстані до 500 метрів по землі. Крім цього, приймач з вбудованим гіроскопом допомагає чітко утримувати модель на прямій лінії під час агресивного прискорення, гальмування і при проходженні поворотів.

Особливості:

- Зручне розташування органів керування.
- Можливість монтажу кріплення для мобільного пристрою.
- Підтримка пристроїв з HV сервоприводами.
- Система «Круїз-контроль», система налаштовується.
- Просте оновлення прошивки.
- Великий вибір параметрів, що налаштовуються.
- Інтелектуальний захист від переполюсовки.

Радіокерування Futaba

Futaba - легендарна японська корпорація, яка не одне покоління займається удосконаленням і так якісної апаратури радіокерування. Це професійна апаратура для досягнення високих результатів. Останні моделі мають ряд переваг, таких як:

- Вільне призначення додаткових каналів.
- Новий протокол T-FHSS для передачі даних телеметрії в реальному часі.
- Перенесення рульового керування на іншу сторону (для лівшів).
- Підключення до 31 датчика телеметрії.
- Пам'ять до 40 моделей.

Пульти ергономічні, прості в освоєнні. Деякі пульти оснащені яскравим дисплеєм і мають до 5 програмованих мікшерів.

Останні моделі апаратури радіокерування Spektrum відрізняються високим функціоналом. Серед опцій, що налаштовуються, знайдете великий список: починаючи від звичного регулювання сервомашинок і закінчуючи підстроюванням калібрування потенціометрів керма і газу. Пульти виготовлені з міцних і стійких до подряпин матеріалів, прослужать вам не один рік.

До основних особливостей апаратури Spektrum можна віднести наступне:

- Наявність комплекту для переобладнання під лівшів.

- Сумісність з усіма приймачами з технологією Spektrum DSMR, DSM2, DSM і Marine.
 - Пам'ять типів мікшування з можливістю присвоєння імен для швидкого вибору.
 - Все вимикачі можуть бути запрограмовані на роботу в зворотному напрямку.
 - Задвоєна витрата рульового керування (Steering rate).
 - Підтримка антиблокувальної системи гальм (ABS) і Traction Control.
- Слід зазначити, що виробників систем РК є досить багато.

1.3 Частотні діапазони для радіокерування

У радіокеруванні використовується широкий спектр діапазонів частот, вибір яких залежить від багатьох факторів, включаючи призначення системи, необхідну дальність зв'язку, пропускну здатність, стійкість до завад та законодавчі обмеження в конкретній країні. Основні діапазони частот, що застосовуються в радіокеруванні, можна поділити на кілька категорій [16]:

1. ISM-діапазони (Industrial, Scientific, and Medical): Це неліцензовані діапазони частот, які є дуже популярними для радіокерування завдяки відсутності необхідності отримання спеціального дозволу на їх використання (з певними обмеженнями щодо потужності та duty cycle). Основні ISM-діапазони, що використовуються в радіокеруванні, включають:

- 433 МГц (433.05 - 434.79 МГц у Європі): Забезпечує хорошу дальність зв'язку та проникність сигналу через завади. Часто використовується для простих систем радіокерування, таких як автомобільні сигналізації, дистанційне керування воротами, датчики та інші малопотужні пристрої.
- 868 МГц (868.0 - 868.6 МГц у Європі): Має кращу стійкість до завад порівняно з 433 МГц при схожій дальності. Використовується в

системах "розумного будинку", промислового моніторингу та інших застосуваннях, де важлива надійність зв'язку.

- 902-928 МГц (у Північній Америці): Забезпечує баланс між дальністю та пропускну здатністю. Застосовується в системах автоматизованого зчитування показань лічильників, промислового керуванні та системах безпеки.

- 2.4 ГГц (2400 - 2483.5 МГц, глобально): Один з найпоширеніших діапазонів, використовується в багатьох бездротових технологіях, включаючи Wi-Fi, Bluetooth та Zigbee. В радіокеруванні застосовується для керування дронами, радіокерованими моделями літаків, автомобілів та іншої техніки, особливо там, де потрібна вища пропускна здатність для передачі відео або складних команд керування. Однак цей діапазон може бути перевантажений.

- 5.8 ГГц (глобально): Пропонує більшу пропускну здатність та меншу завантаженість порівняно з 2.4 ГГц. Часто використовується для FPV (First Person View) польотів дронів, де важлива висока якість відеосигналу та низька затримка.

2. Ліцензовані діапазони: У деяких випадках для професійного або комерційного радіокерування можуть використовуватися ліцензовані діапазони частот. Це забезпечує меншу ймовірність завад та більшу гарантію якості зв'язку, але вимагає отримання відповідних дозволів та сплати ліцензійних зборів. Приклади включають:

- VHF (Very High Frequency) та UHF (Ultra High Frequency) діапазони: Використовуються для радіозв'язку спеціальних служб, промислового керування та іншого професійного обладнання. Конкретні частоти залежать від країни та призначення.

3. Інші діапазони:

- Діапазон 27 МГц (CB - Citizen Band): У деяких країнах цей діапазон є неліцензованим або потребує спрощеної ліцензії та використовується для радіокерування, особливо простих іграшок.

- Діапазони нижчих частот (наприклад, 72 МГц): Можуть використовуватися для радіокерування авіамоделей, забезпечуючи більшу дальність, але вимагають спеціальних дозволів у багатьох країнах.

Вибір діапазону частот для радіокерування залежить від [17]:

- Призначення системи: Прості іграшки можуть використовувати 27 МГц або 433 МГц, тоді як для керування дронами з передачею відео часто використовуються 2.4 ГГц або 5.8 ГГц. Професійні системи можуть вимагати ліцензованих діапазонів.

- Необхідна дальність зв'язку: Нижчі частоти зазвичай забезпечують більшу дальність зв'язку, але мають меншу пропускну здатність.

- Пропускна здатність: Для передачі великих обсягів даних (наприклад, відео) потрібні вищі частоти з більшою смугою пропускання.

- Стійкість до завад: Діапазони з меншою завантаженістю або спеціальними протоколами зв'язку є більш стійкими до завад.

- Енергоспоживання: Різні діапазони та технології мають різне енергоспоживання, що важливо для портативних пристроїв.

- Законодавчі обмеження: У кожній країні існують свої правила щодо використання радіочастот, включаючи дозволені діапазони, максимальну потужність передавача та інші параметри.

Таким чином, вибір діапазону частот є важливим етапом розробки системи радіокерування, який вимагає врахування багатьох технічних та регуляторних аспектів.

1.4 Висновки до розділу

У цьому розділі була обґрунтована актуальність дослідження систем РК. Результат аналізу систем РК показав їхню ключову роль у розвитку сучасних бездротових технологій. Компактні та функціонально завершені пристрої, що інтегрують радіочастотний трансивер, антену, мікроконтролер та інтерфейси, стали основою для численних застосувань в Інтернеті речей,

носимих пристроях, автомобільній промисловості, промисловій автоматизації та багатьох інших галузях. Різноманітність протоколів зв'язку (Bluetooth, Wi-Fi, Zigbee, LoRaWAN тощо) та частотних діапазонів (ISM-діапазони) забезпечує гнучкість у виборі оптимального рішення для конкретного завдання. Переваги використання готових радіомодулів, такі як скорочення часу розробки, зниження вартості та спрощення сертифікації, роблять їх незамінними компонентами сучасних бездротових систем.

Детальний розгляд радіочастотних модулів, що працюють в ISM-діапазонах, підкреслює їхню популярність завдяки відсутності ліцензування. Аналіз основних ISM-діапазонів (433 МГц, 868 МГц, 902-928 МГц, 2.4 ГГц, 5.8 ГГц) та їхніх характеристик (дальність зв'язку, пропускна здатність, стійкість до перешкод) є важливим для розуміння можливостей та обмежень цих частот. Попри переваги, такі як широка доступність модулів та зріла екосистема, необхідно враховувати потенційні перешкоди та регуляторні обмеження при проектуванні бездротових систем на ISM-діапазонах.

Аналіз сучасного стану систем дистанційного керування демонструє їхню стрімку еволюцію, зумовлену інтеграцією з IoT, використанням різноманітних бездротових технологій, розвитком мобільних додатків та голосового керування. Автоматизація, персоналізація, хмарні технології та елементи штучного інтелекту значно розширюють функціональність та зручність використання систем ДК. Їхнє застосування охоплює широкий спектр галузей, від розумного будинку до промислової автоматизації та транспорту. Попри значний прогрес, існують виклики, пов'язані з сумісністю, безпекою, конфіденційністю даних та енергоефективністю, які потребують подальшого вирішення. Перспективи розвитку систем ДК пов'язані з подальшою інтеграцією III, розробкою інтуїтивно зрозумілих інтерфейсів та розширенням сфер застосування.

- SRAM (статична ОЗП): 2 КБ (ATmega328P), 1 КБ (ATmega168)
- EEPROM (енергонезалежна пам'ять): 1 КБ (ATmega328P), 512 байт (ATmega168)

Введення/Виведення (GPIO):

- Цифрові входи/виходи: 14 пінів
 - 6 з них можуть використовуватися як PWM-виходи (широтно-імпульсна модуляція).

- Аналогові входи: 8 пінів

- Роздільна здатність АЦП: 10 біт

Інтерфейси зв'язку:

- UART (послідовний порт): 1 канал
- I²C (TWI): 1 інтерфейс (використовуються аналогові піни A4 та A5)
- SPI: 1 інтерфейс (використовуються цифрові піни 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK))

Живлення:

- Напруга живлення (рекомендована): 7-12 В (через пін VIN)
- Напруга живлення (межа): 6-20 В (через пін VIN)
- Вихідна напруга 5 В: Максимальний струм 500 мА (обмежено USB-портом та стабілізатором на платі)
- Вихідна напруга 3.3 В: Максимальний струм 50 мА (забезпечується вбудованим регулятором)

Фізичні характеристики:

- Розміри: Приблизно 18 мм x 45 мм
- Роз'єми:
 - Mini-B USB роз'єм для програмування та живлення.
 - Два ряди по 15 пінів з кроком 2.54 мм для підключення зовнішніх компонентів.

Інше:

- Кнопка скидання (Reset).
- Світлодіод живлення.

- Світлодіод, підключений до цифрового піна 13 (зазвичай використовується для тестових блимачів). [18]

Розглянемо детальніше переваги використання Arduino nano.

1. Мініатюрність та легкість інтеграції:

Однією з ключових переваг Arduino Nano є її надзвичайно компактний форм-фактор. З розмірами приблизно 18 мм x 45 мм та вагою всього кілька грамів, Nano є ідеальним рішенням для рухомих платформ, де фізичний простір та маса відіграють вирішальну роль. У проектах малих роботів, дронів, мобільних сенсорних вузлів або інших компактних пристроїв, де кожен міліметр та кожен грам мають значення для маневреності, енергоефективності та загальної конструкції, мініатюрність Nano стає незамінною. Її легко розмістити на борту платформи, не створюючи значних обмежень для компонування інших елементів, таких як двигуни, датчики, акумулятори та механічні частини. Порівняно з більшими платами Arduino, такими як Uno або Mega, Nano забезпечує значну економію простору та ваги, що напряду впливає на динамічні характеристики рухомої платформи, зокрема на її прискорення, гальмування та час роботи від одного заряду акумулятора. Легша платформа потребує меншої потужності для руху, що може призвести до збільшення часу автономної роботи або використання менших та легших двигунів. Крім того, малий розмір Nano полегшує її інтеграцію в складні механічні конструкції, дозволяючи розміщувати контролер безпосередньо поруч з керованими компонентами, скорочуючи довжину проводів та мінімізуючи ризик виникнення електромагнітних завад.

2. Економічна ефективність:

Arduino Nano є однією з найбільш бюджетних платформ у сімействі Arduino. Її низька вартість робить її привабливим вибором для широкого кола користувачів, від студентів та ентузіастів до малих дослідницьких груп та стартапів. На етапі прототипування та експериментів, коли існує ймовірність пошкодження компонентів або необхідність внесення значних змін у конструкцію, використання недорогої плати, такої як Nano, дозволяє

знизити фінансові ризики. У серійному виробництві невеликих партій спеціалізованих рухомих платформ, використання Nano може бути економічно вигіднішим за розробку власної контролерної плати або використання дорожчих промислових контролерів. Низька вартість також робить Arduino Nano ідеальним інструментом для освітніх цілей, дозволяючи навчальним закладам забезпечувати студентів достатньою кількістю контролерів для практичних занять без значних фінансових витрат. Це сприяє більш широкому залученню студентів до вивчення робототехніки та вбудованих систем. [19]

3. Достатність інтерфейсів введення/виведення:

Незважаючи на свій компактний розмір, Arduino Nano надає достатню кількість цифрових та аналогових пінів введення/виведення (GPIO) для керування більшістю типових компонентів рухомої платформи. Чотирнадцять цифрових пінів, шість з яких можуть використовуватися як виходи широтно-імпульсної модуляції (PWM) для керування швидкістю двигунів або яскравістю світлодіодів, а також вісім аналогових входів для зчитування даних з різноманітних датчиків, забезпечують гнучкість при підключенні периферійних пристроїв.

Для керування рухомою платформою зазвичай потрібні:

Керування двигунами: Для цього використовуються цифрові піни для керування напрямком обертання двигунів через драйвери двигунів, а також PWM-піни для регулювання їхньої швидкості. Nano зазвичай має достатньо PWM-виходів для керування двома-чотирма невеликими двигунами постійного струму.

Зчитування даних з датчиків: Аналогові входи Nano ідеально підходять для підключення аналогових датчиків відстані (наприклад, інфрачервоних або ультразвукових), датчиків положення (потенціометрів), датчиків сили, а також для зчитування вихідних сигналів з інерційних вимірювальних блоків (IMU), які часто мають аналогові виходи. Цифрові піни можуть використовуватися для підключення цифрових датчиків (наприклад,

енкодерів двигунів, кінцевих вимикачів, цифрових датчиків відстані) та для комунікації з датчиками через цифрові інтерфейси, такі як I²C або SPI (які також можуть бути реалізовані на цифрових пінах Nano).

Керування іншими периферійними пристроями: Цифрові піни можуть використовуватися для керування світлодіодами, сервоприводами (для керування камерою або маніпуляторами), електромагнітними клапанами та іншими виконавчими механізмами. [20]

Для більш складних рухомих платформ, що потребують більшої кількості пінів або специфічних інтерфейсів, можливо використання мультиплексорів або розширювачів портів, які можуть бути підключені до Nano через I²C або SPI, збільшуючи таким чином кількість доступних GPIO.

4. Простота програмування та розвинена екосистема:

Середовище розробки Arduino IDE є однією з ключових переваг платформи Arduino в цілому, і Nano не є винятком. IDE має простий та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, що робить його доступним навіть для початківців у програмуванні вбудованих систем. Мова програмування Arduino, яка є спрощеною версією C/C++, легко вивчається та має велику кількість доступних навчальних матеріалів, прикладів коду та онлайн-ресурсів.

Для керування рухомими платформами існує безліч готових бібліотек Arduino, які значно спрощують роботу з різними компонентами, такими як:

Керування двигунами: Бібліотеки для керування драйверами двигунів постійного струму та крокових двигунів, включаючи реалізацію PWM-керування швидкістю та керування напрямком обертання.

Робота з датчиками: Бібліотеки для зчитування даних з широкого спектру датчиків, включаючи датчики відстані, IMU, енкодери тощо, часто з готовими функціями для обробки сирих даних та отримання корисних значень.

Комунікація: Бібліотеки для реалізації різних протоколів зв'язку, таких як Serial (UART), I²C, SPI, Bluetooth, Wi-Fi (за наявності відповідних модулів

або шилдів), що є важливим для керування платформою дистанційно або для обміну даними з іншими пристроями.

Керування сервоприводами: Бібліотеки для генерації PWM-сигналів, необхідних для керування сервоприводами.

Велика та активна спільнота Arduino постійно створює та підтримує нові бібліотеки та приклади коду, що значно полегшує розробку складних функцій для рухомих платформ. [21]

5. Підтримка спільноти та доступність ресурсів:

Величезна та активна спільнота Arduino є однією з її найсильніших сторін. Користувачі з усього світу діляться своїм досвідом, розв'язують проблеми, публікують навчальні матеріали, створюють проекти та розробляють нові інструменти та бібліотеки. Для розробника рухомої платформи на базі Arduino Nano це означає легкий доступ до:

Форумів та онлайн-спільнот: Де можна поставити запитання та отримати допомогу у вирішенні технічних проблем.

Навчальних посібників та туторіалів: Що охоплюють широкий спектр тем, від основ програмування Arduino до складних технік керування роботами.

Прикладів коду та проектів: Які можуть слугувати відправною точкою для власних розробок або надихати на нові ідеї.

Відгуків та порад від інших користувачів: Які вже мають досвід роботи з Arduino Nano в подібних проектах.

Велика кількість доступних онлайн-ресурсів значно скорочує час, необхідний для вивчення платформи та розв'язання типових проблем, що виникають при розробці рухомих платформ.

6. Гнучкість та можливість розширення:

Хоча Arduino Nano сама по собі є досить функціональною для багатьох базових проектів рухомих платформ, її можливості можуть бути значно розширені за допомогою різноманітних шилдів та зовнішніх модулів. Шилди

є додатковими платами, які підключаються безпосередньо до пінів Arduino Nano та надають додаткову функціональність, таку як:

Драйвери двигунів: Шилди, що забезпечують потужніші виходи для керування більшими двигунами постійного струму або кроковими двигунами, часто з вбудованими схемами захисту.

Бездротовий зв'язок: Шилди з модулями Bluetooth, Wi-Fi, радіозв'язку (наприклад, LoRa) для дистанційного керування платформою або обміну даними.

Ethernet: Шилди для підключення платформи до локальної мережі.

Керування сервоприводами: Шилди, що забезпечують більшу кількість виходів для керування кількома сервоприводами.

Датчики: Шилди з інтегрованими датчиками, такими як IMU, GPS, датчики навколишнього середовища.

Крім шилдів, до Arduino Nano можна підключати різноманітні зовнішні модулі через доступні GPIO або інтерфейси I²C та SPI, такі як більш потужні зовнішні драйвери двигунів, складніші сенсорні системи, плати розширення пам'яті тощо. Це забезпечує значну гнучкість при розробці рухомих платформ з різними вимогами до функціональності. [22]

7. Низьке енергоспоживання для автономних систем:

Для автономних рухомих платформ, які живляться від акумуляторів, енергоефективність є критично важливим фактором. Arduino Nano має відносно низьке енергоспоживання порівняно з більш потужними мікроконтролерними платами або одноплатними комп'ютерами. Це дозволяє збільшити час роботи платформи від одного заряду акумулятора або використовувати менші та легші акумулятори, що є важливим для мобільних роботів та дронів. Споживання струму Arduino Nano залежить від багатьох факторів, включаючи тактову частоту, кількість активних пінів та підключені периферійні пристрої. Однак, у типовому режимі роботи без значного навантаження на піни, Nano споживає від кількох до десятків міліампер, що є досить низьким показником для мікроконтролерної плати. Для подальшого

зниження енергоспоживання в автономних системах можна використовувати режими сну (low-power modes), які підтримуються мікроконтролером ATmega328P, що лежить в основі Arduino Nano. У режимі сну більшість функціональних блоків мікроконтролера вимикаються, що значно зменшує споживання енергії.

8. Перевірена платформа з широким спектром застосувань:

Arduino Nano не є новою або експериментальною платформою. Вона використовується в широкому спектрі проектів рухомих платформ протягом багатьох років, від простих навчальних робіт до складніших дослідницьких прототипів. Її надійність, стабільність та передбачуваність поведінки добре задокументовані та підтверджені практичним досвідом великої кількості користувачів. Успішне використання Arduino Nano в різноманітних проектах рухомих платформ свідчить про її універсальність та придатність для широкого кола завдань, особливо там, де не потрібна надзвичайно висока обчислювальна потужність або велика кількість специфічних апаратних інтерфейсів.

2.2 Вибір та обґрунтування модуля радіокерування

Досить доступними в наш час є радіомодулі, які передають дані на великі відстані (Long Range, LoRa). Ця технологія запатентована компанією Semtech і реалізована в мікросхемах приймачів-передавачів, таких як SX1268, SX1276, SX1278 (рис. 2.2). В таблиці 2.1 наведено приклади модулів з технологією LoRa.

Протокол LoRa для модуляції сигналу використовує метод розширення спектра, а саме варіацію лінійної частотної модуляції, відому як CSS (chirp spread spectrum). Суть цього підходу полягає в кодуванні інформації за допомогою широкосмугових імпульсів, частота яких змінюється протягом певного часу. Додатково протокол застосовує пряме виправлення помилок (FEC) для підвищення надійності передачі.

Значна дальність зв'язку при відносно малій потужності передавача досягається завдяки здатності протоколу LoRa приймати сигнали, рівень яких є нижчим за рівень фоновому шуму.



Рисунок 2.2 - Модуль LoRa E32 433T30D

Таблиця 2.1 – Модулі EBYTE з UART з технологією LoRa

Модуль	Частота, МГц	Потужність, dBm (мВт)	Відстань, км	Чип
E30-170T20D	148-173.5	10-20 (10-100)	2	S14463
E32-170T30D	160-173.5	21-30 (125-1000)	8	SX1278
E22-400T22D	410.125-493.125	22 (158)	5	SX1268
E22-400T30D	410.125-493.125	30 (1000)	8	SX1268
E32-433T20D	410-441	10-20 (10-100)	3	SX1278
E32-433T27D	410-441	18-27 (63-500)	5	SX1278
E32-433T30D	410-441	21-30 (125-1000)	8	SX1278
E32-868T20D	862-893	10-20 (10-100)	3	SX1276
E32-868T30D	862-893	21-30 (125-1000)	8	SX1276
E32-915T20D	900-931	10-20 (10-100)	3	SX1276
E32-915T30D	900-931	21-30 (125-1000)	8	SX1276

При виборі робочої частоти та рівня потужності необхідно враховувати чинне законодавство країни щодо розподілу радіочастот, призначених для технології LoRa. Існують також способи збільшення дальності зв'язку без підвищення вихідної потужності, наприклад, використання антен з вищим коефіцієнтом підсилення, спрямованих антен або ретрансляторів сигналу.

Варто відзначити, що компанія EBYTE виробляє LoRa-модулі, оснащені термокомпенсованим кварцовим генератором (ТСХО), що сприяє покращенню якості зв'язку при їх експлуатації на відкритому повітрі.

Перелічені в табл. 2.1 радіомодулі від EBYTE відрізняються простотою встановлення на макетні плати, проте існують також варіанти у SMD-виконанні. Пін GND слід обов'язково з'єднати із землею вашого пристрою. На пін VCC необхідно подати напругу живлення, яка, згідно з технічною документацією, повинна знаходитися в діапазоні від 3,3 В до 5,2 В. Для застосувань, де максимальна вихідна потужність не є критичною, рекомендується використовувати джерело живлення на 3,3 В. Контакти RXD та TXD призначені відповідно для приймання та передавання даних, використовуючи протокол UART. Їх слід підключити до відповідних пінів GPIO. Аналогічно до пінів GPIO підключаються контакти M0, M1 та AUX. Перші два з них використовуються для вибору режиму роботи радіомодуля, наприклад, режиму налаштування параметрів, звичайного режиму роботи, режиму енергозбереження та режиму автоматичного виходу з енергозбереження при отриманні радіосигналу. Для зміни конфігурації модуля на піни M0 та M1 необхідно подати напругу 3,3 В, що відповідає логічній одиниці. У режимі передавання даних на ці піни слід подати нульову напругу. Контакт AUX використовується для визначення готовності радіомодуля до приймання команд та даних або його зайнятості виконанням певної операції. У стані готовності на пині AUX буде присутній високий рівень напруги (логічна одиниця), а під час виконання операції – низький рівень (логічний нуль). Якщо модуль зайнятий, перед подальшою роботою з ним необхідно дочекатися завершення поточної операції та появи високого рівня напруги на пині AUX. [23]

Існують радіомодулі, що працюють у діапазоні частот 2.4-2.5 ГГц, наприклад NRF24L01. Їхня простота в експлуатації та висока надійність зумовили широку популярність цих модулів серед радіоаматорських розробок. NRF24L01 можна знайти в різноманітних пристроях, таких як: бездротові клавіатури, миші та джойстики; системи бездротового доступу; мережеві системи збору даних; бездротові охоронні комплекси; системи

домашньої автоматизації; різноманітні системи спостереження та моніторингу; системи автоматики та телемеханіки та багато іншого.

Загалом, сфера застосування цих радіомодулів обмежується лише творчою уявою розробника, а їхня доступна ціна є приємним бонусом до інших переваг. На рис. 2.3 представлено зовнішній вигляд радіомодуля NRF24L01 та призначення його виводів.

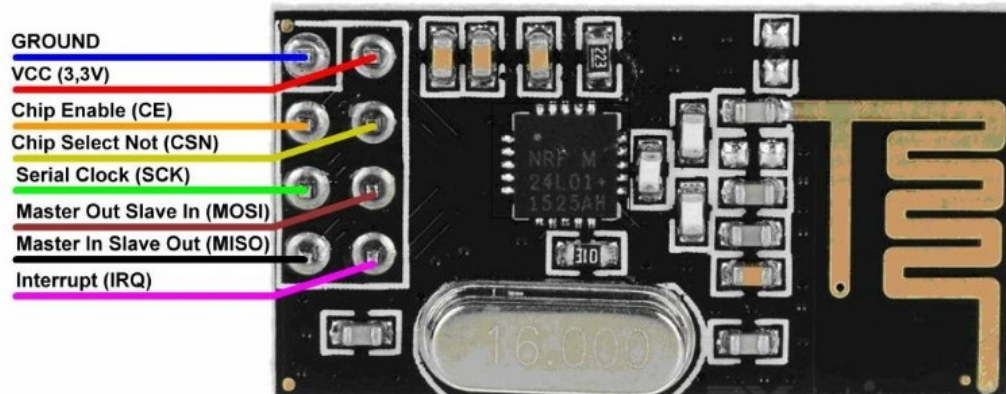


Рисунок 2.3 - Радіомодуль NRF24L01 та призначення його виводів

На рис. 2.4 представлено електричну схему NRF24L01.

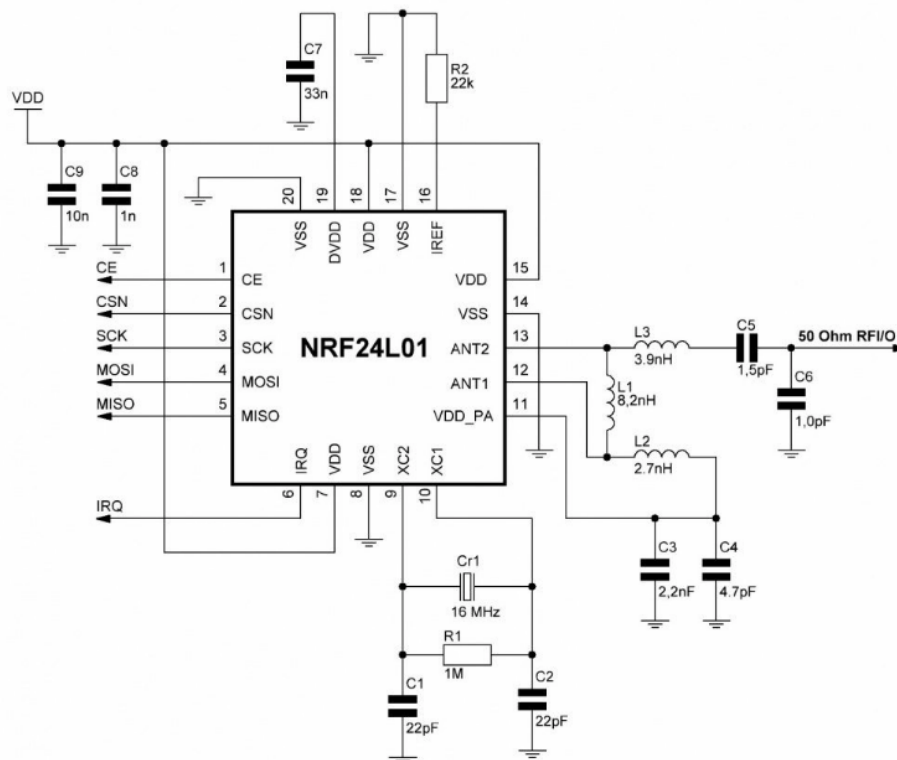


Рисунок 2.4 – Електрична схема NRF24L01

Радіомодулі nRF24L01 мають наступні технічні параметри:

- напруга живлення: діапазон робочої напруги становить 1,9-3,6 В;
- інтерфейс обміну даними: SPI;
- робоча частота: модулі працюють у неліцензованому ISM-діапазоні на частоті 2,4 ГГц;
- кількість робочих каналів: доступно 128 каналів з кроком частоти 1 МГц, що дозволяє уникнути завад.
- тип модуляції: застосовується гаусова частотна маніпуляція (GFSK);
- швидкість передачі даних: підтримуються швидкості передачі 250 кбіт/с, 1 Мбіт/с та 2 Мбіт/с;
- чутливість приймача: здатний розпізнавати слабкі сигнали до -82 дБм;
- дальність зв'язку: до 100 м за умови прямої видимості та до 30 м у приміщенні (дальність залежить від умов та налаштувань);
- коефіцієнт підсилення антени: вбудована антена має підсилення 2 дБм;
- діапазон робочих температур: від -40°C до +85°C;
- організація мережі: на одному каналі може працювати до 7 модулів, один з яких виступає в ролі приймача, а інші шість – передавачів.

Існують також простіші і дешевші радіомодулі. Зокрема до них відносяться FS1000A (рис. 2.5).

Основні технічні характеристики радіомодуля FS1000A, також відомого як RF-5V:

Приймач:

- напруга живлення: 5 В постійного струму;
- робоча частота: 433 МГц;
- довжина антени: антена приймача має довжину 32 см;
- чутливість: здатність приймати слабкі сигнали до рівня 105 дБ.

Передавач:

- напруга живлення: 3.5-5 В постійного струму;
- довжина антени: антена передавача має довжину 25 см;

- дальність передачі: залежно від напруги живлення передавача, дальність зв'язку може варіюватися від 20 до 200 метрів.

Габаритні розміри:

- передавач: 19,2 мм (ширина) x 19,0 мм (довжина, з урахуванням виводів – 25,0 мм) x 7,5 мм (висота).

- приймач: 30,0 мм (ширина) x 13,5 мм (довжина, з урахуванням виводів – 19,2 мм) x 9,0 мм (висота).

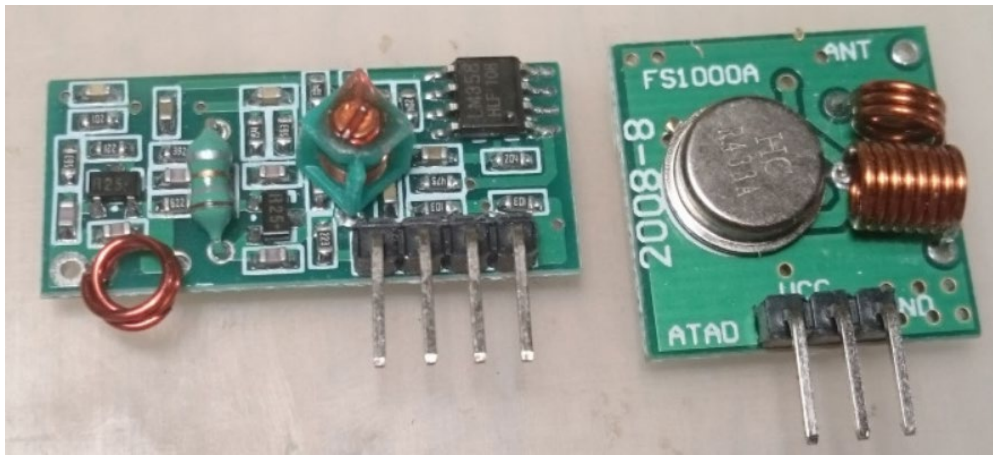


Рисунок 2.5 – Радіомодулі FS1000A

Але слід зазначити дуже важливий недолік такого модуля. Приймач побудований на схему без використання кварцового резонатора, що дуже ускладнює його налаштування на необхідну робочу частоту. Вдосконаленою версією такого радіомодуля є WL102 та WL101 (рис. 2.6).

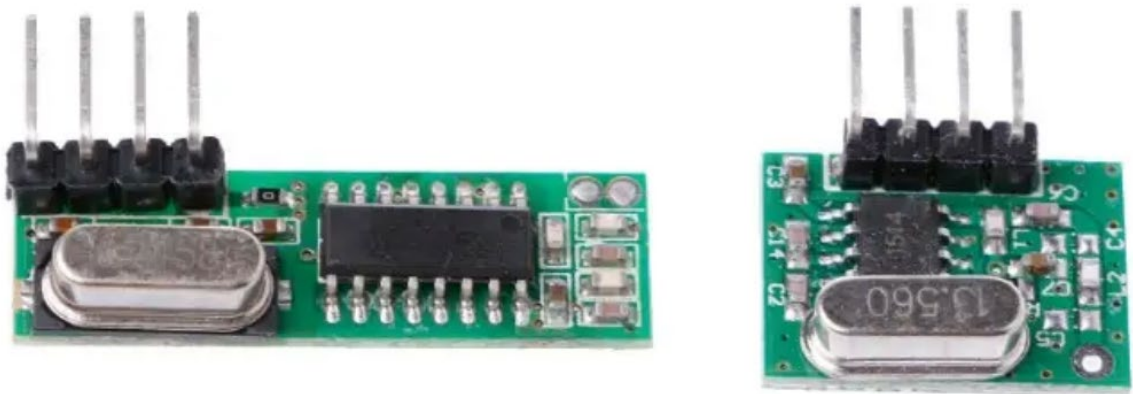


Рисунок 2.5 – Радіомодулі WL101-341

Модель WL101-341 є вдосконаленою версією приймача, що характеризується більш стабільною роботою та вищою швидкістю передачі даних.

Основні характеристики:

- матеріал: виготовлений з комбінації пластику та металу;
- розміри: має компактні габарити: 30 мм × 9 мм × 1 мм;
- робоча частота: 433.92 МГц;
- смуга пропускання: приблизно ± 150 кГц;
- діапазон вхідної напруги: 2.2 - 5 В;
- робочий струм: типове споживання струму становить 2.1 мА при напрузі живлення 5 В та 2.1 мА при напрузі живлення 3 В;
- струм спокою: у стані спокою споживає мінімальний струм – 1 мкА;
- температурний діапазон: від -40 °С до +85 °С;
- зовнішня антена: для оптимальної роботи потребує зовнішньої одножильної антени довжиною 32 см, намотаної на спіраль. [24]

Враховуючи вимоги, ми оберемо цей модуль для використання в нашій радіотехнічній системі.

2.3 Вибір та обґрунтування серводвигуна

Серводвигун – це спеціалізований електродвигун, який використовується для точного керування швидкістю, положенням або моментом на виході. Термін «серво» походить від латинського «servus», що означає «слуга». Саме така аналогія найкраще описує основну функцію серводвигуна: точно слідувати заданим командам і положенням, визначеним оператором або автоматичною системою керування.

Історія розвитку серводвигунів розпочалася ще у XX столітті, коли перші серво-системи почали застосовуватись у військовій техніці для наведення та стабілізації. Перші моделі серводвигунів були громіздкими та вимагали значних зусиль для налаштування, проте поступово розвиток

електроніки та автоматизації дозволив значно удосконалити їх характеристики.

Завдяки інтеграції мікропроцесорних технологій у 1980-х роках серводвигуни стали значно компактнішими і більш точними. Сьогодні серводвигуни широко застосовуються у робототехніці, авіакосмічній промисловості, верстатобудуванні та навіть у повсякденних пристроях – від автомобілів до медичного обладнання.

Ключові особливості сучасних серводвигунів – це висока точність, швидка реакція, надійність і можливість інтеграції в автоматизовані системи керування. У поєднанні з датчиками зворотного зв'язку серводвигуни дозволяють отримувати точність позиціонування на рівні тисячних часток міліметра, що є критично важливим для сучасних виробничих процесів.

Серводвигун складається з кількох основних компонентів: статора, ротора, датчика зворотного зв'язку (енкодера або резольвера) та контролера (рис. 2.6). Статор створює магнітне поле, яке взаємодіє з ротором, спричиняючи його обертання. Ротор може бути постійним магнітом або електромагнітним залежно від типу двигуна. [25]

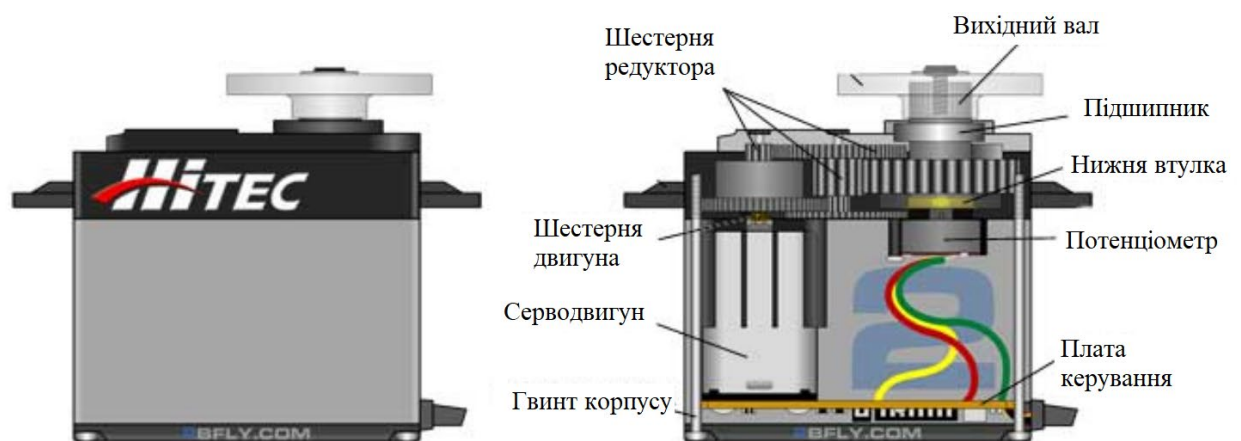


Рисунок 2.6 – Будова серводвигуна

Основною перевагою серводвигуна є точність керування, яка досягається завдяки наявності датчиків зворотного зв'язку. Ці датчики постійно передають контролеру інформацію про фактичне положення та швидкість ротора. Контролер порівнює ці дані з заданими параметрами і регулює струм і напругу, що подаються на двигун, забезпечуючи точне позиціонування.

Робота серводвигуна побудована за принципом зворотного зв'язку як показано на рис. 2.7.

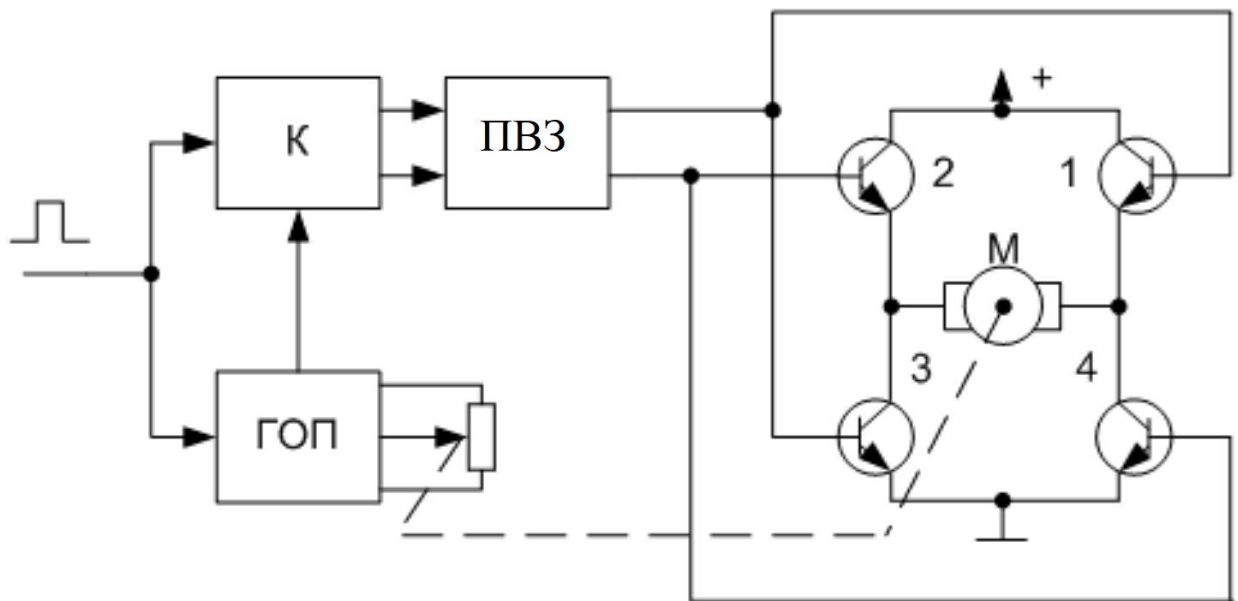


Рисунок 2.7 – Принцип роботи серводвигуна

Сервопривід отримує імпульсні сигнали, які проходять за спеціальним дротом від приймача. Частота таких сигналів становить 20мс, а їх тривалість може варіюватися в межах 0,8-2,2мс. На рис. 2.7 ГОП — генератор імпульсу (до нього приєднаний потенціометр), К — компаратор, ПВЗ — пристрій вибірки-зберігання, М — електричний мотор, який охоплюється діагоналлю силового моста. Імпульсний сигнал надходить від ресивера на компаратор і в той же час активує ГОП. Тривалість опорного імпульсу зв'язана з положенням потенціометра, який з'єднаний з вихідним валом фізично. Коли качалка знаходиться в середній позиції, довжина сигналу становить 1,5мс, якщо ж положення крайнє — 0,8 або 2,2 мс. Керуючий сигнал і опорний

імпульс аналізуються компаратором, який розраховує їх різницеву величину (розрахунок ведеться по тривалості імпульсів). Саме довжина різницевого імпульсу і визначає наскільки «очікуваний» і «фактичний» стан керма збігається. Отриманий показник зберігається в якості потенціалу в ПВЗ.

Серводвигуни поділяються на три основні типи:

Асинхронні серводвигуни – використовуються в системах, де необхідне точне керування швидкістю при змінних навантаженнях. Вони мають високу надійність і низьку вартість обслуговування.

Синхронні серводвигуни – найчастіше використовуються в автоматизованих системах, де критично важливі точність позиціонування та динамічні характеристики. Вони характеризуються високим ККД та швидким відгуком на зміни керуючих сигналів.

Безколекторні (Brushless) серводвигуни – поєднують переваги традиційних двигунів постійного струму з високою надійністю та мінімальними витратами на обслуговування завдяки відсутності колекторів та щіток. [26]

Серед найважливіших характеристик серводвигунів слід виділити потужність, крутний момент, швидкість та точність позиціонування. Ці параметри визначають здатність серводвигуна виконувати конкретні завдання. Потужність визначає загальну продуктивність двигуна. Крутний момент показує здатність двигуна до подолання навантаження. Швидкість впливає на швидкість реакції та швидкість роботи системи. Точність позиціонування є ключовим показником у застосуваннях, де важлива точність руху та позиціонування.

Серводвигуни мають численні переваги, які роблять їх ідеальним вибором для автоматизованих та високоточних радіотехнічних систем:

- висока точність: забезпечують точність позиціонування до мікрометрів.
- швидкість реакції: миттєве реагування на зміни керуючих сигналів.
- компактність та легкість: можливість використовувати у малогабаритних пристроях.

- надійність: тривалий термін служби завдяки сучасним матеріалам і відсутності частих механічних зношувань.

Проте є й певні недоліки:

Вартість: серводвигуни мають відносно високу початкову ціну.

Складність системи керування: потребують кваліфікованих спеціалістів для налаштування та обслуговування.

Чутливість до перевантажень: потребують ретельного контролю та захисту від надмірних навантажень.

Серводвигуни широко використовуються у різних галузях: робототехніка (точне керування рухами роботів і маніпуляторів, забезпечення високої точності виконання операцій), промисловість (застосовуються в системах автоматизації виробництва, верстатах з числовим програмним керуванням), автоматизація (інтегруються в автоматизовані лінії для забезпечення точного керування технологічними процесами), аерокосмічна галузь (використання в системах керування польотом, навігації та стабілізації літальних апаратів).

Для нашої радіотехнічної системи оберемо серводвигун SG90, який зображений на рис. 2.8.



Рисунок 2.8 - Серводвигун SG90

Наш вибір пов'язаний з доступністю даного елемента на ринку. В нас даний елемент керуватиме передніми колесами (напрямком руху) нашої рухомої платформи.

2.4 Вибір та обґрунтування крокового двигуна

Крокові двигуни – це спеціальний тип електричних двигунів, які перетворюють електричні імпульси на дискретні механічні рухи. Основною особливістю цих двигунів є їхня здатність здійснювати обертання на чітко визначений кут, що дозволяє точно контролювати положення ротора без використання зворотного зв'язку. Завдяки цим властивостям крокові двигуни широко використовуються у сфері робототехніки, автоматизованих системах керування, принтерах, сканерах та верстатах з числовим програмним керуванням (ЧПК).

Кроковий двигун складається з ротора і статора. Статор містить електромагнітні котушки, а ротор – постійні магніти або феромагнітні матеріали. Подаючи електричні імпульси на котушки статора в певній послідовності, можна керувати поворотом ротора на заданий крок. Типовий крок крокового двигуна становить від 0,9 до 15 градусів, але за допомогою спеціальних технік мікрокрокування можна значно зменшити цей крок, забезпечуючи плавніший рух і вищу точність.

Перевагами крокових двигунів є їх висока точність позиціонування, простота керування та надійність. Вони можуть працювати без датчиків зворотного зв'язку, що зменшує вартість і спрощує конструкцію системи. Однак серед недоліків можна виділити обмежену швидкість, можливість пропуску кроків при перевантаженні та вібрації під час роботи, особливо на низьких швидкостях.

Сучасні технології дозволяють частково компенсувати ці недоліки шляхом використання спеціальних схем керування та алгоритмів, що робить крокові двигуни важливою складовою сучасних систем автоматизації і точного обладнання. [27]

Перші згадки про пристрої, що нагадують крокові двигуни, з'явилися ще в середині XX століття. Ранні версії були механічно складними і мали обмежену точність. Справжній прорив стався з появою цифрової електроніки

та мікропроцесорів, що дозволили точно контролювати подачу імпульсів на обмотки двигуна. З того часу конструкція крокових двигунів постійно вдосконалюється, що забезпечує вищу ефективність, надійність та інтеграцію у складні автоматизовані системи.

Крокові двигуни працюють за принципом електромагнітного впливу на ротор. Коли на обмотку подається електричний струм, утворюється магнітне поле, яке взаємодіє з магнітним полем ротора, змушуючи його повертатися на фіксований кут. Послідовне вмикання обмоток забезпечує безперервний або дискретний рух. В залежності від конструкції, двигун може мати різну кількість фаз, що впливає на його роздільну здатність і плавність руху.

Існує кілька основних типів крокових двигунів:

Реактивні крокові двигуни – мають ротор з феромагнітного матеріалу без постійних магнітів. Вони прості у виготовленні, проте мають меншу точність.

Постійномагнітні двигуни – мають ротор з постійними магнітами. Вони забезпечують кращу точність і зручні в керуванні.

Гібридні двигуни – поєднують характеристики попередніх типів і забезпечують високу роздільну здатність, низький рівень шуму та вібрацій.

Для ефективного використання крокових двигунів необхідно правильно вибрати схему керування. Найпоширенішими є:

- повнокрокове керування (full-step)
- півкрокове керування (half-step)
- мікрокрокування (microstepping)

Кожна з цих схем має свої переваги й недоліки. Наприклад, мікрокрокування дозволяє досягти дуже плавного руху, але потребує складнішої електроніки.

Крокові двигуни широко застосовуються в різних галузях, зокрема:

- у 3D-принтерах для точного переміщення платформи та екструдера;
- у робототехніці для приводів маніпуляторів;

- у медичному обладнанні (наприклад, шприцеві насоси);
- у телескопах для точного наведення;
- у промислових верстатах з ЧПК.

До головних переваг крокових двигунів відносять: високу точність позиціонування; просту схему керування; сумісність з цифровими системами.

Серед недоліків варто зазначити: високе енергоспоживання навіть у стані спокою; низьку ефективність при високих швидкостях; наявність вібрацій і шуму.

З розвитком електроніки, мікропроцесорних систем і силовій електроніки крокові двигуни стають ще ефективнішими. Сучасні драйвери дозволяють не лише точно керувати положенням, але й адаптивно регулювати струм, зменшувати шум та вібрацію, підвищуючи загальну продуктивність системи.

Для задніх привідних коліс ми обираємо кроковий двигун 28BYJ-48, який зображений в зібраному та розібраному стані на рис. 2.9.

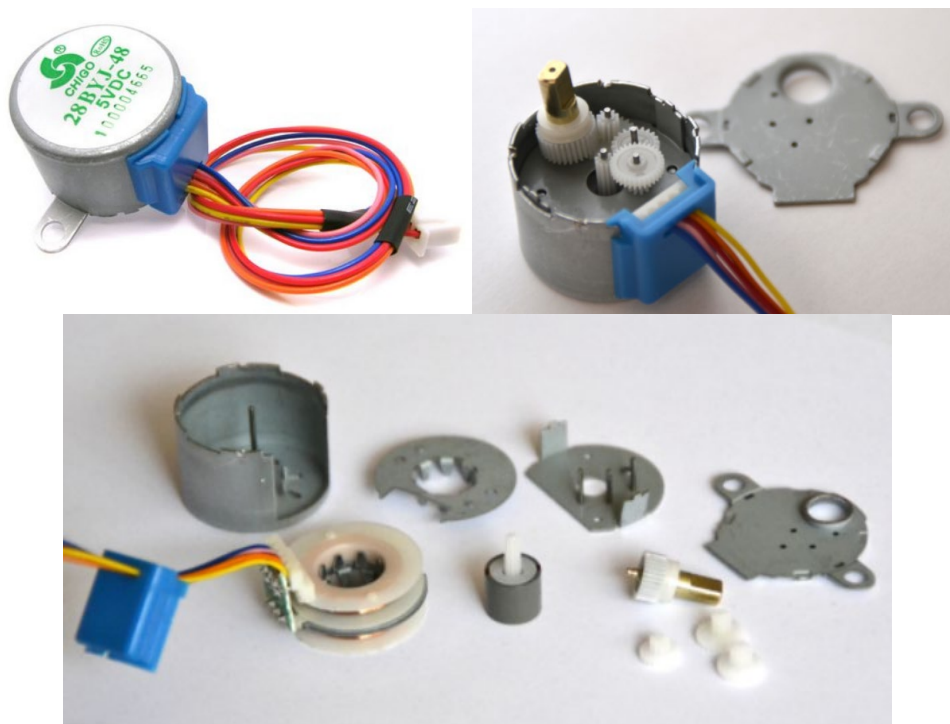


Рисунок 2.9 - Кроковий двигун 28BYJ-48

Кроковий двигун 28BYJ-48 є одним із найпопулярніших мініатюрних двигунів, що широко використовується в хобі-проектах, навчальних експериментах та невеликих автоматизованих пристроях. Його переваги зумовлені комбінацією низької вартості, простоти використання і достатньої точності. Ось основні переваги цього двигуна:

1. Доступність та низька вартість

28BYJ-48 є надзвичайно дешевим, що робить його ідеальним вибором для навчальних цілей і прототипування.

2. Вбудований редуктор

Двигун має вбудований редуктор (передавальне відношення приблизно 64:1), який значно збільшує крутний момент і зменшує кут кроку (до $\sim 0,0879^\circ$), що дозволяє досягати високої точності при поворотах.

3. Просте підключення

Його легко підключити до мікроконтролерів (наприклад, Arduino) за допомогою популярного драйвера ULN2003, який зазвичай постачається в комплекті з двигуном.

4. Працює на низькій напрузі

Типова робоча напруга двигуна становить 5 В, що дозволяє живити його безпосередньо від USB або логіки контролера.

5. Висока точність позиціонування

Завдяки редуктору, цей двигун забезпечує дуже дрібні кроки, що дозволяє реалізовувати плавний і точний рух у малих системах.

6. Низький рівень шуму та вібрацій

Через низьку швидкість обертання і редуктор двигун працює досить тихо, що важливо для деяких застосувань (наприклад, у побутовій техніці або навчальних демонстраціях).

28BYJ-48 – це чудовий вибір для керування малими механізмами: поворотними платформами, клапанами, серво-механізмами у smart home-пристроях тощо. Вибір цієї моделі також пов'язаний з її доступністю та

можливістю створення моделі нашої радіотехнічної системи на макетних платах.

2.5 Розробка структурної схеми радіотехнічної системи

Детальна структурна схема радіотехнічної системи наведена на рис. 2.10

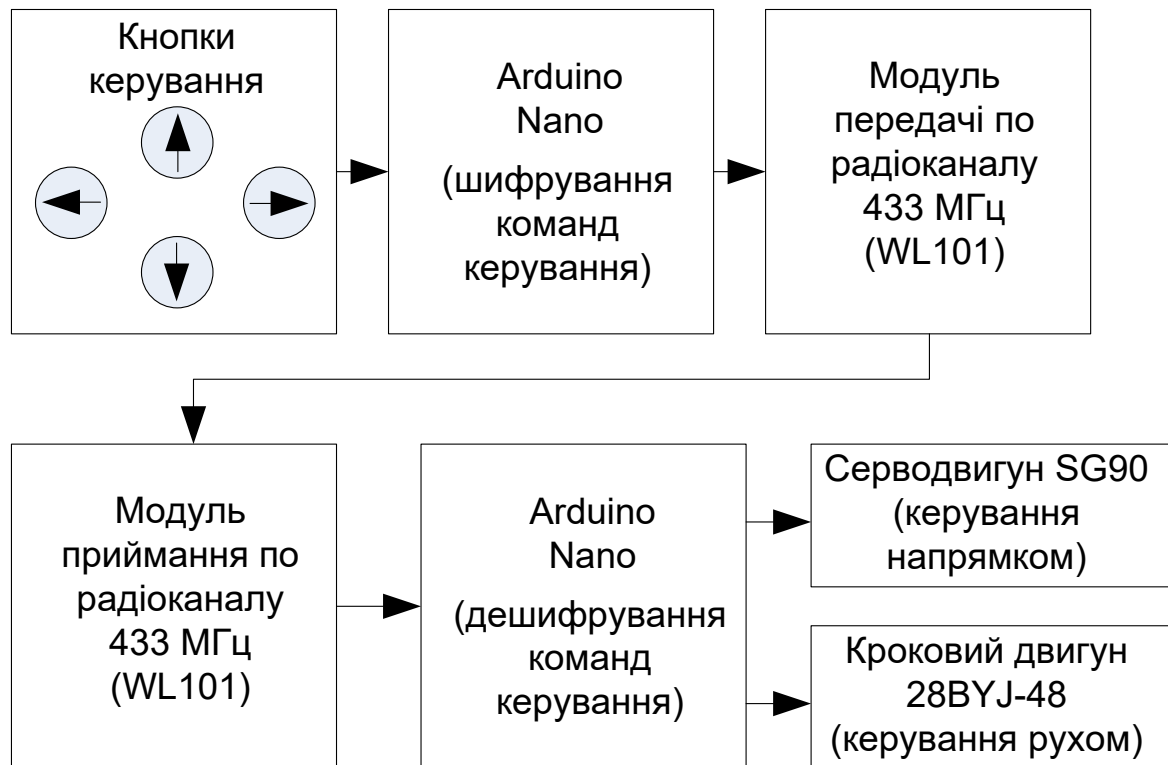


Рисунок 2.10 - Структурна схема радіотехнічної системи

Дана структурна схема представляє собою бездротову систему керування двома виконавчими механізмами: сервоприводом SG90 та кроковим двигуном 28BYJ-48. Управління здійснюється за допомогою кнопок, а передача сигналів відбувається радіоканалом на частоті 433 МГц з використанням модулів WL101.

Система має дві частини: передавальна частина (контролер із кнопками та передавачем) та приймальна частина (виконавчий блок із сервомотором і кроковим двигуном).

Кнопки керування - це прості механічні кнопки, які дозволяють користувачу вручну подавати команди системі. Типово це чотири кнопки: вгору (рух вперед), вниз (рух назад), вліво (повернути передні колеса вліво), вправо (повернути передні колеса вправо).

Arduino Nano передавача обробляє натискання кнопок. Залежно від активної кнопки, мікроконтролер формує відповідну команду у вигляді коду або послідовності байтів, шифрує її і надсилає на передавач.

Модуль передавання по радіоканалу 433 МГц (WL101) - це модуль радіочастотної передачі, який працює в парі з відповідним приймачем. Він транслює закодовану Arduino команду через повітря на відстань (до 100 метрів на відкритому просторі) до приймальної частини.

Модуль приймання по радіоканалу 433 МГц (WL101) приймає сигнал від передавача. Сигнал надходить до другої Arduino Nano, яка його дешифрує для керування сервомотором і кроковим двигуном.

Arduino Nano приймача на основі отриманої інформації визначає, який із двигунів і в якому напрямку слід активувати. Також може здійснювати логіку, наприклад, обмеження кута повороту чи перевірку режимів роботи.

Сервопривід SG90 використовується для керування напрямком. Його вал може повертатися в межах приблизно 0–180 градусів. Він відповідає за встановлення кута повороту передних колес платформи (зміну напрямку руху).

Кроковий двигун 28BYJ-48 відповідає за поступальний рух або точне позиціонування об'єкта. Завдяки високій точності (крок до $0,0879^\circ$ з редуктором), цей двигун може виконувати дрібні переміщення з високою повторюваністю.

Технічні переваги та особливості:

- низька вартість системи: всі компоненти мають невелику ціну, що дозволяє створити ефективну систему без значних витрат;
- модульність: система легко масштабована: можна додати більше двигунів, датчиків або навіть зворотний зв'язок;

- енергоефективність: працює від джерел живлення 5 В, що дозволяє використовувати акумулятори, павербанки тощо;

- гнучкість програмного забезпечення: arduino дозволяє програмувати різні режими: послідовний рух, затримки, обмеження кутів, захист від перевантажень тощо.

Розглянута система є прикладом простої, але ефективної реалізації бездротового керування з використанням Arduino. Вона демонструє базові принципи цифрової обробки сигналів, передачі даних по радіоканалу та керування виконавчими пристроями. За рахунок модульності й гнучкості ця система може бути легко адаптована до складніших проєктів.

2.6 Розробка програмного забезпечення

2.6.1 Розробка програмного забезпечення передавача

Наш код передавача повинен очікувати натиснення однієї з 4 кнопок.

Кожна кнопка має своє значення (команду).

Значення, яке буде передаватися шифрується через XOR з ключем.

Надсилається за допомогою модуля 433 МГц (RH_ASK).

Для додатковго дебагу інформація виводиться в Serial Monitor.

Зробимо детальне пояснення коду.

✦ Підключення бібліотеки:

```
#include <RH_ASK.h> // Бібліотека для роботи з RF-модулями
(RadioHead, модуляція ASK)
```

✦ Змінні:

```
const char *key = "testmycode"; // ключ для XOR-шифрування
```

```
const int key_len = strlen(key); // довжина ключа
```

Ми будемо шифрувати кожне повідомлення, XOR-ом з першим байтом ключа: 't' = 116 (ASCII).

✦ Ініціалізація модуля:

`RH_ASK driver(2000, NO_PIN, 2, NO_PIN);` // Частота 2000 біт/с, передача на D2, 2000 — бітрейт (добре підходить для стабільної передачі); `NO_PIN` — значить, що ми не використовуємо інші пінові опції, окрім передавального (`TX = D2`).

✦ Кнопки:

```
const int buttonPins[] = {3, 4, 5, 6}; // 4 кнопки підключені до D3–D6
const uint8_t buttonValues[] = {12, 6, 9, 3}; // Команди, які
відправлятимуться
```

Кожна кнопка має відповідне значення (задаємося ним на свій розсуд):

D3 → 12

D4 → 6

D5 → 9

D6 → 3

✦ `setup()` — початкова конфігурація:

```
Serial.begin(115200); // Для моніторингу
if (!driver.init()) {
    Serial.println(F("RF init failed!"));
    while (true) delay(1); // Блокування при помилці
}
for (int i = 0; i < 4; i++) {
    pinMode(buttonPins[i], INPUT_PULLUP); // Кнопки з внутрішнім
підтягуванням до VCC
}
```

```
pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT); // LED для візуалізації натискання
```

✦ `encrypt()` — XOR-шифрування:

```
uint8_t encrypt(uint8_t data) {
    return data ^ key[0]; // XOR з символом 't' = 116
}
```

🧠 Приклад:

```
data = 12;
key[0] = 't' = 116;
encrypted = 12 ^ 116 = 120;
```

✦ loop() — перевірка кнопок і надсилання:

```
for (int i = 0; i < 4; i++) {
  if (digitalRead(buttonPins[i]) == LOW) {
```

Якщо натиснута кнопка (стан LOW — бо ми використовуємо INPUT_PULLUP):

```
    digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW); // Вмикаємо індикатор
    uint8_t data = buttonValues[i]; // Отримуємо значення (наприклад, 12)
    uint8_t encryptedData = encrypt(data); // Шифруємо
    driver.send(&encryptedData, sizeof(encryptedData)); // Надсилаємо байт
    driver.waitPacketSent(); // Очікуємо завершення передачі
    Serial.print("Button pressed, sending: ");
    Serial.print(data);
    Serial.print(" Encrypted: ");
    Serial.println(encryptedData);
```

Виводимо в монітор порту, що саме ми надіслали і в якому вигляді.

```
    delay(200); // Затримка проти повторного натискання
    digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH); // Вимикаємо індикатор
```

✓ Поведінка при роботі:

Кнопка на піні	Значення	Encrypted	Дія (на приймачі)
D3	12	120	Кроковий двигун обертається CW
D4	6	114	Кроковий двигун обертається CCW
D5	9	125	Серво ←
D6	3	119	Серво →

Якщо на приймачі використовується той самий ключ (key[0] = 't'), він виконує аналогічне XOR і розпізнає команду.

Таким чином, цей код — проста реалізація радіопередавача, яка:

- Має 4 кнопки.
- Відправляє команду у вигляді байта, зашифрованого XOR.
- Працює з бібліотекою RadioHead (RH_ASK).
- Має візуальний індикатор (вбудований LED).
- Дає чіткий і контрольований вихід у Serial Monitor.

2.6.2 Розробка програмного забезпечення приймача

Для приймача код буде виконувати наступні дії:

- Приймає команди по радіо через модуль 433 МГц.
- Розшифровує отримані дані за допомогою XOR-ключа.
- Виконує одну з дій:
 - Повертає кроковий двигун на 1 секунду в заданому напрямку.
 - Повертає сервомотор на $\pm 10^\circ$ від поточної позиції.

Розгляне модетально код.

1. Імпорт бібліотек

```
#include <RH_ASK.h>           // для бездротової передачі (RadioHead
ASK)

#include <CustomStepper.h>     // для крокового двигуна (наприклад,
28BYJ-48)

#include <ServoTimer2.h>       // для сервоприводу без конфліктів
таймерів
```

2. Оголошення змінних і об'єктів

```
RH_ASK driver(2000, 2, NO_PIN, NO_PIN); // швидкість передачі 2000
біт/с, приймач на D2

const char *key = "testmycode"; // симетричний ключ XOR

CustomStepper stepper(6, 5, 4, 3); // піни для ULN2003: IN1 = D6, IN2
= D5, ...

const int motorPins[4] = {6, 5, 4, 3}; // список пінів для вимкнення після
зупинки

ServoTimer2 myServo;          // об'єкт сервомотора
```

```
const int servoPin = 8;           // керування серво — D8
int servoAngle = 1500;           // 1500 мкс  $\approx$  90° — початкове
```

положення

3. Функція `setup()` — виконується один раз при старті

```
void setup() {
    Serial.begin(115200); // відкриваємо монітор порту
    // Ініціалізація RF-модуля
    if (!driver.init()) {
        Serial.println(F("RF init failed!")); // якщо не вдалося — зупиняємось
        while (true) delay(1);
    }

    // Налаштування кроковика
    stepper.setRPM(5);           // повільна швидкість
    stepper.setSPR(4075.7728395); // 4075 кроків на повний оберт (для
28BYJ-48)
    for (int i = 0; i < 4; i++) pinMode(motorPins[i], OUTPUT); // ініціалізація
пінів
```

```
    // Ініціалізація серво
    myServo.attach(servoPin); // підключення до D8
    myServo.write(servoAngle); // виставляємо середину (1500 мкс)
    delay(500);               // невелика пауза
}
```

4. Функція дешифрування — XOR

```
uint8_t decrypt(uint8_t encryptedData) {
    return encryptedData ^ key[0]; // XOR з першим символом ключа
}
```

✦ Приклад:

Передано: `encrypted = 12 ^ 't' = 120`

Приймач робить: $120 \wedge 't' = 12$

5. Функція керування кроковим двигуном

```
void rotateOneSecond(uint8_t direction) {
    stepper.setDirection(direction); // CW або CCW
    stepper.rotate();                // запускає обертання

    // виконується 1 секунда
    unsigned long startTime = millis();
    while (millis() - startTime < 1000) {
        stepper.run(); // цикл оновлення обертання
    }

    // Після завершення — вимикаємо всі піни
    for (int i = 0; i < 4; i++) digitalWrite(motorPins[i], LOW);
    Serial.println("Stepper: Rotation complete.");
}
```

6. Функція зміни кута серво

```
void rotateServoBy(int deltaDegrees) {
    servoAngle += deltaDegrees * 11; // кожен градус  $\approx$  11 мкс
    if (servoAngle < 500) servoAngle = 500; // мінімум (0°)
    if (servoAngle > 2500) servoAngle = 2500; // максимум (180°)
    myServo.write(servoAngle);          // новий кут

    Serial.print("Servo: angle  $\approx$  ");
    Serial.println((servoAngle - 500) / 11); // вивід кута у градусах
}
```

7. Головний цикл loop()

```
void loop() {
```

```

uint8_t buf[1];           // буфер для одного байта
uint8_t buflen = sizeof(buf); // розмір буфера

if (driver.recv(buf, &buflen)) {           // якщо отримано дані
    uint8_t decryptedData = decrypt(buf[0]); // дешифруємо

    // Виводимо отримані дані
    Serial.print("Received encrypted: ");
    Serial.print(buf[0]);
    Serial.print(" -> Decrypted: ");
    Serial.println(decryptedData);

    // Виконуємо команду
    if (decryptedData == 12) {
        rotateOneSecond(CW); // обертання кроковика CW
    } else if (decryptedData == 6) {
        rotateOneSecond(CCW); // обертання кроковика CCW
    } else if (decryptedData == 3) {
        rotateServoBy(+10); // серво вправо
    } else if (decryptedData == 9) {
        rotateServoBy(-10); // серво вліво
    }
}
}

```

Що в результаті:

Команда (шифр.)	Дія
data = 12 12	Кроковик → CW (вправо)
data = 6 6	Кроковик → CCW (вліво)
data = 3 3	Серво → на +10°
data = 9 9	Серво → на -10°

Таким чином, наш код — це простий, надійний алгоритм, який керує рухом платформи (або іншого пристрою) на основі шифрованих команд по радіоканалу.

Він включає:

- Безпечну передачу даних (через XOR),
- Кроковий привід для руху вперед/назад,
- Сервопривід для нахилу/повороту (наприклад, камери чи датчика).

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ЗРАЗКА

3.1 Складання дослідного зразка

Враховуючи, що моделювальні пакети для схемотехніки такі як proteus, multisim не містять радіопередавальних модулів, то було прийнято рішення зробити дослідний зразок і провести його дослідження.

Наша радіотехнічна система має дві складових: передавальну та приймальну з виконавчими механізмами.

На рис. 3.1 наведено передавальну частину з кнопками керування, які подібні джойстику.

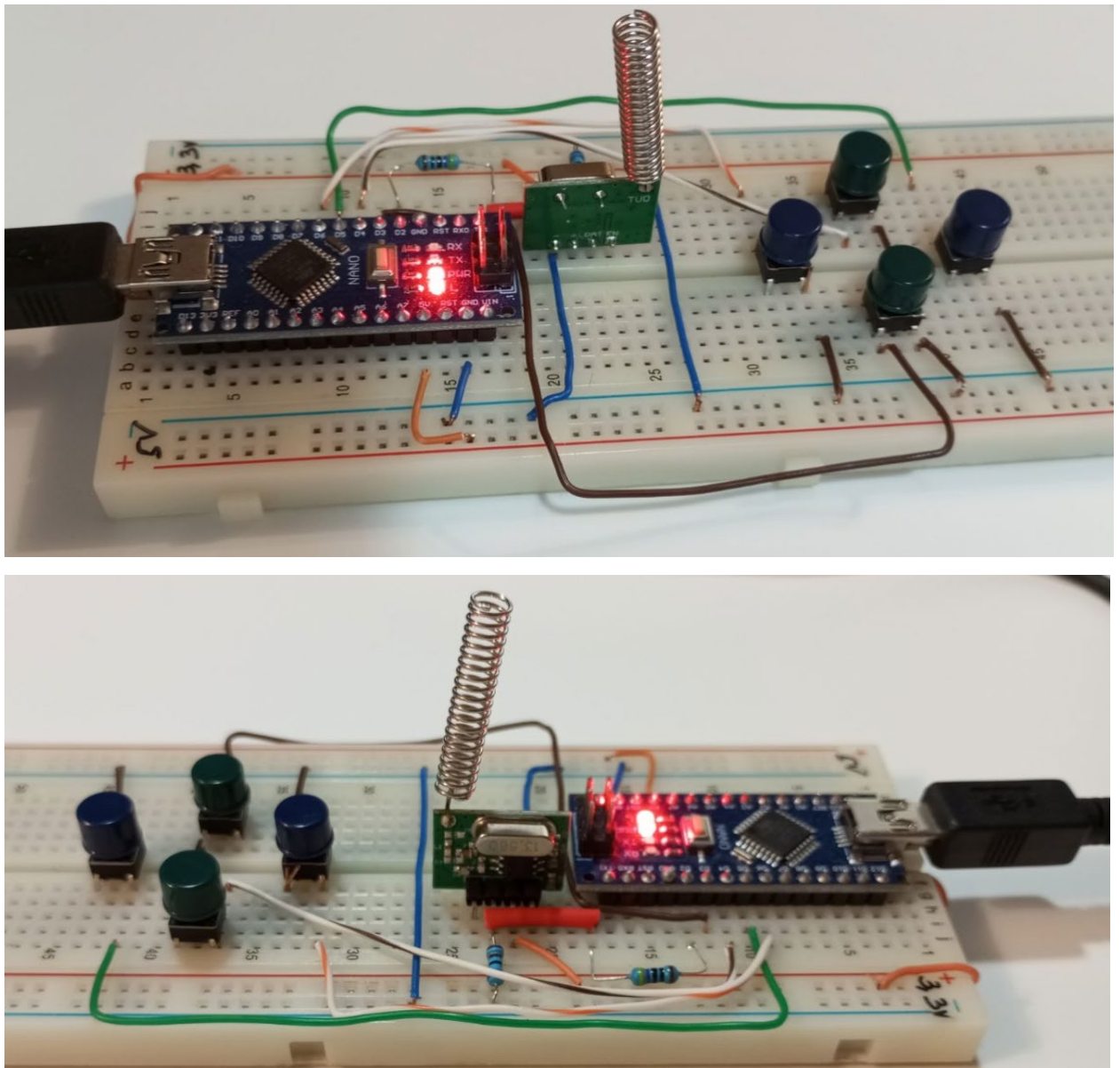


Рисунок 3.1 – Передавальна складова радіотехнічної системи

Як видно з рис. 3.1, передавальна частина містить Arduino nano, передавач та чотири кнопки керування (вперед, назад, вліво, вправо).

На рис. 3.2 наведено приймачальну частину з виконавчими механізмами.

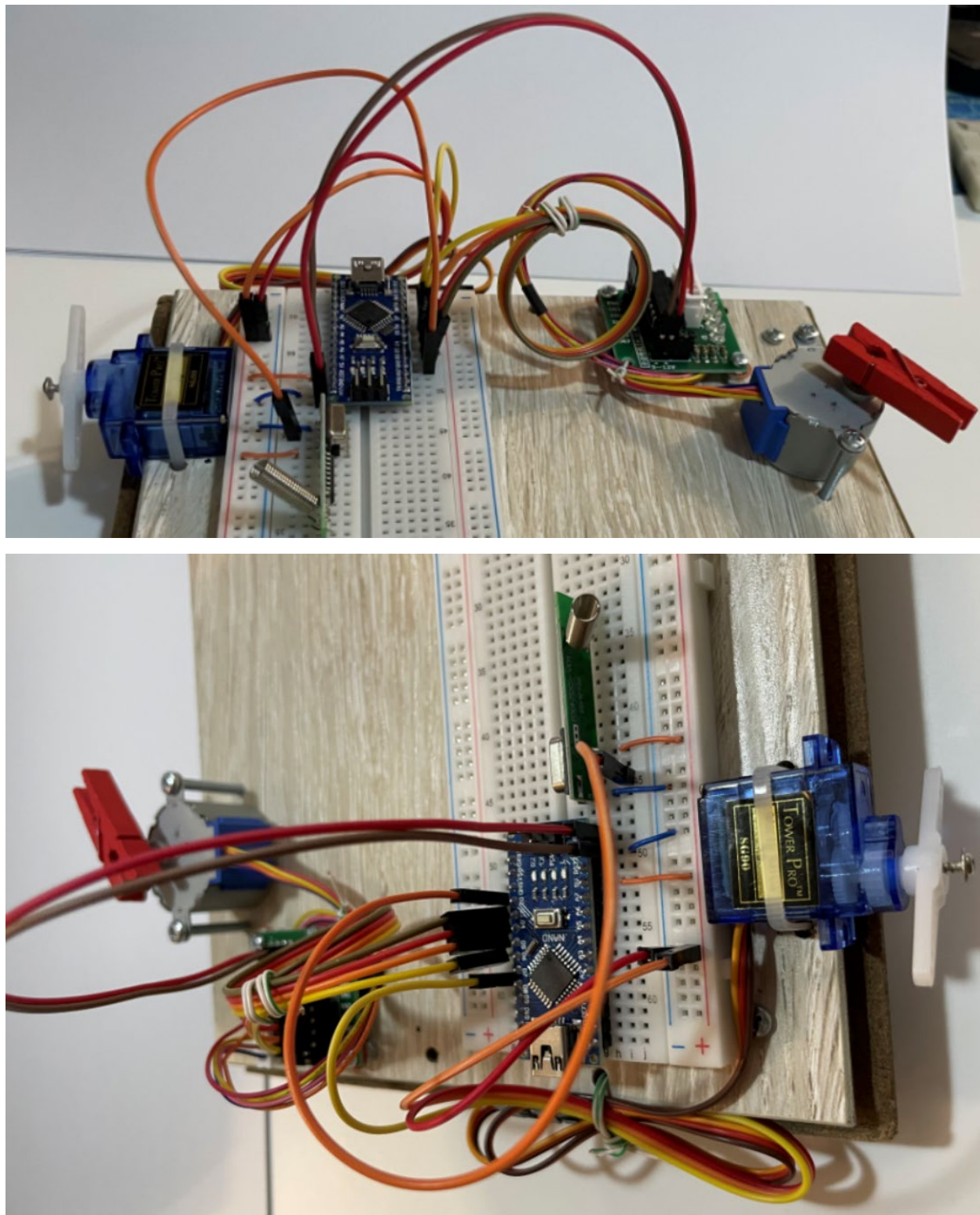
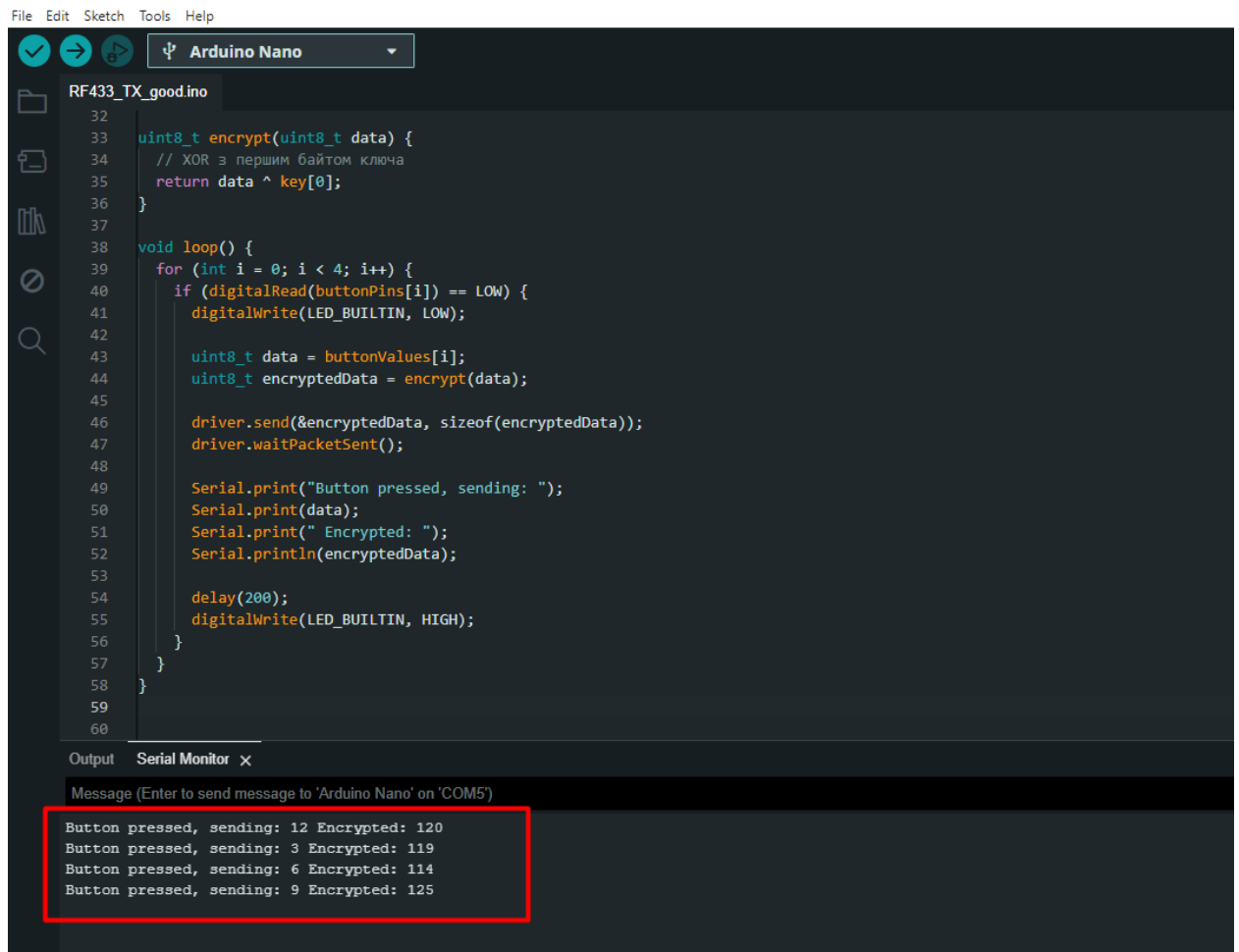


Рисунок 3.2 – Приймальна складова радіотехнічної системи

Як видно з рис. 3.2, приймальни частина містить Arduino nano, приймач та два виконавчі механізми: сервомотор для забезпечення повороту рухомих коліс і кроковий двигун для руху вперед або назад.

3.2 Дослідження передавальної частини

Відповідно до нашої структурної схеми, на макетній платі була зібрана передавальна частина нашої радіотехнічної системи, та результати дослідження якої показано на рис. 3.3.



The screenshot displays the Arduino IDE interface. The top menu bar includes File, Edit, Sketch, Tools, and Help. The toolbar shows icons for checking, running, and uploading code, along with a dropdown menu for the board type, currently set to 'Arduino Nano'. The left sidebar contains icons for file explorer, search, and other IDE functions. The main editor window shows the sketch 'RF433_TX_good.ino' with the following code:

```
32
33 uint8_t encrypt(uint8_t data) {
34     // XOR з першим байтом ключа
35     return data ^ key[0];
36 }
37
38 void loop() {
39     for (int i = 0; i < 4; i++) {
40         if (digitalRead(buttonPins[i]) == LOW) {
41             digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW);
42
43             uint8_t data = buttonValues[i];
44             uint8_t encryptedData = encrypt(data);
45
46             driver.send(&encryptedData, sizeof(encryptedData));
47             driver.waitPacketSent();
48
49             Serial.print("Button pressed, sending: ");
50             Serial.print(data);
51             Serial.print(" Encrypted: ");
52             Serial.println(encryptedData);
53
54             delay(200);
55             digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH);
56         }
57     }
58 }
59
60
```

Below the code editor is the 'Serial Monitor' window, which is open and shows the output of the sketch. The output is as follows:

```
Message (Enter to send message to 'Arduino Nano' on 'COM5')
Button pressed, sending: 12 Encrypted: 120
Button pressed, sending: 3 Encrypted: 119
Button pressed, sending: 6 Encrypted: 114
Button pressed, sending: 9 Encrypted: 125
```

Рисунок 3.3 – Результат дослідження передавальної складової радіотехнічної системи

Як видно з рис. 3.3, при натисканні різних кнопок керування, генеруються різні зашифровані коди. В нас зроблено таким чином, що як на

годиннику: число 12 – рух вперед, 6 – рух назад, 3 – поворот керма вправо, 9 – поворот керма вліво. Потім ці дані шифруються і передаються в ефір.

3.3 Дослідження приймальної частини

Проведемо дослідження приймальної частини радіотехнічної системи.

При натисканні кнопки руху вперед матимемо обертання крокового двигуна проти часової стрілки як показано на рисунку 3.4.

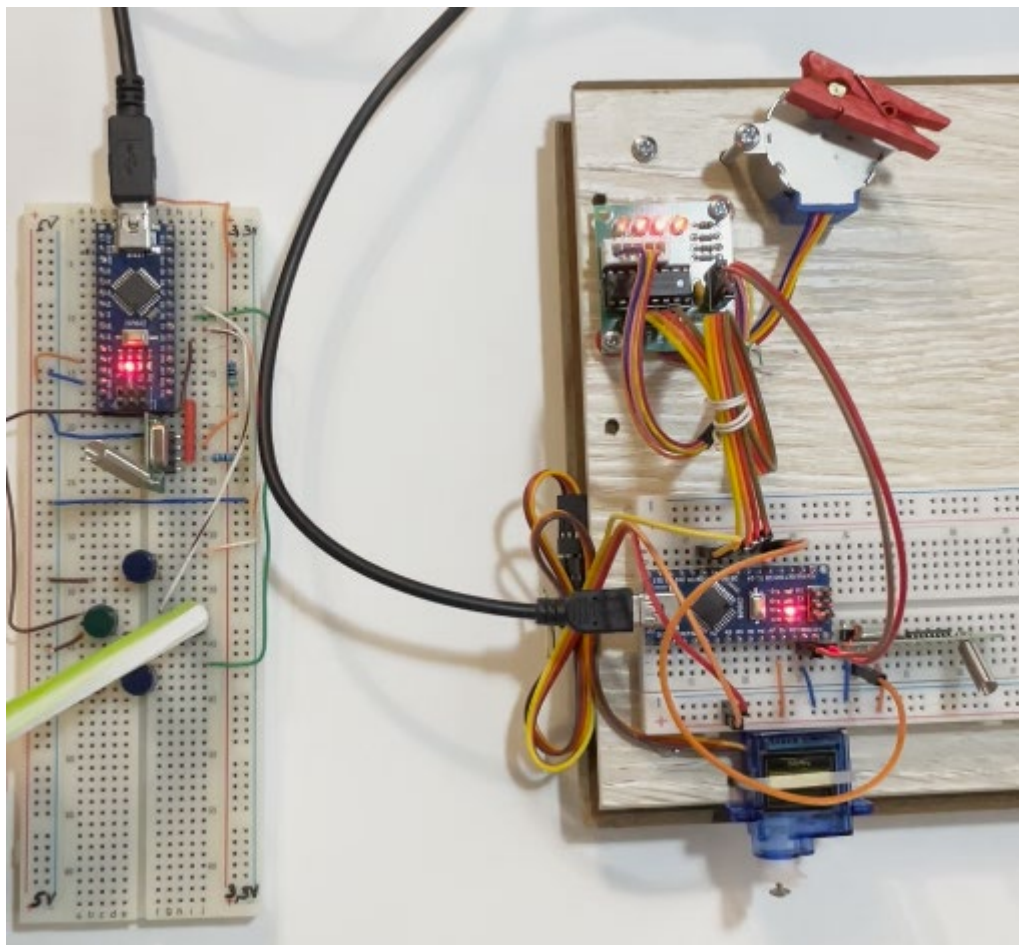


Рисунок 3.4 – Дослідження руху вперед

При натисканні кнопки руху назад матимемо обертання крокового двигуна за часовою стрілкою як показано на рисунку 3.5.

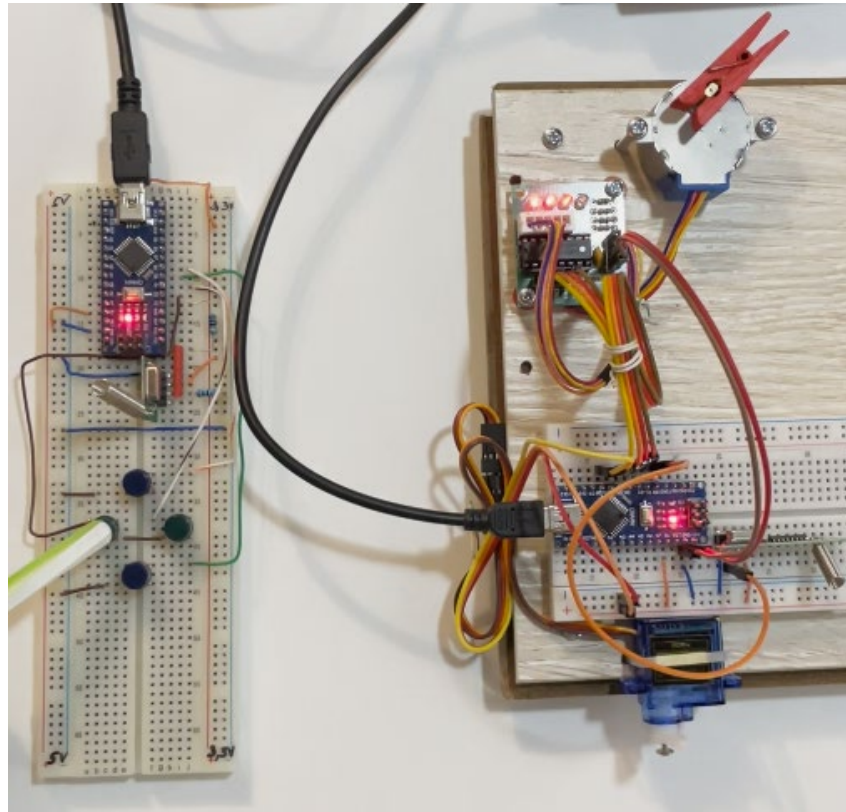


Рисунок 3.5 – Дослідження руху назад

При натисканні кнопки вправо матимемо рух серводвигуна для повороту передніх коліс вправо як показано на рисунку 3.6.

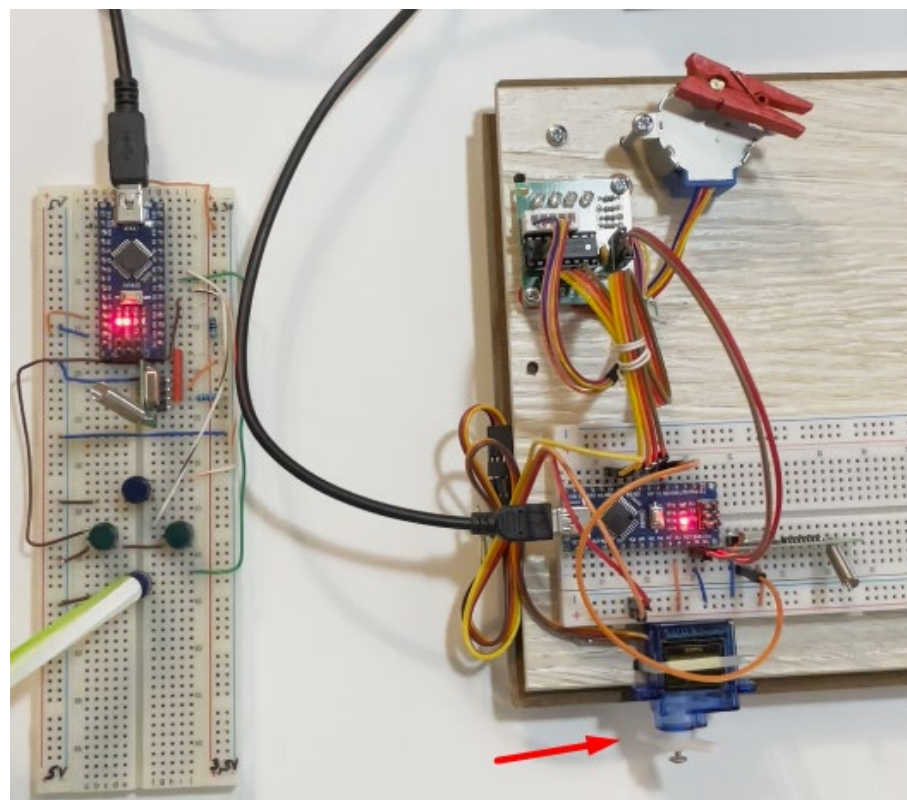


Рисунок 3.6 – Дослідження руху вправо

При натисканні кнопки вліво матимемо рух серводвигуна для повороту передніх коліс вліво як показано на рисунку 3.7.

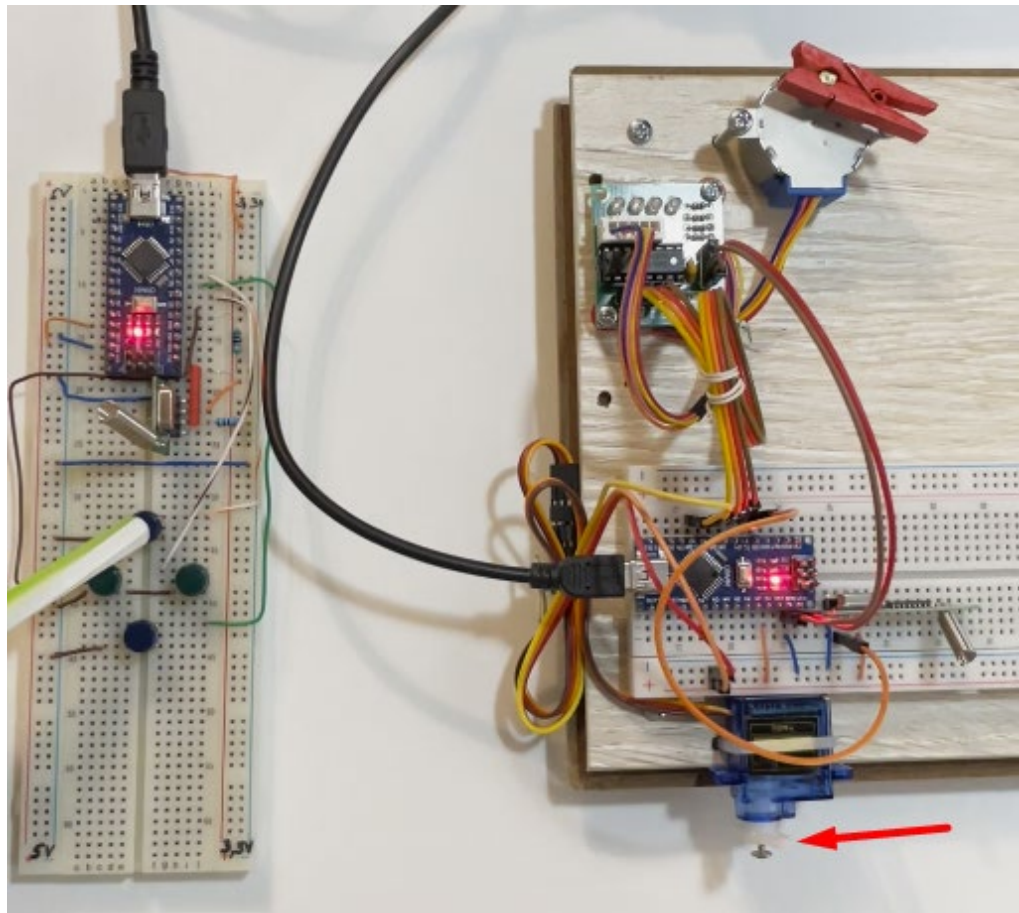


Рисунок 3.7 – Дослідження руху вліво

Таким чином, наш експериментальний зразок радіотехнічної системи дистанційного керування рухомою платформою підтвердив свою повну функціональність та можливість рухатися в різні напрямки подібно автомобілю.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Законодавство України зобов'язує всіх роботодавців забезпечувати безпечні та нешкідливі умови праці для своїх співробітників. Однак, виробничий травматизм залишається серйозною проблемою в країні, про що свідчать щорічні показники: близько 50 тисяч травмованих на робочих місцях, з яких 1,5 тисячі випадків є смертельними, а понад 3,5 тисячі осіб стикаються з професійними захворюваннями. Міжнародні експерти, які проводили дослідження в Україні в рамках програми Міжнародної організації праці, вказують на такі основні причини високого рівня смертельного травматизму: недостатня кваліфікація працівників та роботодавців у питаннях охорони праці, слабкий контроль за безпекою на робочих місцях та дотриманням існуючих норм, а також повільне впровадження на підприємствах ефективних засобів колективного захисту. Вирішення цієї проблеми вимагає комплексного підходу, включаючи посилення контролю з боку державних органів, підвищення рівня обізнаності та відповідальності як працівників, так і роботодавців, а також активне впровадження сучасних технологій та засобів безпеки на виробництві. [28]

Розробка радіотехнічної системи дистанційного керування рухомою платформою здійснювалося в приміщенні, яке обладнане комп'ютеризованими робочими місцями. На працівника, відповідно до Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», мали вплив такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

1. Фізичні: підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони; підвищений рівень шуму на робочому місці; підвищена чи понижена вологість повітря; підвищений рівень статичної електрики; підвищений рівень електромагнітного випромінювання; недостатня освітленість робочої зони.

2. Психофізіологічні: розумове перевантаження; перенапруга аналізаторів; статичне перевантаження.

Відповідно до особливостей дослідження, визначимо технічні рішення щодо безпечного виконання роботи та технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії. [29]

4.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи

4.1.1. Обладнання приміщення та робочого місця

Перелік нормативно-правових актів, що прямо чи опосередковано регулюють організацію робочого місця, обладнаного персональним комп'ютером, є досить розгалуженим. Обов'язки роботодавця щодо створення для працівників комфортних і безпечних умов праці, а також відповідні права працівників, закріплені у частині 2 статті 2 та частині 1 статті 21 Кодексу законів про працю України (КЗпП), а також у статті 13 Закону України «Про охорону праці». Цей закон визначає ключові принципи реалізації конституційного права працівників на охорону їхнього життя та здоров'я в процесі трудової діяльності, на належні, безпечні та здорові умови праці, регулює за участю уповноважених органів державної влади відносини між роботодавцем і працівником у сфері безпеки, гігієни праці та виробничого середовища, а також встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні. Дотримання вимог цих законодавчих актів є обов'язковим для всіх роботодавців та є запорукою створення сприятливого та безпечного робочого середовища для працівників, що використовують комп'ютерну техніку.

Основну частину нормативних документів у цій галузі складають підзаконні акти, а саме численні правила, інструкції, державні санітарні правила і норми (ДСанПіН) та інші, які детально регламентують окремі аспекти, що стосуються конструкції електронно-обчислювальної техніки, особливостей облаштування приміщень для роботи з нею, а також низку

інших подібних вимог. До таких ключових документів належать, зокрема, Державні санітарні правила і норми ДСанПіН 3.3.2.007-98, Державний стандарт України ДСТУ 8604:2015, НПАОП 0.00-7.15-18 та інші галузеві нормативні акти.

Розробка радіотехнічної системи дистанційного керування рухомою платформою здійснювалася за допомогою ПК, тому потрібно дотримуватися гігієнічних норм, правил і вимог безпеки при роботі з персональним комп'ютером. Конструкції всіх елементів робочого місця та їх взаємного розташування повинні відповідати ергономічним вимогам з урахуванням характеру і особливостей трудової діяльності. Робочі місця з персональними комп'ютерами слід так розташовувати відносно світлових прорізів, щоб природне світло падало збоку, переважно зліва. [30]

Конструкція робочого столу повинна відповідати ергономічним вимогам та забезпечувати оптимальне розміщення необхідного обладнання, такого як дисплей, клавіатура, принтер та робочі документи, в межах зручної досяжності. Висота робочої поверхні столу, призначеного для роботи з комп'ютером, має регулюватися в діапазоні 680-800 мм (, а його ширина та глибина повинні забезпечувати можливість виконання робочих операцій у зоні досяжності моторного поля, з рекомендованими розмірами ширини 600-1400 мм та глибини 800-1000 мм. Важливою умовою є також наявність достатнього простору для ніг під столом, що сприяє підтримці правильної постави.

Робочий стілець має бути підйомно-поворотним, регульованим за висотою, за кутом нахилу сидіння та спинки і за відстанню від спинки до переднього краю сидіння, поверхня сидіння має бути плоскою, передній край -заокругленим. Регулювання за кожним із параметрів має здійснюватися незалежно, легко і надійно фіксуватися. Для зниження статичного напруження м'язів верхніх кінцівок слід використовувати стаціонарні або змінні підлокітники завдовжки не менше ніж 250 мм, завширшки 50-70 мм, що регулюються за висотою над сидінням у межах 230-260 мм і відстанню

між підлокітниками в межах 350-500мм. Поверхня сидіння і спинки стільця має бути напівм'якою з нековзним, повітронепроникним покриттям, що легко очиститься і не електризується.

Екран ПК необхідно розміщувати на оптимальній відстані від очей користувача, яка становить 600-700 мм, але в жодному разі не ближче ніж 700 мм, враховуючи розмір відображуваних літерно-цифрових знаків та символів для забезпечення чіткості сприйняття. Розташування екрану повинно забезпечувати комфортний кут зорового спостереження у вертикальній площині, що становить 30° вниз від перпендикуляра до площини екрана. Клавіатуру слід розміщувати на робочій поверхні столу на відстані 100-300 мм від краю, найближчого до користувача, що сприяє зручному положенню рук. Конструкція клавіатури повинна включати опорний пристрій з матеріалу з високим коефіцієнтом тертя, що запобігає її випадковому зсуву, та надавати можливість регулювання кута нахилу поверхні в межах $5-15^\circ$ для забезпечення природного положення зап'ясть. Висота середнього ряду клавіш не повинна перевищувати 30 мм, що також сприяє зручності набору тексту. Поверхня клавіатури має бути матовою з коефіцієнтом відбиття не більше 0,4, що мінімізує відблиски та знижує напруження на очі. Рекомендується також використовувати підставку для зап'ясть для додаткової підтримки та комфорту під час тривалої роботи. [31]

Отже, для забезпечення меншої стомлюваності та підтримки високої працездатності наукового співробітника, який працює з комп'ютерною технікою, необхідно ергономічно та раціонально організувати його робочий простір, враховуючи всі аспекти, що впливають на комфорт та безпеку праці.

4.1.2 Електробезпека приміщення

Досліджуване приміщення обладнане трифазною чотирипровідною електричною мережею з заземленою нейтраллю, що забезпечує живлення напругою 380/220 вольт. Відповідно до Правил улаштування електроустановок (ПУЕ), дане приміщення класифікується як приміщення

без підвищеної електричної небезпеки. Це зумовлено сприятливими умовами, що включають сухий мікроклімат, незначний рівень запиленості та відповідність температурних параметрів повітря встановленим нормам. Крім того, підлоги мають ізоляційне покриття, а кількість заземлених електричних приладів є мінімальною.

Електротехнічне обладнання, включаючи апаратуру, кабелі та розподільні пристрої різних видів та напруги, відповідає всім вимогам для забезпечення безпечної експлуатації, як в звичайних умовах, так і в аварійних ситуаціях, таких як короткі замикання, перенапруги та перевантаження. Це забезпечує надійність та безпеку електричних систем у даному приміщенні, знижує ризик виникнення небезпечних ситуацій та забезпечує нормальну експлуатацію обладнання та освітлення. [32]

Для забезпечення безпеки в даному приміщенні використані такі технічні заходи:

1. Забезпечено недоступність струмопровідних частин завдяки використанню прихованої проводки та розташуванню кабелів у спеціальних ринвах.
2. Забезпечено ізолювання струмопровідних частин за допомогою ізоляції, опір якої відповідає нормам. Також передбачено регулярний контроль та профілактику ізоляції для забезпечення її надійності.
3. Використана напруга освітлювальної мережі становить 220 В із заземленою нейтраллю.

Згідно з ПУЕ, безпека від ураження електричним струмом забезпечується за допомогою заземлення. У нормальних умовах роботи також передбачено використання ізоляційних пристроїв, огороження струмопровідних частин та використання низьких напруг. Особи, які обслуговують електроустановки, повинні використовувати індивідуальні засоби захисту, такі як спеціалізоване взуття та рукавиці. Засоби захисту повинні періодично перевірятися та захищатися від механічних пошкоджень та впливу факторів, що можуть погіршити їх діелектричні властивості.

4.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

Розробка радіотехнічної системи дистанційного керування рухомою платформою базувалася на застосуванні теоретичних методів дослідження та спеціалізованого програмного забезпечення. Розглянемо технічні рішення у сфері гігієни праці та виробничої санітарії, що застосовувалися під час виконання цієї роботи. [33]

4.2.1 Мікроклімат

Важливий вплив на фізичний стан та працездатність людини протягом робочого дня має мікроклімат виробничого середовища, який характеризується такими параметрами, як температура, відносна вологість повітря, швидкість його руху та теплове випромінювання від нагрітих поверхонь. У процесі виконання трудових завдань відбувається теплообмін між людиною та виробничим середовищем. Параметри мікроклімату, що відповідали умовам проведення дослідження (категорія Іа робіт), були визначені згідно з Державними санітарними нормами ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» і представлені в таблиці 4.1. Дотримання цих норм є важливим для забезпечення комфортних та безпечних умов праці, запобігання негативному впливу мікроклімату на здоров'я та працездатність дослідників.

Таблиця 4.1 – Параметри мікроклімату

Період року	Допустимі		
	t, °C	W, %	V, м/с
Теплий	22-28	55	0,1-0,2
Холодний	21-25	75	0,1

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату в приміщенні передбачено: централізована парова система опалення, системи припливно-витяжної вентиляції та регулярне провітрювання та систематичне

вологе прибирання. Вимірювання показників мікроклімату на робочому місці дослідника дає підстави стверджувати, що вони знаходяться в межах допустимих значень.

4.2.2 Склад повітря робочої зони

Для забезпечення сприятливого середовища виробничої діяльності важливим є не лише підтримання комфортних метеорологічних умов, але й забезпечення належної чистоти повітря. Атмосферне повітря в нормі складається з азоту (близько 78,08%), кисню (приблизно 20,94%), вуглекислого газу (близько 0,04%), аргону та інших інертних газів (близько 0,94%), а також певної кількості водяної пари. Проте, в процесі виробництва в повітря робочих приміщень можуть потрапляти різноманітні шкідливі речовини, що використовуються в технологічних процесах. Гранично допустимі концентрації (ГДК) шкідливих речовин в повітрі робочої зони наведені в таблиці 4.2. Параметри іонного складу повітря на робочому місці, де використовується ПК, повинні відповідати нормам, які визначені в табл. 4.3.

Таблиця 4.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньодобова	
Озон	0,16	0,03	1
Вуглекислий газ (CO ₂)	3	1	4
Пил нетоксичний	10	4	4

Таблиця 2.3 – Рівні іонізації повітря приміщень при роботі на ПК

Рівні	Кількість іонів в 1 см ³	
	n+	n-
Мінімально необхідні	400	600
Оптимальні	1500-3000	3000-5000
Максимально необхідні	50000	50000

Для забезпечення складу повітря робочої зони здійснюється видалення шкідливих речовин, що потрапляють у повітря робочої зони, за рахунок механічної вентиляції. Кількість пилу, що наявна в приміщенні, зменшується за допомогою систематичного вологого прибирання. [34]

4.2.3 Виробниче освітлення

Зоровий аналізатор людини є ключовим елементом у процесі трудової діяльності, і ефективність зорової роботи значною мірою визначається якістю освітлення. Світло чинить вплив не лише на функціонування органів зору, але й на загальний фізіологічний стан людини. Забезпечення належного рівня освітленості сприяє підвищенню якості та швидкості виконання робочих завдань, оскільки полегшує виявлення недоліків та дефектів. Існує пряма кореляція між працездатністю та умовами освітлення. Недостатнє освітлення призводить до посилення напруги зорового апарату, швидкої стомлюваності, виникнення головного болю та може збільшити ризик виробничого травматизму. Згідно ДБН В.2.5-28:2018 в досліджуваному приміщенні необхідно використовувати систему комбінованого освітлення. Норми освітленості при штучному освітленні та КПО при природному та сумісному освітленні для роботи зазначені у таблиці 4.4:

Таблиця 4.4 - Норми освітленості в приміщенні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнення	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фона	Освітленість, лк		КПО, e_n , %			
						Штучне освітлення		Природне освітлення		Сумісне освітлення	
						Комбіноване	Загальне	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове
Високої точності	0,3 -0,5	III	г	великий	світлий	700	300	5	2	3	1,2

У досліджуваному приміщенні природне освітлення забезпечується через віконний отвір, що орієнтований на північний схід. Штучне освітлення реалізовано за допомогою системи загального рівномірного освітлення, де основним джерелом світла є люмінесцентні лампи типу ЛБ. Для підтримання нормативних показників освітленості в приміщенні впроваджено наступні заходи: двічі на рік проводиться очищення віконного скла, що забезпечує максимальне використання природного світла; кожні два місяці здійснюється очищення світильників від пилу, що запобігає зниженню світлового потоку; а також проводиться оперативна заміна ламп, що вийшли з ладу, для підтримання необхідного рівня штучного освітлення. [35]

4.2.4 Виробничий шум

Сучасні виробничі процеси часто характеризуються високим рівнем шуму та вібрації, які можуть негативно позначатися на продуктивності праці та самопочутті працівників. Механічні коливання компонентів обладнання передаються повітрю, сприймаючись людським вухом як звуки. Сукупність

різноманітних звуків, що різняться за частотою та інтенсивністю і викликають неприємні суб'єктивні відчуття, визначається як шум. Вплив шуму на організм людини значною мірою зумовлений впровадженням нового, високопродуктивного обладнання та механізмів, широкою механізацією та автоматизацією виробничих процесів, а також збільшенням швидкостей обертання верстатів та агрегатів. [36]

Допустимі значення звукового тиску та рівня звуку LA для приміщення, де проводилося дослідження, представлені у таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного шуму

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах зі середньгеометричними частинами (Гц)									Допустимий рівень звуку, дБА
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Виробничі приміщення	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Для забезпечення допустимих параметрів шуму в приміщенні передбачено використання звукопоглинаючих матеріалів.

4.2.5 Виробничі випромінювання

До найбільш шкідливих виробничих випромінювань належать іонізуючі, ультрафіолетові та лазерні. Під час розробки радіотехнічної системи дистанційного керування рухомою платформою працівник піддається впливу електромагнітного випромінювання (ЕМВ). З огляду на його потенційний негативний вплив на генетичний фонд та здоров'я людини, ЕМВ підлягає гігієнічному нормуванню відповідно до вимог Державних санітарних норм і правил ДСанПіН 3.3.6.096-2002. Допустимі значення параметрів неіонізуючих електромагнітних випромінювань представлені у таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 - Допустимі значення параметрів неіонізуючих електромагнітних випромінювань

Найменування параметра	Допустимі значення
Напруженість електричної складової електромагнітного поля на відстані 50см від поверхні відеомонітора	10В / м
Напруженість магнітної складової електромагнітного поля на відстані 50см від поверхні відеомонітора	0,3 А / м
Напруженість електростатичного поля не повинна перевищувати: для дорослих користувачів	20кВ / м
для дітей дошкільних установ і що вчаться середніх спеціальних і вищих навчальних закладів	15кВ / м

Для забезпечення безпеки від дії ЕМВ використовують такі заходи:

1. Організаційні заходи: організація робочих місць, оптимальне розміщення технологічного устаткування, розробка гігієнічно-обґрунтованих режимів праці та відпочинку, зменшення часу перебування у зоні опромінення. [37]
2. Технічні заходи: віддалення робочого місця від джерела випромінювання.
3. Лікувально-профілактичні заходи: періодичні медогляди.

4.3 Пожежна безпека

Пожежі в приміщеннях з оргтехнікою становлять особливу небезпеку, оскільки поєднані з великими матеріальними збитками. Пожежа може виникнути при взаємодії горючих речовин і джерел запалювання. Горючими речовинами є будівельні та опоряджувальні матеріали, пластмасові корпуси техніки, шнури тощо. Джерелами запалювання можуть бути електронні схеми комп'ютерів, принтерів, пристроїв електроживлення, де внаслідок різних порушень виникає перегрівання елементів, утворюються електричні іскри та дуги, здатні спричинити займання горючих матеріалів.

Приміщення, у якому виконується робота, відноситься до категорії В, класу П-Па по пожежонебезпеці. До цієї зони відносяться приміщення, у яких використовуються тверді чи волокнисті речовини, нездатні переходити в зважений стан. У приміщенні є пальні речовини: волокнисті (папір), тверді (дерево) пластмаси.

4.3.1 Технічні рішення системи запобігання пожежі

Для запобігання пожежі в приміщенні прийняті такі міри:

- передбачено вільний доступ до мережних рубильників і вимикачів;
- здійснюється інструктаж з пожежної безпеки і періодичний контроль знань про правила пожежної безпеки;
- встановлені два димових сповіщувача;
- заборона використання електронагрівальних приладів;
- двері на шляху руху людей відкриваються назовні;
- у сусідньому коридорі, поруч із приміщенням, знаходиться пожежний кран;
- ширина загального коридору, ширина та висота дверей відповідають нормативним значенням ДБН В.1.1.7-2016;
- призначено відповідального за пожежну безпеку в приміщенні.

4.3.2 Технічні рішення системи протипожежного захисту

З огляду на категорію пожежної небезпеки приміщення, будинки з використанням ПК повинні бути I і II ступеня вогнестійкості (тобто всі конструктивні елементи повинні бути достатньо стійкими до поширення полум'я). Фактично приміщення відповідає цим нормам (основні будівельні матеріали – цегла, бетон, скло).

У коридорах будинку встановлені пожежні крани. Вода використовується для гасіння пожеж у допоміжних службово-побутових приміщеннях. Пожежні крани розташовані на висоті 1,35 м від підлоги в

найбільш доступних місцях. Для гасіння пожежі в початковій стадії його виникнення в приміщенні встановлено 2 вогнегасника: ВП-1 (вогнегасник порошковий 1,3л +- 0,08), відповідно до вимог НАПБ Б.01.008-2018.

У приміщенні використовується система автоматичного пожежогасіння у відповідності до вимог ДБН В.2.5-56:2014. Для подачі сигналів про пожежу у приміщенні встановлено пожежну сигналізацію. На видних місцях розміщені таблички із зазначенням номеру телефону для виклику пожежної охорони та правилами пожежної безпеки. [38]

При обслуговуванні, ремонтних та профілактичних роботах використовуються різні лейкозаймисті рідини, прокладаються тимчасові електропровідники, здійснюється паяння. Виникає додаткова пожежна небезпека, яка потребує відповідних заходів пожежного захисту. До засобів гасіння пожежі, призначених для локалізації невеликих займань, належать вогнегасники, сухий пісок, азбестові ковдри. Проходи до зовнішніх стаціонарних пожежних драбин, пожежного інвентарю, обладнання та засобів пожежогасіння вільні та утримуються справними. [39]

Після закінчення роботи від усіх електроприладів, а також з мереж їх живлення повинна бути відключена напруга (за винятком протипожежних та охоронних установок). Електропроводи для підключення комп'ютерів, приладів повинні прокладені по негорючих конструктивних елементах.

ВИСНОВКИ

У бакалаврській кваліфікаційній роботі було розроблено радіотехнічну систему дистанційного керування рухомою платформою. Основною метою проєкту є створення надійної, гнучкої та економічно доцільної системи керування мобільним пристроєм у режимі реального часу, що дозволяє оператору ефективно керувати рухомим об'єктом на відстані. Така система має широке практичне застосування в галузях оборони, рятувальних операцій, логістики, моніторингу територій, сільського господарства та робототехніки.

У другому розділі було досліджено загальну архітектуру систем дистанційного керування, актуальність проблематики, а також виконано обґрунтування вибору технічних засобів. Було проаналізовано різні бездротові технології зв'язку, зокрема модуляцію, діапазони частот та характеристики 433 МГц радіомодулів. Обрано компоненти системи, включаючи Arduino Nano, приймально-передавальні модулі, двигуни та контролери. Визначено схему взаємодії між передавачем і виконавчим пристроєм рухомої платформи.

У третьому розділі реалізовано програмну частину проєкту. Створено алгоритми для обробки команд керування, їх передачі та прийому. Розроблено код для мікроконтролера у середовищі Arduino IDE. Для верифікації функціональності було використано симуляційне середовище Proteus, у якому здійснено моделювання всієї системи: обробку команд, рух двигунів, зміну напрямку та швидкості. Після успішного моделювання було виготовлено прототип керованої платформи, який продемонстрував стабільність передачі сигналів, точність виконання команд і високу чутливість до операторських дій.

У розділі «Охорона праці» було проаналізовано ризики, пов'язані з експлуатацією електронних систем та роботизованих механізмів. Оцінено параметри робочого середовища відповідно до норм з електробезпеки,

освітленості, мікроклімату, а також вжито заходів щодо мінімізації аварійних ситуацій. Дослідження показало, що організація робочого місця відповідає чинним санітарно-технічним та безпековим вимогам.

Перевагами розробленої системи є модульність, енергоефективність, зручність у користуванні, а також можливість масштабування функціональності в залежності від сфери застосування. Отримання команд у реальному часі, висока точність керування та можливість адаптації під різні типи платформ робить систему придатною для використання як у навчальних цілях, так і в реальних умовах.

Таким чином, реалізація радіотехнічної системи дистанційного керування рухомою платформою підтвердила технічну доцільність та працездатність проєкту. Система може бути впроваджена у різноманітних сферах, де необхідне дистанційне керування мобільними об'єктами, знижуючи потребу у прямій участі людини та підвищуючи ефективність операцій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Іванченко Ю. Л. Системи телемеханіки та радіоуправління. Харків: ХНУРЕ, 2020. 187 с.
2. Banzi M., Shiloh M. Getting Started with Arduino. 4th ed. San Francisco: Maker Media, 2023. 280 p.
3. Бойко А. Ю. Програмування мікроконтролерів для дистанційного керування. Дніпро: НМетАУ, 2023. 189 с.
4. Гриневич О. П. Мікроконтролери Arduino у керуванні роботизованими системами. Львів: ЛНУ, 2021. 143 с.
5. Гурський С. С. Технології зв'язку в робототехнічних платформах. Рівне: НУВГП, 2023. 146 с.
6. Zhang L. Radio-Frequency Systems for Robotics. Hoboken: Wiley, 2023. 220 p.
7. Захарченко В. В. Елементи мехатроніки та робототехнічних систем. Харків: НТУ "ХП", 2021. 208 с.
8. Ковальчук А. В. Модулі 433 МГц в системах дистанційного керування. Одеса: ОНАХТ, 2020. 98 с.
9. Костюк І. М. Основи побудови систем радіокерування. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 154 с.
10. Кульняк А. ESP32 Programming for the Internet of Things. New York: PE Press, 2021. 312 p.
11. Литвиненко С. П. Радіоелектронні пристрої та системи. Київ: НАУ, 2021. 142 с.
12. Lee K., Seshia S. Introduction to Embedded Systems: A Cyber-Physical Systems Approach. 2nd ed. Cambridge: MIT Press, 2020. 460 p.
13. Levis P. Wireless Embedded Sensor Networks. Cambridge: Cambridge University Press, 2024. 270 p.
14. Мельник С. О. Керування кроковими двигунами: Arduino та ESP32. Тернопіль: ТНТУ, 2022. 132 с.

15. Mishra A. RF Communication with Arduino and HC-12 Modules. Birmingham: Packt Publishing, 2021. 190 p.
16. Мороз І. І. Сенсори та виконавчі пристрої в робототехніці. Львів: ЛНТУ, 2022. 164 с.
17. Олійник П. І. Теорія передачі сигналів. Київ: КНУ, 2021. 190 с.
18. Popov A., Ivanov D. Wireless Control of Mobile Robots Using RF Modules. Berlin: Springer, 2022. 236 p.
19. Прокопенко А. В. Цифрові системи керування. Харків: ХАІ, 2020. 180 с.
20. Радіонова Н. І. Основи робототехніки та радіокерування. Запоріжжя: ЗНТУ, 2020. 130 с.
21. Sharma V. IoT-Based Remote-Controlled Vehicle Design. Hoboken: Wiley, 2021. 198 p.
22. Shih Y. Autonomous Vehicles and Wireless Communication. Amsterdam: Elsevier, 2022. 340 p.
23. Ткаченко В. О. Системи радіозв'язку для мобільних платформ. Київ: ДІА, 2022. 212 с.
24. Ульянов Р. М. Мікроконтролери та виконавчі пристрої. Харків: ХНУРЕ, 2023. 160 с.
25. Williams T. RF Circuit Design: Theory and Applications. 2nd ed. New York: McGraw Hill, 2020. 310 p.
26. Черниш В. М. Системи автоматичного регулювання. Львів: ЛНУ, 2022. 168 с.
27. Шевченко М. І. Бездротові технології зв'язку в автоматизованих системах. Харків: УІПА, 2023. 175 с.
28. Наказ від 08.04.2014 № 248 Про затвердження Державних санітарних норм та правил Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу - [Електронний ресурс] - Режим доступу:

http://online.budstandart.com/ua/catalog/topiccatalogua/labor-protection/14._nakazy_ta_rozpor_183575/248+58074-detail.html

29. НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://sop.zp.ua/norm_npaop_0_00-7_15-18_01_ua.php

30. ДСТУ 8604:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги - [Електронний ресурс] - http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=71028

31. ДСан ПіН 3.3.2.007-98 Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин ЕОМ - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/derz-nor4881.html>

32. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>

33. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. [Електронний ресурс] – Режим доступу до сторінки: http://hrliga.com/index.php?module=norm_base&op=view&id=819

34. Правила улаштування електроустановок - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.energiy.com.ua/PUE.html>

35. СанПіН 2.2.4.1294-03 «Фізичні фактори виробничого середовища. Гігієнічні вимоги до аероіонного складу повітря виробничих і громадських приміщень» - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.ionization.ua/issue/iss5.htm>

36. СанПіН 2.2.4.1191-03 «Електромагнітні поля у виробничих умовах» - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.vrednost.ua/2241191-03.php>

37. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885

38. НАПБ Б.01.008-2018 Правила експлуатації та типові норми належності вогнегасників - [Електронний ресурс] - Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=82176

39. ДБН В.2.5-56:2014 Системи протипожежного захисту. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: - [Електронний ресурс] - https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=59526

Додаток А
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ

РАДІОТЕХНІЧНА СИСТЕМА ДИСТАНЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ РУХОМОЮ ПЛАТФОРМОЮ

Виконав: студент 2(4)-го курсу, групи РТ-23мс
спеціальності 172 – Електронні комунікації та
радіотехніка ОП- Радіотехніка

(цифра і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Петриця С.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., ст. викл. каф. ІРТС

Притула М.О.
(прізвище та ініціали)

« 11 »

2025 р.

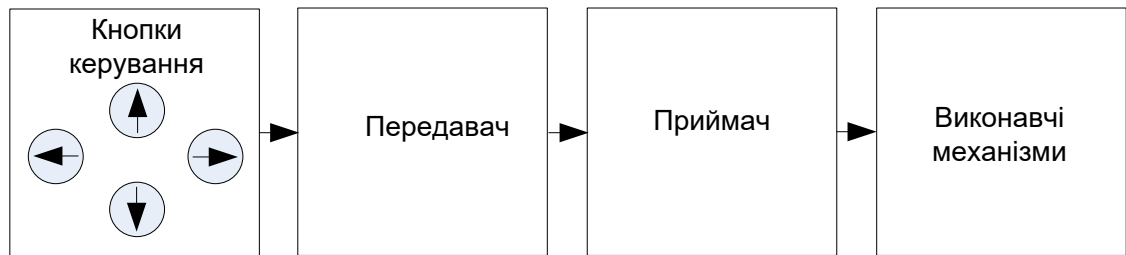


Рисунок 1 – Загальна структурна схема радіотехнічної системи дистанційного керування рухомою платформою

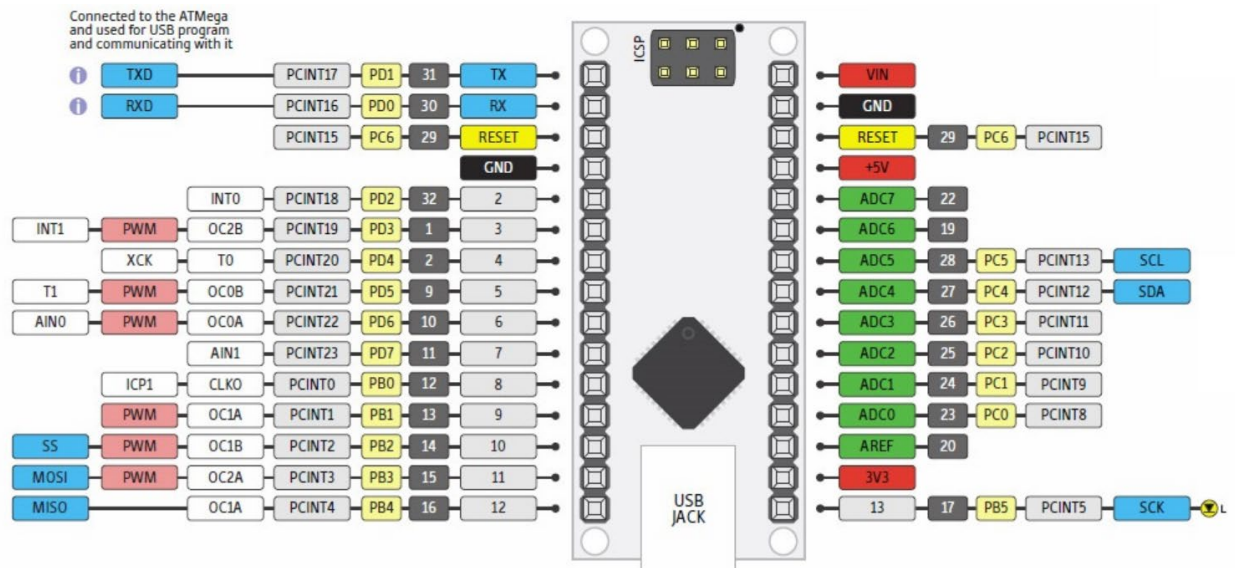


Рисунок 2 – Розпіновка Arduino Nano

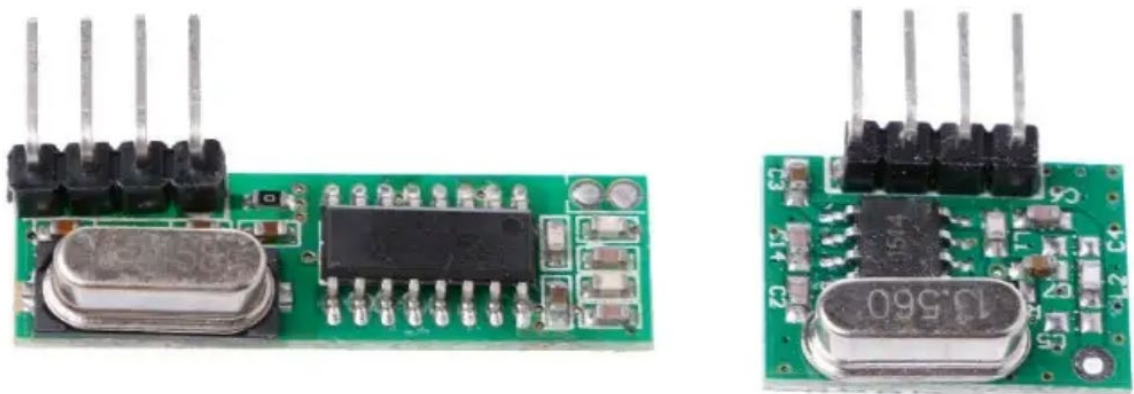


Рисунок 3 – Радіомодулі WL101-341

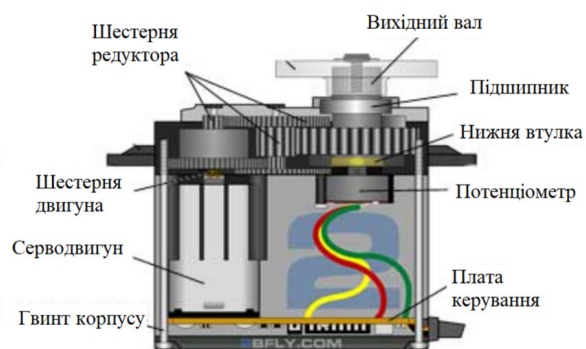


Рисунок 4 - Серводвигун SG90

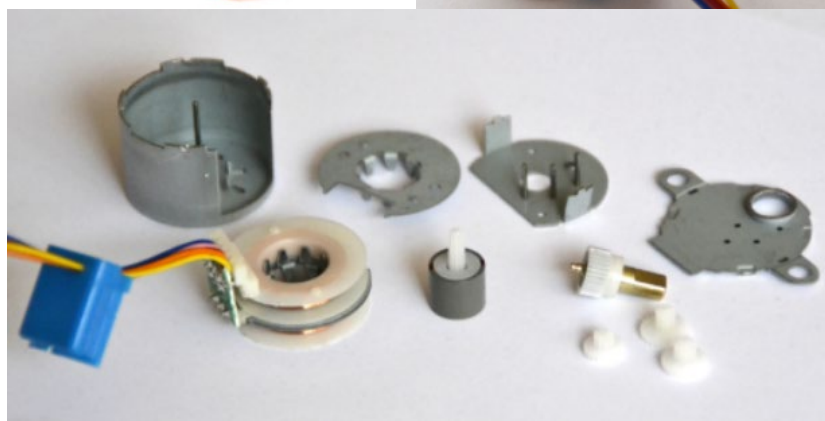
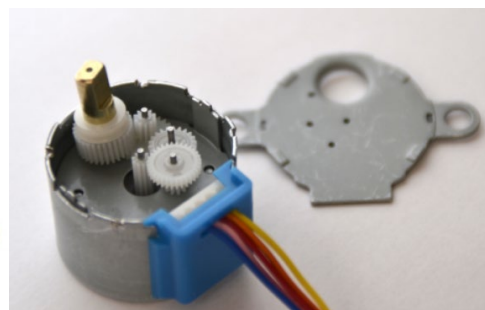


Рисунок 5 - Кроковий двигун 28BYJ-48

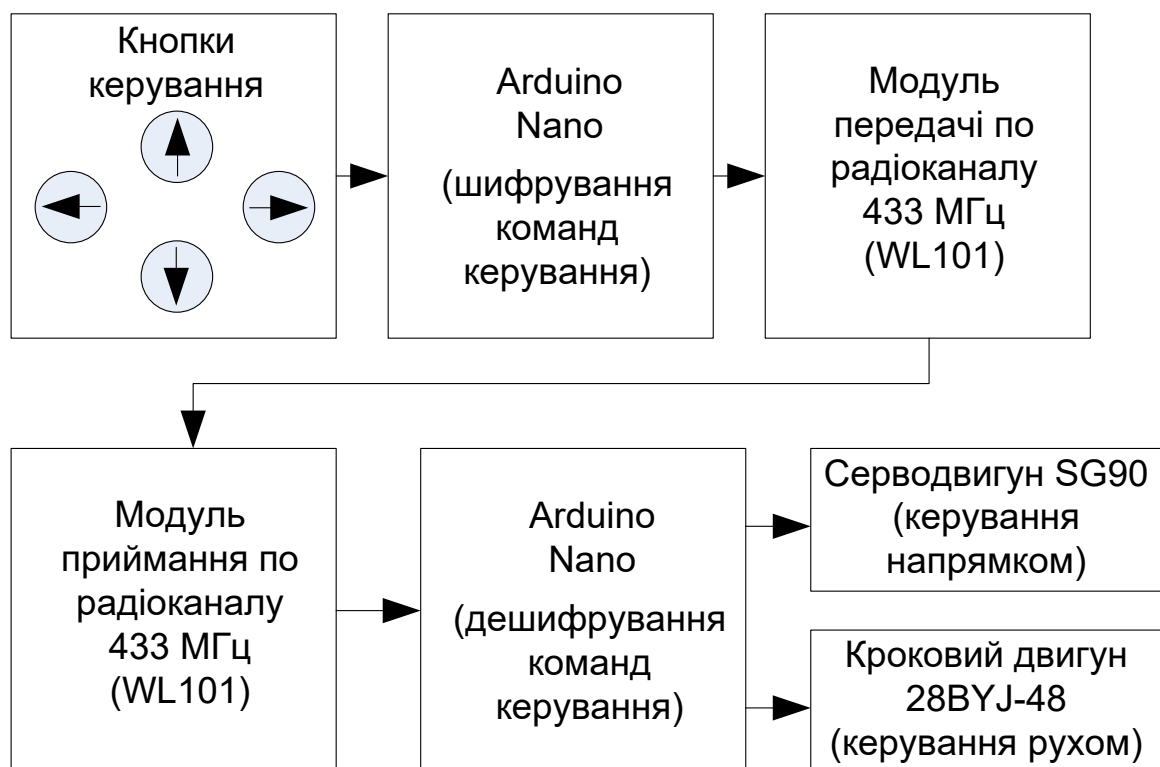


Рисунок 6 – Детальна структурна схема радіотехнічної системи

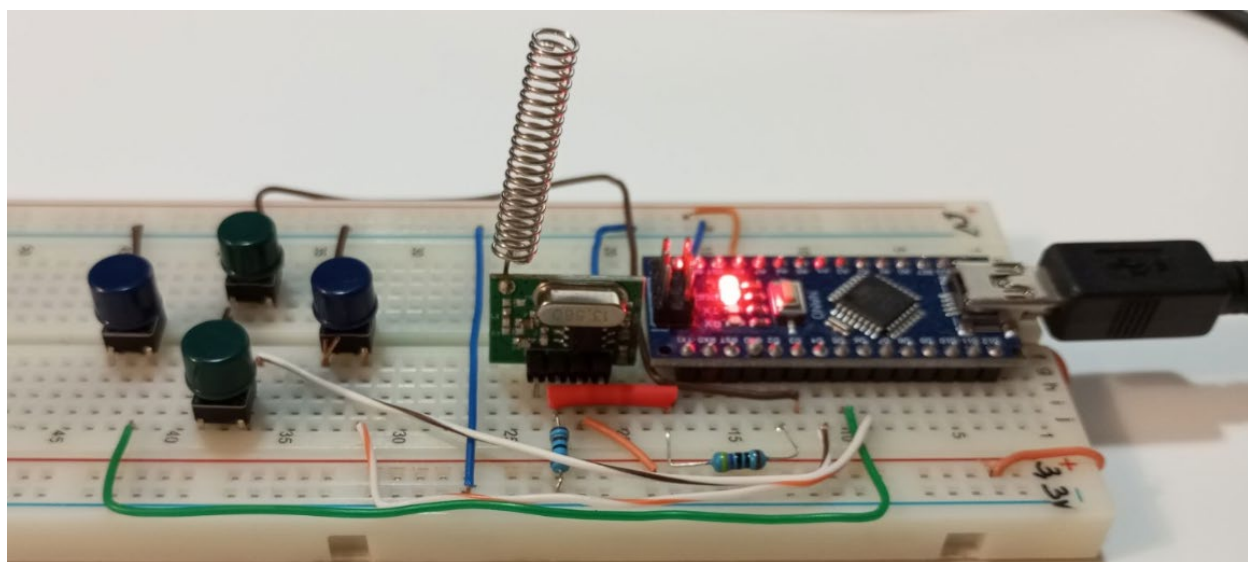
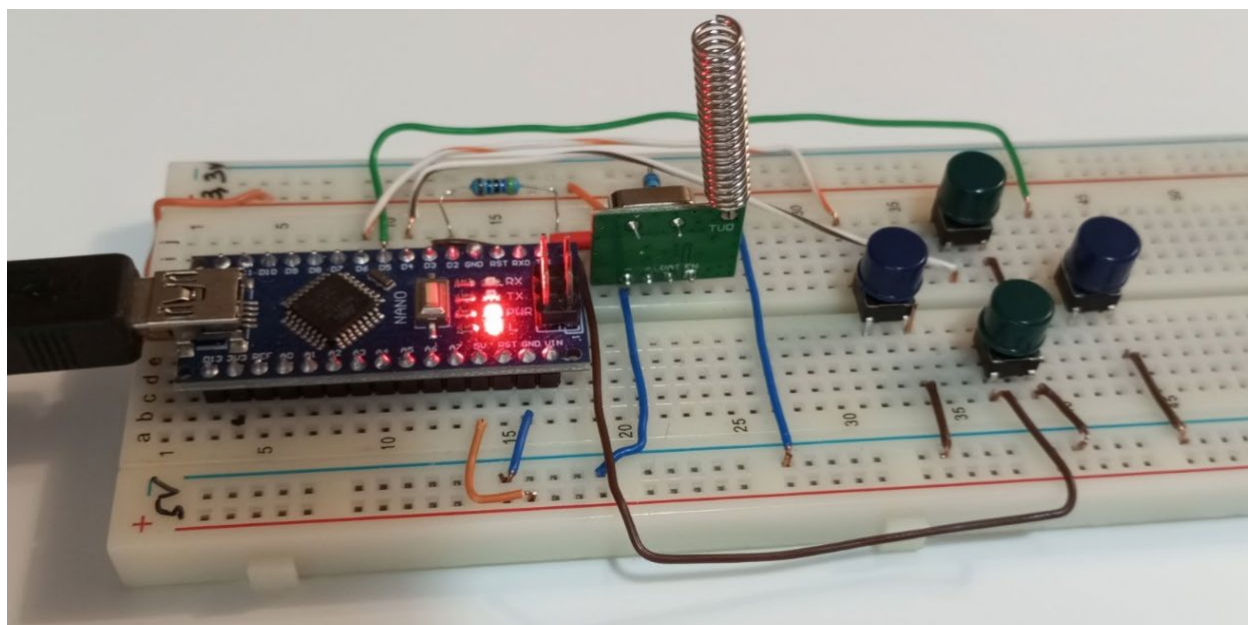


Рисунок 7 – Передавальна складова радіотехнічної системи

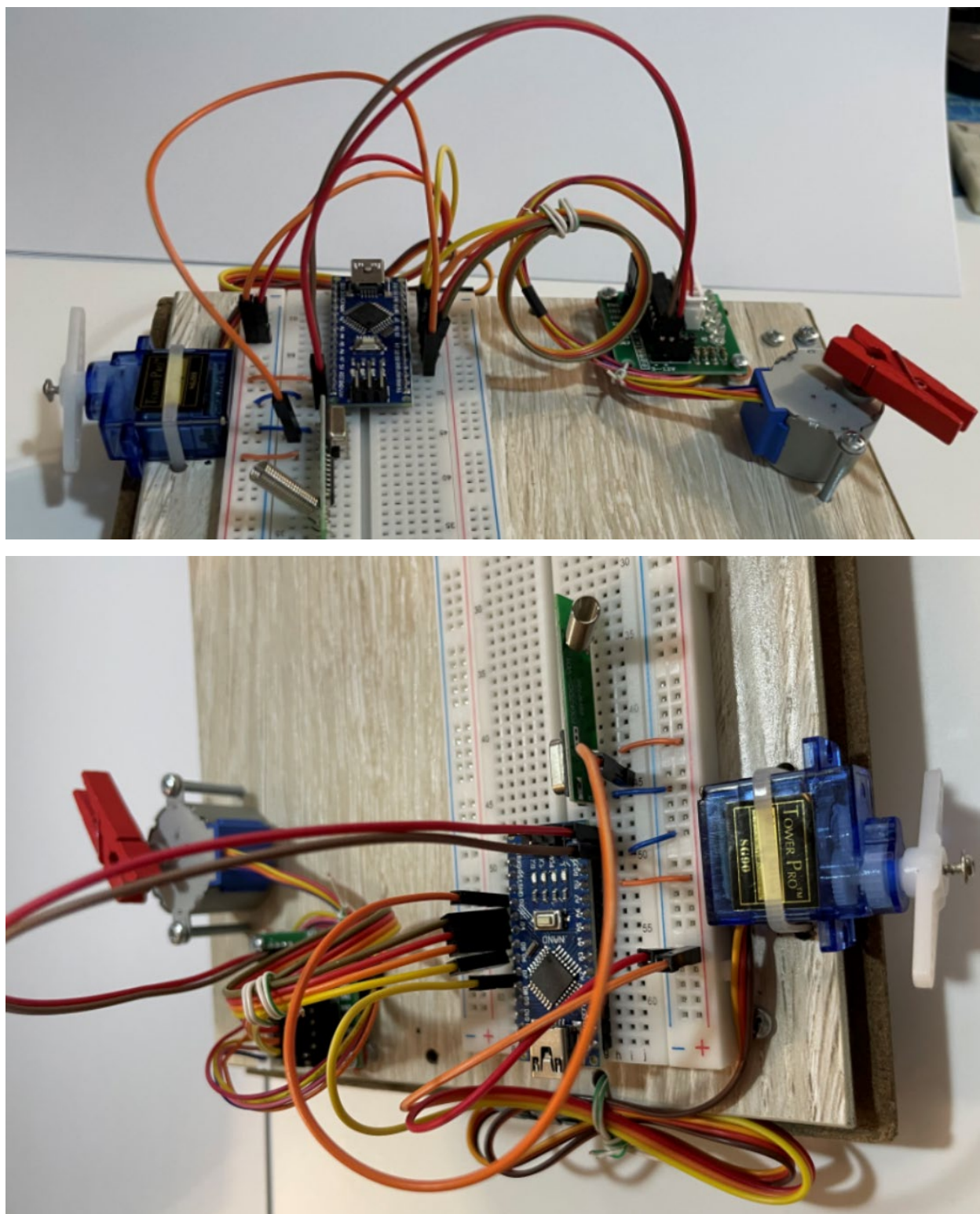


Рисунок 8 – Приймальна складова радіотехнічної системи

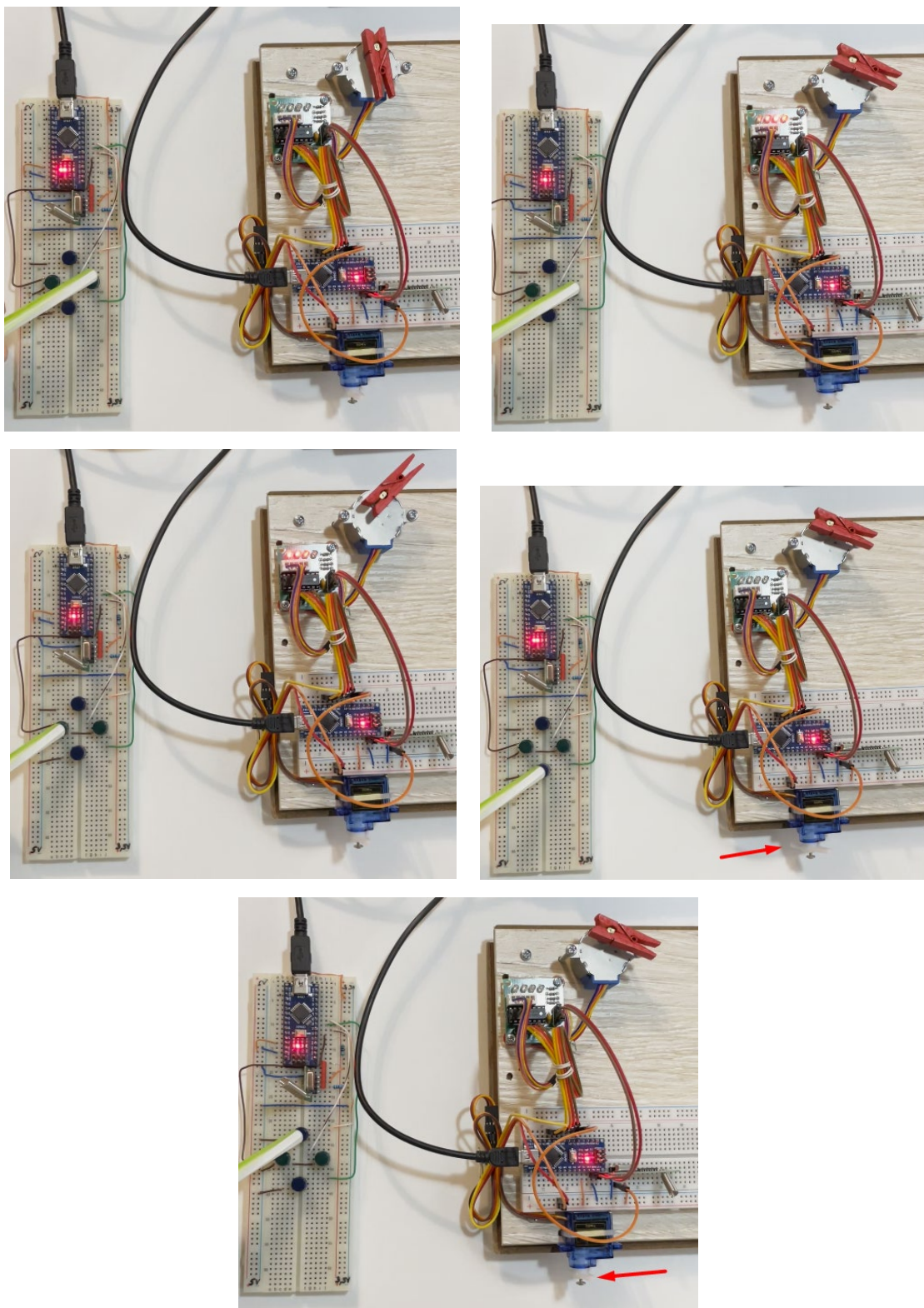


Рисунок 9 – Дослідження експериментального зразка

Додаток Б
(обов'язковий)

**ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ НАВЧАЛЬНОЇ (БАКАЛАВРСЬКОЇ)
КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

**РАДІОТЕХНІЧНА СИСТЕМА ДИСТАНЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ
РУХОМОЮ ПЛАТФОРМОЮ**

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: «Радіотехнічна система дистанційного керування рухомою платформою»

Тип роботи: Бакалаврська кваліфікаційна робота
(бакалаврська кваліфікаційна робота / магістерська кваліфікаційна робота)

Підрозділ Кафедра ІРТС
(кафедра, факультет, навчальна група)

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі
системою StrikePlagiarism 11,17%

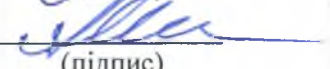
Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

- ☒ Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту
- ☐ У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.
- ☐ У роботі виявлено ознаки плагіату та/або текстових маніпуляцій як спроб укриття плагіату, фабрикації, фальсифікації, що суперечить вимогам законодавства та нормам академічної доброчесності. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

Воловик А.Ю. – д.т.н., доцент каф. ІРТС
(прізвище, ініціали, посада)

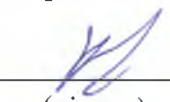
Осадчук О.В. – д.т.н., професор, зав. каф. ІРТС
(прізвище, ініціали, посада)


(підпис)

(підпис)

Особа, відповідальна за перевірку 
(підпис)

Семенов А.О.
(прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник 
(підпис)

Притула М.О. – к.т.н., ст. викл., каф. ІРТС
(прізвище, ініціали, посада)

Здобувач 
(підпис)

Петриця С.В.
(прізвище, ініціали)