

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))

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

**«ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА
МОНІТОРИНГУ РУХУ НА ОБ'ЄКТІ»**

Виконав: студент 2-го курсу, групи КІВТ-24м
спеціальності 175 – Інформаційно -
вимірювальні технології

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)


Гавриш М.С.
(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент каф. ІРТС
Притула М.О.

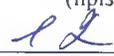
(прізвище та ініціали)

«15»  2025 р.

Опонент: к.т.н., доцент каф. ІКСТ

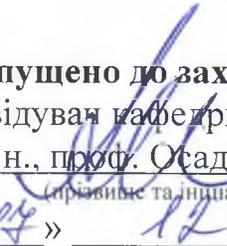

Стальченко О.В.

(прізвище та ініціали)

«16»  2025 р.

Допущено до захисту
Завідувач кафедри ІРТС
д.т.н., проф. Осадчук О.В.

(прізвище та ініціали)

«17»  2025 р.

Факультет інформаційних електронних систем
Кафедра інформаційних радіоелектронних технологій і систем
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань – 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації
Спеціальність – 175 Інформаційно-вимірювальні технології
Освітньо-професійна програма – Комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІРТС

д.т.н., проф. Осадчук О.В.

«16» вересня 2025 року

З А В Д А Н Н Я **НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Гаврисю Максиму Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Інформаційно-вимірювальна система моніторингу руху на об'єкті»

керівник роботи к.т.н., доцент кафедри ІРТС Притула М.О.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 24.09.2025 р. №313.

2. Строк подання студентом роботи 15.12.2025р.

3. Вихідні дані до роботи: Напруга живлення – 5 В. Струм споживання – 400...1000 мА. Діапазон визначення відстані – 20...100 см. Похибка вимірювання – до ± 1.7 см. Порогове значення спрацьовування – 20...30 см. Час обробки інформації – 0,01...0,1 с. Кут повороту сервоприводу – 0...180°.

4. Зміст текстової частини: Вступ. Аналіз сучасних систем моніторингу руху. Розробка системи моніторингу руху. Моделювання роботи дослідного зразку. Економічна частина. Висновки. Список використання джерел. Додатки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Принцип роботи мікрохвильових сенсорів. Принцип роботи ультразвукових сенсорів. Модель роботи інформаційно-вимірювальної системи моніторингу руху на об'єкті. Елементи інформаційно-вимірювальної системи моніторингу руху на об'єкті. Структурна схема логічних взаємозв'язків системи. Зібраний дослідний зразок. Результати досліджень: повідомлення в консолі. Результати досліджень дослідного зразку.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Основна частина	Притула М.О. к.т.н., доцент каф. ІРТС		
Економічна частина	Кавецький В.В. доцент каф. ЕПВМ, доцент, к.е.н.		

7. Дата видачі завдання 16.09.2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Вибір, узгодження та затвердження тем МКР на випусковій кафедрі.	02.09.2025-05.09.2025	
2.	Огляд та аналіз літературних джерел.	07.09.2025-14.09.2025	
3.	Затвердження тем по ВНТУ. Розробка завдання на МКР.	15.09.2025-28.09.2025	
4.	Попередня розробка основних розділів. Аналіз вирішення поставленої задачі. Розробка структурної схеми та технічних рішень.	30.09.2025-20.10.2025	
5.	Математичне моделювання та електричні розрахунки. Експериментальне дослідження.	21.10.2025-03.11.2025	
6.	Розробка ілюстративної частини МКР.	28.10.2025-01.11.2025	
7.	Економічна частина.	02.11.2025-12.11.2025	
8.	Оформлення пояснювальної записки та ілюстративної частини.	13.11.2025-17.11.2025	
9.	Нормоконтроль.	29.11.2025-03.12.2025	
10.	Попередній захист МКР, доопрацювання, рецензування МКР.	04.12.2025-17.12.2025	
11.	Захист МКР ЕК.	18.12.2025-19.12.2025	

Студент


(підпис)

Гаврись М.С.

Керівник роботи


(підпис)

Притула М.О.

АНОТАЦІЯ

УДК 621.391

Гаврись М.С. Інформаційно-вимірювальна система моніторингу руху на об'єкті. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 175 – інформаційно-вимірювальні технології, освітня програма – комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні технології. – Вінниця: ВНТУ, 2025. – 124 с. На українській мові. Бібліогр.: 32 назв; Табл. 8; Рис. 18.

У магістерській кваліфікаційній роботі проведено дослідження та розроблено інформаційно-вимірювальну систему моніторингу руху на об'єкті з використанням мікрокомп'ютера Raspberry Pi 5. У першому розділі виконано аналіз існуючих систем моніторингу. У другому розділі розроблено структурну та функціональну схему інформаційно-вимірювальної системи, обґрунтовано вибір основних апаратних компонентів — RFID-зчитувача MFRC522, ультразвукового сенсора HC-SR04, сервоприводів та крокових двигунів. Детально описано принцип взаємодії між сенсорами, виконавчими механізмами та центральним контролером Raspberry Pi 5, а також розроблено алгоритми програмного забезпечення для моніторингу руху, ідентифікації об'єктів та автоматичного керування шлагбаумами.

Розроблена система може бути застосована для організації контролю руху на підприємствах, у паркових зонах, логістичних центрах та інших об'єктах, де необхідна автоматизована ідентифікація та моніторинг транспортних засобів.

Ключові слова: інформаційно-вимірювальна система, Raspberry Pi 5, RFID, ультразвуковий сенсор, сервопривід, кроковий двигун, моніторинг руху, шлагбаум, автоматизація.

ABSTRACT

Havrys M.S. Information and Measurement System for Motion Monitoring at an Object. Master's Qualification Thesis in specialty 175 – Information and Measurement Technologies, educational program – Computerized Information and Measurement Technologies. – Vinnytsia: Vinnytsia National Technical University, 2025. – 124 p. In Ukrainian. Bibliography: 32 titles; Tables: 8; Figures: 18.

In the master's qualification thesis, research and development of an information and measurement system for motion monitoring at an object using the Raspberry Pi 5 microcomputer were carried out. The first chapter presents an analysis of existing motion monitoring systems. The second chapter describes the development of the structural and functional diagram of the information and measurement system, as well as the rationale for selecting the main hardware components — the MFRC522 RFID reader, the HC-SR04 ultrasonic sensor, servo drives, and stepper motors. The principles of interaction between sensors, actuators, and the central controller Raspberry Pi 5 are described in detail, along with the development of software algorithms for motion monitoring, object identification, and automatic control of barriers.

The developed system can be used to organize motion control at enterprises, in parking areas, logistics centers, and other facilities where automated identification and monitoring of vehicles are required.

Keywords: information and measurement system, Raspberry Pi 5, RFID, ultrasonic sensor, servo drive, stepper motor, motion monitoring, barrier, automation.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ РУХУ	11
1.1 Основні критерії сенсорів руху.....	11
1.2 Класифікація сенсорів, що застосовуються для моніторингу руху	25
1.3 Аналіз сучасних систем моніторингу руху	34
1.4 Висновки до розділу	40
2 РОЗРОБКА СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ РУХУ	43
2.1 Розробка загальної структури	43
2.2 Розробка алгоритму системи.....	45
2.3 Вибір контролера.....	47
2.4 Вибір RFID модуля для системи.....	49
2.5 Вибір ультразвукового сенсору для системи	52
2.6 Вибір електромеханічних механізмів	56
2.7 Розробка детальної структури системи.....	65
2.8 Розробка програмного забезпечення	67
2.9 Висновки до розділу	73
3 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ДОСЛІДНОГО ЗРАЗКУ	74
3.1 Конструктивно-технічна частина дослідного зразку	74
3.2 Розроблення програмного забезпечення та налагодження	77
3.3 Тестування, калібрування та оцінювання роботи системи.....	79
3.4 Висновки до розділу	84
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	87
4.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки	87
4.2 Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи.....	88
4.3 Оцінювання важливості та наукової значимості науково-дослідної роботи фундаментального чи пошукового характеру.....	89
4.4 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної	

розробки при її можливій комерціалізації потенційним інвестором.....	100
4.5 Висновки до розділу	104
ВИСНОВКИ	107
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	109
Додаток А (обов'язковий) Ілюстративний матеріал.....	112
Додаток Б (обов'язковий) Протокол перевірки навчальної (магістерської) кваліфікаційної роботи.....	118
Додаток В (довідниковий). Лістинг програми	120

ВСТУП

Актуальність

Актуальність теми «Інформаційно-вимірювальна система моніторингу руху на об'єкті» обумовлена стрімким розвитком технологій автоматизації, інтелектуального керування та цифрових систем спостереження. У сучасних умовах безпеки, транспорту, логістики та промисловості особливого значення набувають системи, здатні в реальному часі здійснювати контроль за переміщенням транспортних засобів, персоналу або технічних об'єктів.

Підприємства, транспортні вузли, логістичні центри та охоронювані території дедалі частіше потребують автоматизованих систем, які можуть ідентифікувати об'єкти, фіксувати їх переміщення та забезпечувати безпечний і впорядкований рух. Такі системи сприяють підвищенню ефективності управління, зменшенню людського фактору та покращенню загального рівня безпеки.

Сучасні інформаційно-вимірювальні системи поєднують апаратні сенсорні компоненти з програмними засобами обробки даних, що дозволяє отримувати високоточну інформацію про рух об'єктів. Застосування мікрокомп'ютерів, таких як Raspberry Pi, значно розширює функціональні можливості таких систем завдяки високій обчислювальній потужності, гнучкості налаштування та підтримці широкого спектра периферійних пристроїв.

Технології радіочастотної ідентифікації (RFID) у поєднанні з ультразвуковими датчиками забезпечують ефективне розпізнавання об'єктів і точне вимірювання відстаней. Такий підхід дозволяє створювати системи, які одночасно здійснюють контроль доступу, моніторинг руху та аналіз просторових даних у режимі реального часу.

Автоматизовані системи моніторингу руху застосовуються у сфері транспортної безпеки, пропускнуго контролю, на парковках, промислових майданчиках та в “розумних” інфраструктурах. Висока точність визначення

положення об'єктів, швидкість реагування та стабільність роботи системи є критичними факторами її ефективності.

Широке використання одноплатних комп'ютерів, таких як Raspberry Pi 5, дає змогу інтегрувати сенсорні модулі, приводи та алгоритми аналізу в компактну, енергоефективну і надійну платформу. Це відкриває нові можливості для створення інтелектуальних систем контролю руху, здатних до автономної роботи та адаптації до змін середовища.

Аналіз останніх досліджень

Останні наукові дослідження спрямовані на створення інтегрованих систем спостереження, що поєднують сенсорні модулі, RFID-ідентифікацію та аналітичні алгоритми для точного контролю переміщення об'єктів.

Широкого застосування набули ультразвукові, інфрачервоні та лазерні сенсори, які дозволяють здійснювати моніторинг рухомих об'єктів у різних середовищах. Дослідники також приділяють увагу комбінованим підходам, які підвищують надійність і точність вимірювань.

Завдяки високій продуктивності, підтримці інтерфейсів GPIO, I2C, SPI та UART, мікрокомп'ютери Raspberry Pi стали популярною основою для побудови систем моніторингу, управління й аналізу даних у режимі реального часу.

Розвиток бібліотек Python, таких як gpiozero та RPi.GPIO, забезпечив можливість створення ефективних алгоритмів для збору, обробки та візуалізації даних, а також для реалізації систем автоматичного реагування на зміну стану об'єктів.

Сучасні інформаційно-вимірювальні системи інтегруються у концепцію “розумних” середовищ, забезпечуючи збирання та обмін даними між різними пристроями через мережеві протоколи, що сприяє побудові єдиних цифрових екосистем моніторингу.

Метою роботи є розробка інформаційно-вимірювальної системи моніторингу руху на об'єкті, яка забезпечує автоматичне виявлення,

ідентифікацію та контроль переміщення об'єктів у реальному часі з використанням сучасних мікрокомп'ютерних технологій.

Об'єктом дослідження є процес моніторингу руху та ідентифікації об'єктів за допомогою сенсорних і радіочастотних технологій у складі мікрокомп'ютерної системи.

Предметом дослідження є методи побудови, алгоритми роботи та програмна реалізація інформаційно-вимірювальної системи моніторингу руху на базі Raspberry Pi 5, RFID та ультразвукових сенсорів.

Наукова новизна полягає у розробці структурно-програмної моделі інформаційно-вимірювальної системи моніторингу руху, яка об'єднує вимірювальні, керуючі та аналітичні функції в єдиному комплексі.

Запропоновано модифікований алгоритм обробки сенсорних даних для підвищення точності визначення положення об'єктів і скорочення часу реакції системи під час зміни умов руху.

1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ РУХУ

1.1 Основні критерії сенсорів руху

Автоматизація простих, але повторюваних дій поступово стає характерною рисою сучасного технологічного розвитку. Для цього зовсім не обов'язково впроваджувати повноцінні системи типу «розумного дому» чи інші комплексні інтелектуальні рішення. У багатьох випадках достатньо встановлення декількох сенсорних пристроїв, здатних виконувати базові функції — автоматичне вмикання освітлення, відкривання дверей або воріт, регулювання роботи обладнання залежно від присутності людини, активацію охоронної сигналізації тощо.

Основна перевага подібних систем полягає у їхній компактності, простоті монтажу та можливості бездротового підключення. Це забезпечує високу гнучкість у виборі моделей, адаптованих до конкретних умов експлуатації. Експерти у сфері домашньої автоматизації виділяють п'ять ключових критеріїв, які слід враховувати при виборі сенсорів і реле:

- 1) Умови експлуатації — параметри середовища, у якому функціонуватиме сенсор, а іноді й кероване ним обладнання.
- 2) Потужність підключених пристроїв — допустиме навантаження, що може підтримувати система.
- 3) Кут огляду та радіус дії сенсора — просторові характеристики виявлення руху або змін у середовищі.
- 4) Час реакції та кількість проміжних режимів роботи — швидкість спрацьовування та гнучкість налаштування.
- 5) Тип з'єднання — дротовий або бездротовий спосіб підключення.

Найважливішим фактором під час вибору сенсорного обладнання є умови його подальшої експлуатації. У значній кількості випадків сенсори встановлюються на відкритому повітрі або у приміщеннях із підвищеною

вологістю, запиленістю чи перепадами температур — наприклад, у коридорах, під'їздах чи під стелею передпокою. Тому вирішальним критерієм на початковому етапі вибору є ступінь пило та волого захищеності пристрою.

1.1.1 Класи захисту

Система Ingress Protection (IP), визначена міжнародним стандартом ІЕС 60529, використовується для кодування рівня захисту електронного обладнання від впливу зовнішніх факторів — пилу, твердих частинок і вологи. Позначення IP супроводжується двома цифрами:

- перша цифра характеризує ступінь захисту від проникнення твердих частинок (пилу, піску, механічних включень тощо);

- друга цифра вказує на рівень стійкості до впливу води або конденсату.

Розглянемо детальніше особливості найбільш поширених класів захисту, що застосовуються у побутових та промислових системах автоматизації, зокрема у сенсорних пристроях, реле та контролерах «розумного дому».

IP20 — мінімальний базовий рівень захисту

Пристрої класу IP20 призначені для експлуатації виключно у сухих, чистих і захищених від протягів приміщеннях. Потрапляння води або навіть підвищена вологість можуть призвести до короткого замикання чи деградації електронних компонентів. Аналогічно, накопичення пилу або піску в корпусі здатне спричинити перегрів чи блокування оптичних сенсорів.

Механічна стійкість таких корпусів невисока: вони витримують лише легкі дотики чи випадкові удари, проте не розраховані на фізичні навантаження або вібрацію. Через це IP20 найчастіше застосовується у побутовій електроніці, офісних сенсорах або всередині розподільчих шаф.

IP40 — підвищена пилозахищеність

Клас IP40 характеризується помітним покращенням герметичності. Пристрої ефективно протидіють проникненню дрібних частинок розміром понад 1 мм, тому всередину корпусу не потрапляє пил, пісок або комахи.

Водночас вологозахист практично відсутній, що обмежує застосування таких пристроїв лише сухими приміщеннями без конденсату.

Типовими сферами використання IP40 є освітлювальні системи у громадських будівлях, охоронні панелі, контролери доступу та інші пристрої, які розміщуються у закритих умовах.

IP41 — базовий рівень захисту від вологи

Даний клас поєднує пилозахищеність попередньої категорії з мінімальним рівнем вологостійкості. Пристрої IP41 здатні функціонувати за умов помірної вологості повітря або утворення конденсату на поверхні корпусу. Це робить їх придатними для встановлення у під'їздах, коридорах та на сходових клітинах, де можливі перепади температури.

Найчастіше сенсори цього типу використовуються у схемах автоматичного вмикання освітлення, що реагують на рух людини або зміну освітленості.

IP44 — універсальні для внутрішнього та зовнішнього використання

Моделі IP44 є одними з найпоширеніших у побутовому сегменті завдяки оптимальному співвідношенню захисту від пилу та вологи. Вони надійно ізольовані від бризок, дощу та снігу, тому можуть використовуватись як у приміщеннях, так і на вулиці.

Рекомендовано, однак, монтувати такі пристрої під навісами або у місцях, де вологість має непрямий характер впливу. Корпуси IP44 мають посилену механічну міцність, стійкі до дрібних ударів і коливань температури. Вони широко застосовуються у системах безпеки, зовнішньому освітленні та контролі доступу.

IP54 — підвищена надійність у запилених середовищах

Пристрої з індексом IP54 демонструють ще вищий рівень герметичності. Вони захищені не лише від бризок, а й від безпосереднього впливу пилових потоків чи піску. Навіть у разі потрапляння невеликої кількості частинок всередину корпусу працездатність залишається незмінною.

Такі сенсори придатні для експлуатації у складських приміщеннях, на виробничих ділянках або зовнішніх територіях із високим рівнем запиленості. У порівнянні з попередніми класами, IP54 забезпечує стабільну роботу при зміні кліматичних умов і має збільшений термін служби.

IP55 — максимальний захист для побутового використання

Клас IP55 належить до найвищого рівня захисту серед пристроїв масового споживчого сегмента. Йому не страшні пил, дощ, сніг або потоки води, що стікають по корпусу. Це дозволяє використовувати такі пристрої без додаткових захисних елементів навіть у відкритому просторі — наприклад, на стовпах, фасадах чи огорожах.

Сенсори IP55 відзначаються довговічністю, герметичністю та стабільною роботою в умовах сезонних коливань температур. Вони широко застосовуються у приватних домоволодіннях, на замських ділянках, у теплицях або господарських спорудах.

IP65 та IP67 — високий промисловий стандарт

Ці класи представляють професійний рівень захисту, що використовується у спеціалізованих і промислових середовищах. Пристрої IP65 здатні витримувати сильні водяні струмені, не допускаючи проникнення пилу всередину корпусу.

IP67 забезпечує ще більшу герметичність — пристрій може бути короткочасно занурений у воду без втрати функціональності. Подібне обладнання застосовується у складних кліматичних умовах: у холодильних камерах, гірських або прибережних регіонах із високою вологістю, а також у виробничих цехах, де присутні агресивні реагенти, пари розчинників або абразивний пил.

Ці стандарти гарантують стабільність роботи сенсорів навіть за екстремальних температур та у вибухонебезпечних середовищах, що робить їх незамінними у промисловій автоматизації, енергетиці та транспортних системах.

Таким чином, рівень захисту корпусу електронного пристрою безпосередньо визначає можливості його застосування, довговічність та безпечність експлуатації. Правильний вибір класу IP повинен ґрунтуватися на ретельному аналізі умов середовища, інтенсивності використання та вимог до надійності системи.

Використання пристроїв із недостатнім рівнем захисту може призвести до передчасного виходу з ладу, тоді як надмірний рівень — до невиправданого збільшення вартості. Отже, оптимізація вибору IP-класу є важливим етапом у проектуванні систем автоматизації та побутової електроніки.

1.1.2 Гранична потужність

Параметр граничної підключуваної потужності є одним із ключових показників, що визначає функціональні можливості сенсорних пристроїв у системах автоматизації. Він характеризує сумарну електричну потужність навантаження, яку здатен комутувати сенсор під час роботи. Важливо розуміти, що сенсор не є звичайним вимикачем із додатковим детектором руху — його конструкція передбачає наявність напівпровідникових або електромеханічних елементів, розрахованих на певний рівень електричного струму.

Відповідно, перед підключенням будь-якого обладнання необхідно заздалегідь визначити загальну потужність усіх приладів, що планується комутувати, та співвіднести її з допустимими параметрами конкретної моделі сенсора. Для невеликого побутового освітлювального приладу, наприклад нічника або лампи локального підсвічування, достатньо пристрою з мінімальною потужністю. Натомість для автоматизованого освітлення великого виробничого приміщення, складу або фасаду будівлі, де використовується кілька десятків джерел світла, необхідна високопотужна модель із підвищеною пропускнуою здатністю комутаційного елемента.

Сучасні моделі сенсорів руху та реле умовно поділяють на три основні групи залежно від максимально допустимого навантаження:

- 1) Малопотужні — 10–100 Вт.

Використовуються переважно у побутових цілях, для освітлення невеликих приміщень, кімнат, коридорів, сходових клітин або декоративного підсвічування.

2) Середньої потужності — 100–600 Вт.

Придатні для керування групами освітлювальних приладів середнього рівня або побутовим електрообладнанням з помірним енергоспоживанням.

3) Високопотужні — 600–2500 Вт.

Застосовуються переважно у промислових або зовнішніх системах, наприклад, для керування освітленням великих територій, прожекторами, електроприводами воріт чи насосами систем поливу.

З поширенням світлодіодних (LED) джерел світла потреба у використанні високопотужних моделей сенсорів значно зменшилася. Завдяки високому коефіцієнту енергоефективності, LED-технології дозволяють досягти яскравості, еквівалентної десятку ламп розжарювання потужністю 100 Вт кожна, при споживанні лише близько 100 Вт електроенергії. Таким чином, навіть при керуванні великим числом світильників сенсори малопотужного або середнього класу часто виявляються цілком достатніми.

У той же час у приватних домоволодіннях або на замських ділянках нерідко застосовують пристрої середньої потужності, особливо коли мова йде про освітлення периметра, підсвічування садових доріжок або контроль роботи прожекторів. Крім того, значного навантаження потребують електроприводи воріт, системи автоматичного поливу, вентиляційні установки та регулювальні механізми, що функціонують лише за наявності людини.

У більшості випадків споживачі можуть без труднощів самостійно визначити необхідну потужність сенсора, виходячи з кількості підключених приладів і їхніх номінальних характеристик. Проте важливо враховувати, що зазначене виробником значення граничної потужності стосується сумарного навантаження, яке комутується одночасно.

Якщо сенсор має кілька режимів роботи (наприклад, денний, нічний або комбінований), розрахунок слід проводити для найвищого рівня

енергоспоживання серед усіх режимів. Ігнорування цього чинника може призвести до перегріву або пошкодження комутаційних елементів, що, у свою чергу, скорочує термін служби пристрою.

Отже, гранична підключувана потужність є визначальним технічним параметром, який забезпечує узгодженість між функціональними можливостями сенсора та характеристиками електричного навантаження. Рациональний вибір сенсора передбачає не лише аналіз номінальної потужності приладів, але й урахування типу джерел енергії, режимів роботи та особливостей системи керування. Дотримання цих вимог гарантує стабільну, безпечну й енергоефективну роботу автоматизованих систем.

1.1.3 Кути огляду та радіус дії

Принцип дії більшості сучасних сенсорів руху ґрунтується на реєстрації теплового випромінювання, яке надходить від живих об'єктів і сприймається інфрачервоним (ІЧ) сенсором. Такі пристрої фіксують зміну інтенсивності інфрачервоного потоку у межах своєї зони чутливості, що дозволяє визначити факт переміщення людини або тварини.

Поряд із цим на ринку представлені комбіновані моделі, що реагують не лише на теплове випромінювання, а й на звукові коливання (наприклад, кроки або удари), мікрохвильові сигнали чи зміну електромагнітного поля. Проте у більшості випадків навіть такі багатофункціональні пристрої продовжують використовувати ІЧ-детектори як основний канал виявлення, оскільки саме вони забезпечують найбільш точне та енергоефективне визначення присутності.

Ефективність роботи сенсорів значною мірою залежить від правильного просторового розташування. Будь-які завади на шляху ІЧ-променів — навіть прозоре скло, полікарбонат або тонка плівка — можуть частково або повністю блокувати передачу сигналу. До спотворення показань також призводять відбиття теплового випромінювання від блискучих поверхонь, потоки теплового

повітря від опалювальних приладів чи кондиціонерів, а також рухи штор або рослин.

Практичні дослідження показують, що лише приблизно у 30% випадків можливо розмістити сенсори так, щоб вони охоплювали максимально можливу площу, визначену їхньою конструкцією. Тому у більшості ситуацій рекомендується використовувати щонайменше два сенсори, розташовані у стратегічних зонах приміщення для забезпечення повного покриття без утворення «мертвих зон».

З метою усунення ділянок, не охоплених чутливістю приладу, доцільно розміщувати сенсори не напроти один одного, а на суміжних стінах. Така конфігурація дозволяє мінімізувати зони перекриття та, відповідно, розширити ефективне поле детекції. Невеликий нахил корпусу сенсора (до 15–20°) дає змогу скоригувати напрямок чутливості, оптимізувавши просторове охоплення.

У великих або витягнутих приміщеннях встановлення лише одного сенсора зазвичай є недостатнім, оскільки радіус його дії має конструктивні обмеження. Для повного контролю за рухом у таких просторах доцільно створювати мережу сенсорів, які працюють у спільній системі управління.

Кут огляду визначає просторову область, у межах якої сенсор здатен виявляти зміни теплового випромінювання. Для стельових моделей цей показник може досягати 360° у горизонтальній площині, що забезпечує всебічне охоплення зони під пристроєм. Такі сенсори доцільно використовувати у центральних частинах приміщення або у відкритих просторах.

Настінні моделі мають менший сектор огляду — зазвичай до 180°, а іноді й менше. Тому їх рекомендується розташовувати так, щоб у поле детекції потрапляв дверний проріз або основна траєкторія руху людей. Монтаж сенсора у місцях, де рух відбувається поза межами його «конуса огляду», може спричинити затримку спрацьовування або повну відсутність реакції.

Що стосується радіуса дії, він варіюється залежно від типу і призначення приладу:

- для побутових моделей — від 3 до 6 метрів;
- для професійних та розширених версій — до 15 метрів;
- для промислових систем — до 50 метрів і більше.

Таким чином, параметри кута огляду та радіуса дії є визначальними при виборі сенсорів руху та їх розташуванні у просторі. Їхнє правильне узгодження з архітектурними особливостями приміщення дозволяє мінімізувати ризик «сліпих зон» та підвищити точність виявлення. Раціональне розміщення сенсорів, урахування відбиттів, напрямку руху людей і рівня чутливості дають змогу забезпечити стабільну, надійну та енергоефективну роботу систем автоматизації.

1.1.4 Час спрацьовування

На перший погляд може здаватися, що часові параметри сенсорів — зокрема затримка ввімкнення чи вимкнення — мають другорядне значення. Однак їхнє місце у загальній ієрархії характеристик зумовлене тим, що коректна робота сенсора неможлива без урахування попередніх технічних факторів, таких як клас захисту корпусу, допустиме навантаження, кут огляду та радіус дії. Саме після їх оптимального налаштування виникає потреба у точному регулюванні часу спрацьовування.

Більшість сучасних моделей дозволяють користувачу самостійно задавати часові параметри реакції, що підвищує універсальність і зручність експлуатації. Затримка на вмикання у таких пристроях становить лише кілька мілісекунд, що забезпечує миттєву реакцію — швидшу навіть за ручне натискання вимикача. У деяких випадках передбачено режим «випередження»: якщо сенсор зорієнтований на дверний проріз або зону проходу, він реагує на появу людини ще до її повного входження у приміщення, фіксуючи зміну інфрачервоного випромінювання від тіні чи руху ніг.

Водночас слід зазначити, що регулювання цього параметра доступне не у всіх моделях, особливо в бюджетному сегменті, де виробники часто фіксують часові значення на заводському рівні.

Функція затримки вимкнення освітлення є стандартною майже для всіх сучасних сенсорів руху. Вона дозволяє залишати світло увімкненим певний час після того, як рух у зоні дії сенсора припинився. Це особливо актуально для приміщень транзитного типу — довгих коридорів, сходових клітин, галерей або прохідних кімнат, де людина перебуває короткий проміжок часу.

За допомогою спеціального регулятора — мініатюрної ручки або коліщатка на корпусі — користувач може встановити бажаний інтервал вимкнення, який зазвичай коливається у таких межах:

- для прохідних зон — 5–10 секунд, чого достатньо, щоб перейти до сусіднього приміщення;
- для житлових кімнат, кухонь або офісів — 1–7 хвилин, оскільки перебування у цих зонах триваліше;
- для громадських місць (сходи, під'їзди, арки, підземні переходи) — 30 секунд – 2 хвилини, що забезпечує баланс між комфортом і енергоефективністю.

Оптимальне налаштування цього параметра дозволяє суттєво скоротити споживання електроенергії, особливо у системах ЖКГ, де автоматичне освітлення часто використовується у місцях з періодичним рухом людей.

У ранніх версіях сенсорів руху існувала характерна проблема — миттєве вимкнення світла після закінчення встановленого часу, незалежно від фактичної присутності людини у приміщенні. Таке рішення створювало незручності, особливо у місцях тривалого перебування.

У сучасних моделях цей недолік усунений завдяки адаптивним алгоритмам продовження таймера: система автоматично переносить момент вимкнення, якщо сенсор повторно фіксує найменші ознаки руху. Таким чином, навіть під час статичної діяльності (наприклад, при читанні або роботі за комп'ютером) освітлення не гасне раптово, а продовжує працювати до моменту, коли людина дійсно залишає зону детекції.

Ще одне важливе вдосконалення сучасних систем — інтеграція сенсора мінімальної освітленості (LUX-сенсора). Цей елемент дозволяє автоматично

блокувати вмикання освітлення у денний час або за достатнього природного світла.

Порогове значення освітленості може бути:

- або заздалегідь заданим виробником;
- або налаштовуваним користувачем через додаткове коліщатко на корпусі.

Таке рішення забезпечує енергоощадність та автоматичну адаптацію системи до умов середовища, зменшуючи кількість непотрібних спрацьовувань.

При встановленні сенсорів руху на відкритому повітрі особливу увагу приділяють налаштуванню чутливості. У даному випадку мета полягає не у регулюванні рівня освітлення, а у визначенні, на які рухи система повинна реагувати.

Надмірна чутливість може призвести до хибних спрацьовувань — при проїзді автомобілів, появі перехожих за межами ділянки або русі тварин. Навпаки, занадто низька чутливість може призвести до запізненого реагування або його відсутності. Щоб уникнути цього, рекомендується встановлювати мінімальний час утримання об'єкта у полі зору, наприклад 2–3 секунди. У цьому разі світло вмикатиметься лише тоді, коли об'єкт залишається у межах зони детекції достатньо довго (наприклад, людина стоїть біля паркану або воріт), а не при випадковому русі.

Крім того, сучасні сенсори враховують розмір теплової плями — тобто площу джерела інфрачервоного випромінювання. Це дозволяє ігнорувати дрібних об'єктів, таких як птахи чи коти, забезпечуючи стабільну роботу системи без помилкових реакцій.

Таким чином, регулювання часу спрацьовування, затримки вимкнення, освітленості та чутливості — це комплекс взаємопов'язаних параметрів, що визначають ефективність і точність роботи сенсорів руху. Їх грамотне налаштування дозволяє досягти оптимального балансу між комфортом користувача, енергоефективністю та надійністю системи. Сучасні сенсорні технології не лише виконують базову функцію детекції руху, а й формують

інтелектуальну систему керування освітленням, здатну адаптуватися до поведінки людини та умов навколишнього середовища.

1.1.5 Тип підключення

Тип підключення сенсорних пристроїв є одним із ключових параметрів, що визначає зручність експлуатації, стабільність роботи та гнучкість системи автоматизації. На сучасному етапі розвитку технологій бездротові системи комунікації поступово витісняють традиційні провідні з'єднання, що зумовлено як технічними, так і економічними чинниками.

Основна перевага бездротових моделей полягає у відсутності потреби прокладати десятки метрів кабелю, здійснювати складні монтажні роботи або додатково захищати лінії живлення. Установлення таких пристроїв потребує мінімального втручання в інтер'єр чи конструкцію будівлі: достатньо просто закріпити модуль у потрібній зоні та забезпечити живлення. За потреби бездротовий сенсор можна легко перемістити або перепризначити, що робить систему гнучкою й мобільною.

Провідні системи відіграли ключову роль у становленні технологій автоматизації, продемонструвавши їхню ефективність і надійність. Проте в умовах сучасного розвитку електроніки вони вже не відповідають вимогам мобільності та універсальності. Їх головна перевага — постійне живлення від мережі 220 В, яке усуває потребу в періодичній заміні або підзарядці батарей.

У решті аспектів дротові системи поступаються бездротовим: вони потребують більше часу та коштів на монтаж, обмежують можливість зміни конфігурації мережі та є менш гнучкими при оновленні. Саме тому сьогодні як фахівці, так і користувачі-практики дедалі частіше обирають бездротові сенсорні рішення, що повністю відповідають тенденціям розвитку «розумного дому» та концепції енергоефективності.

У більшості систем зв'язок між сенсорами, приймачами та контролерами здійснюється радіохвильовим методом. Найпоширенішими є частоти 433 МГц

та 866 МГц, які забезпечують стабільну передачу сигналу без взаємних завад із побутовою технікою або Wi-Fi-мережами.

Бездротовий сигнал у стандартних моделях може передаватися на відстань 50–200 метрів, залежно від потужності передавача, особливостей архітектури будівлі та наявності завад. У разі значного екранування (стіни, металеві перегородки, побутова техніка) ефективний радіус дії зменшується, тому для покращення якості зв'язку застосовуються радіопідсилювачі (репітери).

Для додаткового захисту даних деякі виробники впроваджують алгоритми шифрування радіосигналу, що підвищує рівень безпеки систем охорони та сигналізації.

На сучасному етапі бездротові технології найактивніше використовуються у системах безпеки, сигналізації та моніторингу, де відсутність кабельних з'єднань спрощує розгортання обладнання на великій території. У той же час освітлювальні системи здебільшого залишаються дротовими, оскільки для живлення потужних світильників або прожекторів передача енергії через бездротовий канал технічно недоцільна. У побутових умовах прокладання коротких дротових відгалужень від розподільчої коробки залишається оптимальним рішенням.

Дротові сенсори під'єднуються безпосередньо до мережі, що забезпечує стабільне живлення й не потребує програмного налаштування. У бездротових моделях, навпаки, зв'язок між елементами системи встановлюється через джамперні перемички або шляхом автоматичної радіопари (binding), коли користувач натискає спеціальну кнопку для синхронізації. Такий підхід забезпечує гнучкість у конфігурації: зв'язок можна у будь-який момент розірвати, оновити або перепризначити функції пристрою.

Для побудови комплексних охоронних систем застосовуються моделі з комбінованими каналами зв'язку, які поєднують радіосигнал і GSM-технології. У таких пристроях передбачено слот для SIM-карти, аналогічний до мобільного

телефону. Це дає змогу передавати сповіщення користувачу незалежно від відстані чи кількості завад.

У разі виявлення несанкціонованого проникнення система може зателефонувати власнику або надіслати SMS-повідомлення, що значно підвищує рівень безпеки.

Серед найбільш популярних рішень останніх років — пасивні інфрачервоні (PIR) детектори, які відзначаються низьким енергоспоживанням і високою точністю. Вони зазвичай мають кут огляду 100–120° і радіус дії 13–15 метрів, що дозволяє ефективно використовувати їх як у внутрішніх приміщеннях, так і на відкритих ділянках (наприклад, на стовпах чи фасадах будівель).

Провідні моделі живляться безпосередньо від мережі 220 В, що гарантує стабільну роботу без обслуговування.

Бездротові сенсори, натомість, використовують автономні джерела живлення — батарейки типу «Крона» або акумулятори.

Деякі сучасні моделі оснащуються вбудованими сонячними панелями, які забезпечують підзарядку в денний час. Це рішення є особливо актуальним у важкодоступних місцях або у зовнішніх умовах, де заміна елементів живлення є складною.

Таким чином, поєднання енергоефективних технологій живлення, низького енергоспоживання ІЧ-сенсорів та бездротового зв'язку створює умови для тривалої автономної роботи систем.

Порівняльний аналіз показує, що бездротові системи підключення поступово стають стандартом для сучасних сенсорних пристроїв. Їхня мобільність, простота монтажу, адаптивність і здатність до інтеграції у мережеві рішення роблять їх оптимальними для побутових, промислових та охоронних застосувань.

Проте у випадках, де потрібна висока потужність або безперервне живлення, дротові моделі залишаються більш доцільними. У перспективі ж розвиток комбінованих технологій (радіо + GSM + Wi-Fi) створить передумови

для формування єдиних інтелектуальних мереж автоматизації, здатних забезпечити не лише контроль руху, а й комплексне управління енергоспоживанням та безпекою об'єктів.

1.2 Класифікація сенсорів, що застосовуються для моніторингу руху

Системи виявлення руху класифікуються за фізичним принципом дії їхніх первинних перетворювачів. Кожен клас сенсорів характеризується специфічними параметрами — чутливістю, точністю, завадостійкістю, енергоспоживанням, просторовою селективністю — що визначають доцільність застосування у конкретних умовах. Вибір технології має ґрунтуватися на оцінці операційного середовища (температура, освітленість, електромагнітний фон), геометрії простору (розмір, перепони, маршрути руху) та вимог до безпеки (рівень ризику, допустима кількість хибних тривог, інтеграція з шифрованими каналами зв'язку тощо).

1) Інфрачервоні сенсоры (ІЧ / пасивні ІЧ, PIR)

Фізичний принцип. PIR-сенсор — це піроелектричний елемент, що реєструє динамічні зміни теплового випромінювання у спектральному діапазоні переважно 8–14 мкм (теплове випромінювання людського тіла). Оптичний вузол формують Френелеві лінзи або дзеркальні сегменти, які поділяють простір на зони. Коли теплий об'єкт перетинає межі зон, на виході елемента виникає різницевий сигнал. Візуально принцип роботи показаний на рис. 1.1.

Розглянемо будову інфрачервоного сенсора (рис. 1.2), який складається з: піро-елементу PIR, що реагує на зміну фізичних параметрів навколишнього середовища;

польового транзистора T1, який виступає в ролі електронного ключа;

шунтуючого резистора R1, підключеного паралельно до піро-елемента.

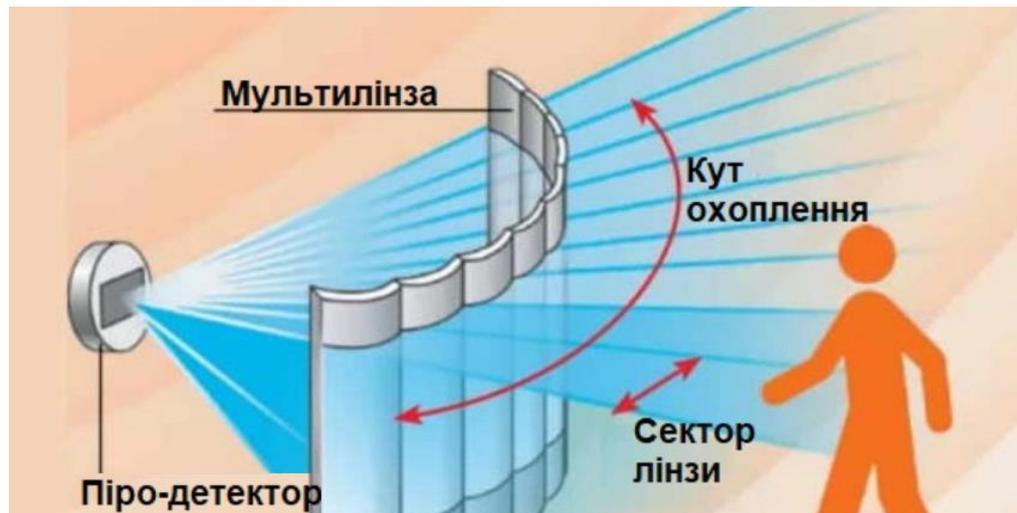


Рисунок 1.1 – Принцип роботи PIR-сенсора

Принцип дії полягає в здатності піро-матеріалу змінювати власні характеристики в залежності від ступеня теплового випромінювання, що потрапляє на нього.

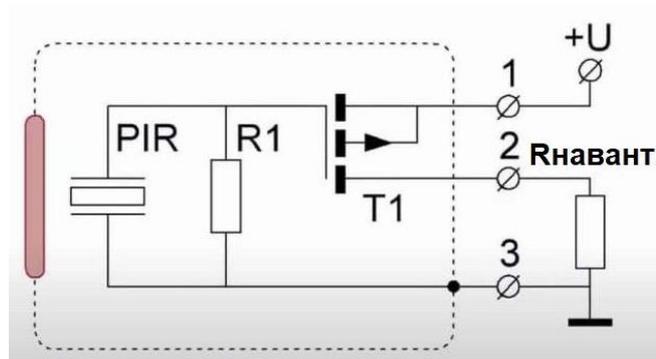


Рисунок 1.2 - Схема піроелектричного сенсора руху

Світловий потік зменшує опір піро-елемента PIR і через нього приходить сигнал на відкриття польового транзистора. В такому стані струм буде протікати через навантаження, в ролі якої може виступати котушка реле або інший логічний елемент. У разі появи людини або іншого об'єкта в області дії сенсора, світловий потік перерветься і перестане впливати на піро-елем. Це призведе до спрацювання автоматики, що видає відповідний сигнал про виникнення руху.

Переваги:

- Дуже низьке споживання (типово сотні мікроампер у черговому режимі), тривала автономна робота в бездротових системах.
- Проста конструкція, висока надійність, помірна вартість.
- Добра селективність до людської присутності за умови правильної оптики й висоти монтажу.

Недоліки та обмеження:

- Лінія видимості: непрозорі завади (стіни, двері, жалюзі) блокують ІЧ-випромінювання; через скло детекція не працює.
- Термальна близькість: при малому градієнті температури між тілом та фоном (спека/прохолода) амплітуда сигналу падає.
- Повільний рух: при дуже низькій кутовій швидкості зміни сигналу можуть бути недостатні для порога спрацьовування.
- Джерела тепла та інсоляція: сонячні зайчики, теплові конвекції від батарей/кондиціонерів провокують хибні тривоги.

Інженерні практики.

- Висота монтажу 2,2–2,5 м; орієнтація так, щоби людина рухалася поперек зон, а не «в лоб».
- Використання температурної компенсації (Т-comp) і цифрових фільтрів (АС-купірування, порогова обробка за $\Delta T/\Delta t$).
- Імунітет до тварин: масо-габаритні фільтри (типові пороги ~15 кг), аналіз геометрії теплової плями, подавлення низькочастотних коливань.

2) Мікрохвильові сенсори (MW)

Фізичний принцип. Активний радіолокатор безперервного випромінювання (CW) на X- або K-діапазоні (поширено ~10,525 або ~24 ГГц).

Принцип роботи мікрохвильових сенсорів показаний на рис. 1.3.

Рух об'єкта породжує Доплерівський зсув частоти відбитого сигналу; електроніка виділяє Δf та інтерпретує його як рух. Для оцінки дальності застосовують FMCW або імпульсні методи, однак у більшості охоронних сенсорів використовується саме швидкісна індикація.

Переваги:

- Висока чутливість до мінімальних переміщень; стабільність у широкому температурному та світловому діапазонах.
- Проникність крізь тонкі завади: гіпсокартон, дерев'яні двері, полікарбонат, де PIR «сліпне».
- Великі зони покриття; ефективність у «складних» середовищах (холодильні склади, теплі цехи).

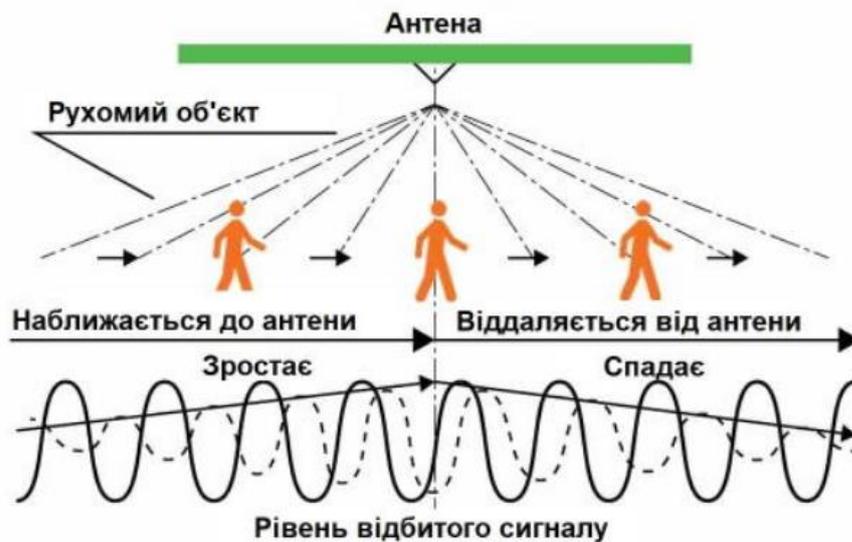


Рисунок 1.3 – Принцип роботи мікрохвильових сенсорів

Недоліки та обмеження:

- Може «бачити зайве» за межами приміщення (крізь стіни/скло) → потребує зонного налаштування та екранування.
- Вища чутливість до ЕМЗ (електромагнітних завад), більша споживана потужність і вартість, ніж у PIR.
- Потреба у грамотному заземленні та фільтрації живлення.

Практичні поради.

- Використання металевих або композитних екранів/коробів для формування сектра чутливості.
- Компенсація фонового дрейфу (AGC), налаштування порогів для мінімізації «далеких» спрацювань.

3) Ультразвукові сенсори

Фізичний принцип. Активна ехолокація у діапазоні ≈ 40 кГц: випромінювач генерує хвилю, приймач аналізує зсув фази/час затримки/амплітуду відбиття. Рух змінює акустичну картину поля, що реєструється обробкою.

Принцип роботи ультразвукових сенсорів показаний на рис. 1.4.



Рисунок 1.4 – Принцип роботи ультразвукових сенсорів

Переваги:

- Незалежність від освітлення та термоконтрасту; висока чутливість до повільних рухів і мікропереміщень (жести, нахили).
- Можливість «бачити» за частково екранувальними предметами, де ІЧ має «тіні».

Недоліки та обмеження.

- Чутливість до аеродинаміки (потоки від вентиляції, рух штор), складні відбиття у «гладких» кімнатах.
- Потенційний дискомфорт для тварин (собаки, гризуни) у близьких діапазонах.
- Вища ціна та вимоги до акустичної оптимізації приміщення.

Налаштування.

- Кут/позиціонування для мінімізації стоячих хвиль; коригування порогів в залежності від «живого» шумового фону.
- Періодична калібровка після змін меблювання/акустики.

4) Комбіновані (гібридні) сенсори

Архітектура. Найчастіше — зв'язка PIR + MW із логікою «AND» (верифікація цілі двома незалежними фізичними каналами). Можливі варіанти PIR + ультразвук, PIR + відеоаналітика, а також тритехнологічні вузли з антимаскінгом (виявлення заклюювання/фарбування оптики).

Переваги:

- Суттєве зниження хибних спрацювань за рахунок сенсорного злиття (sensor fusion) і кореляційних правил.
- Гнучке профілювання під сценарії: у «складних» кімнатах MW активується лише після первинного PIR-тригера.

Інженерні нюанси.

- Правильний добір часових вікон узгодженості (наприклад, MW має підтвердити подію в межах Δt після PIR).
- У великих просторах — сегментація на кілька зон із незалежною логікою та різними порогоми.

5) Вібраційні сенсори

Принцип. Механічні коливання перетворюються на електричний сигнал (п'єзокераміка, MEMS-акселерометри). Ставляться на конструктивні елементи, де очікуються спроби злому: сейфи, дверні полотна, віконні рами, металеві огорожі.

Переваги:

- Висока чутливість саме до подій типу «свердління», «удар», «розпил» — те, що важко надійно ідентифікувати об'ємними сенсорами.
- Проста інтеграція у периметральний захист.

Недоліки та обмеження:

- Потрібне тонке порогове налаштування: вітер, грім, транзитні вібрації можуть імітувати атаку.
- Для великих конструкцій — бажане зонування та аналіз спектра вібрацій (виділення характерних частот інструмента).

б) Томографічні сенсори

Принцип. Мережева конфігурація з кількох вузлів-передавачів/приймачів формує радіохвильову «сітку» у приміщенні. Зміни у просторово-частотному профілі поля при переміщенні людини виявляються методами статистичної/машинної обробки.

Переваги:

- Непомітність і відсутність вимог до прямої видимості; працездатність «крізь простір» і навіть крізь стіни (у межах нормативів).
- Стійкість до локальних завад: система оцінює глобальну картину поля, а не окремий промінь.

Виклики.

- Потребують калібрування під конкретне приміщення; чутливі до великих перестановок металевих предметів.
- Вища вартість і складність мережевої синхронізації/алгоритмів.

7) Відеосенсори руху (відеоаналітика)

Принцип. Аналіз змін у послідовності кадрів (background subtraction, оптичний потік, motion vectors з кодеків), класифікація об'єктів ML/DL (людина/авто/тварина), ROI-зони, маски, лічильники перетинів. Нічна робота — через ІЧ-підсвітку або низьколюксні сенсори.

Переваги:

- Висока інформативність: не лише «рух», а й тип об'єкта, напрямок, швидкість, трек.
- Економія сховища за рахунок подієвого запису, гнучкі правила (розклад, чутливість, фільтри дрібних об'єктів).

Недоліки та обмеження:

- Залежність від стабільного живлення та мережі (QoS), потреба у належній кібербезпеці (шифрування, оновлення ПЗ).
- Складні сцени (дощ/сніг/павутиння/комахи на лінзі) потребують ретельного тюнінгу масок і адаптивних порогів.

Особливості використання сенсорів в системах

1) Геометрія та покриття.

- Для PIR обирайте висоту 2,2–2,5 м; орієнтуйте так, щоб траєкторія йшла вздовж секторів. Критичні зони: коридори, сходові марші, «вузькі місця».
- MW сенсори екранізуйте у напрямках, де небажана «прозорість» крізь стіни/вікна; застосовуйте зменшені потужності та вузькі антени, якщо можливо.
- Ультразвук — уникайте прямого впливу вентиляційних потоків; враховуйте акустичні «гарячі точки».

2) Джерела хибних тривог і запобігання.

- Електроживлення: фільтрація стрибків напруги, блискавкозахист, коректне заземлення.
- Алгоритми: дебаунсінг, часові вікна підтвердження, багатосенсорне «AND», адаптивні пороги (AGC/ABLC).
- Середовище: виключити пряме сонячне світло на PIR, маскувати зони з рухомими завісами для ультразвуку, обмежити MW-сектор там, де рух ззовні.

3) Нормативи й захищеність.

- Ступені захисту IP (наприклад, IP44 для вулиці/вологих зон) і класи середовища за EN 50131 (Grade 1–4).
- Тампер-захист (контакти розкриття корпусу/відриву від стіни), антимаскінг для оптики.
- Зв'язок — шифровані протоколи (AES у радіоканалі), контроль цілісності, резервування каналів.

4) Експлуатація та обслуговування.

- Періодичні тести (щоквартально/після ремонту); логування подій для аналізу хибних тривог.
- Для батарейних пристроїв — моніторинг рівня заряду, очікуваний ресурс 1–5 років залежно від технології.
- Перечищення оптики PIR/камер від пилу, перевірка кріплень вібраційних сенсорів, актуальність прошивок відеоаналітики.

Критерії для вибору:

- Низька вартість / автономність: PIR.
- Складні термальні умови / прихована детекція кризь тонкі завади: MW або гібрид PIR+MW.
- Повільні рухи / присутність у «гладких» інтер'єрах: ультразвук (з урахуванням тварин).
- Периметральний захист конструкцій: вібраційні сенсори (з правильним пороговим налаштуванням).
- Аналітика об'єктів / архівація подій: відеодетекція з ML-фільтрами.
- Високий рівень безпеки / низька толерантність до хибних тривог: комбіновані системи з верифікацією та антимаскінгом.

Рекомендації щодо розміщення:

- Уникайте «обхідних» траєкторій. Проектуйте так, щоб нападник неминуче перетинав хоча б одну зону контролю.
- Перекриття зон. У довгих коридорах розміщуйте кілька сенсорів з 10–20% взаємним перекриттям, щоб виключити «мертві» сегменти.

- Вертикальна селективність. Для двохпроменевих активних бар'єрів встановлюйте нижній промінь на висоті 30-40 см, верхній - 70–80 см.
- Кут встановлення камер. Для відео — 15–25° вниз від горизонталі, щоб мінімізувати засвіт від прожекторів та видимість уночі.
- Клімат. На вулиці обирайте сенсори з розширеним діапазоном температур, підігрівом (проти конденсату) та антибліковими козирками.
- Тварини й фауна. Маскуйте нижній сектор PIR там, де ймовірні коти/собаки; у відео використовуйте фільтри «animal».
- Кібербезпека. Для мережевих пристроїв — унікальні паролі, відключення зайвих сервісів, оновлення прошивок, сегментація VLAN.

Таким чином, розмаїття технологій детекції дозволяє побудувати багаторівневу охоронну систему під конкретні сценарії ризику. У типових житлових об'єктах базову ефективність забезпечує PIR за умови коректного монтажу та зваженого вибору оптики. Для підвищення стійкості до середовищних факторів і зменшення хибних тривог доцільно застосовувати гібридні PIR+MW рішення. Спеціалізовані задачі (периметр/сейфи/конструкції) розв'язуються вібраційними сенсорами, а потреба в детальній ідентифікації — відеоаналітикою. Ключ до надійності — правильна інженерія: геометрія зон, якісне живлення, кіберзахист, регулярні тести та обслуговування.

1.3 Аналіз сучасних систем моніторингу руху

Сучасні системи моніторингу руху служать для автоматичного виявлення переміщення об'єктів (людей, транспортних засобів, тварин тощо) у контрольованих зонах із метою безпеки, енергозбереження або аналітики руху. Вони поєднують кілька технологій — оптичне відеоспостереження,

інфрачервоні сенсори, радіохвильові модулі, ультразвук, а також алгоритми штучного інтелекту та хмарні сервіси.

Ключові характеристики цих систем включають:

- чутливість (мінімальний рух, що фіксується),
- точність (мінімум хибних спрацьовувань),
- дальність дії та зона покриття,
- інтелектуальна обробка сигналів (фільтрація шумів, класифікація об'єктів),
- можливість інтеграції у мережі (IoT, хмарні рішення, API).

Розглянемо конкретні приклади систем, що ілюструють застосування цих підходів на практиці.

Відеоаналітика на базі систем штучного інтелекту

Одним із провідних напрямів є системи відеомоніторингу з вбудованими алгоритмами Computer Vision / Deep Learning. Вони дозволяють не просто виявляти рух, а й класифікувати об'єкти — відрізнити людей від тварин чи автомобілів, виявляти підозрілу поведінку, рахувати кількість людей, аналізувати маршрути пересування тощо.

Приклад: Hikvision AcuSense

- Технологія AcuSense інтегрує алгоритми глибокого навчання прямо в камери та відеореєстратори.
- Система здатна розрізнити людей, транспортні засоби та інші рухомі об'єкти, що дозволяє зменшити кількість хибних тривог (наприклад, через листя на вітрі чи тварин)
- Також AcuSense підтримує функції «периметричного захисту», коли камера реагує, якщо об'єкт пересікає заздалегідь задану лінію або зону.
- У лінійці мережевих продуктів цієї технології представлені як камери, так і відеореєстратори з аналітичними можливостями на борту.

Переваги таких рішень: висока точність класифікації, можливість аналізу подій у реальному часі, зменшення навантаження на операторів та інфраструктуру.

Недоліки та обмеження: потреба в більш потужному апаратному забезпеченні, великі обсяги обробки даних, додаткові витрати на ліцензії або обчислювальні ресурси.

Сенсорні системи руху: інфрачервоні та комбіновані рішення

Класичні сенсорні методи (пасивні ІЧ, мікрохвильові, ультразвук) залишаються актуальними завдяки їхній простоті, швидкості реакції та низькому енергоспоживанню. Сучасні рішення часто поєднують кілька типів сенсорів для підвищення надійності.

Приклад: Ajax MotionProtect (ІЧ-сенсор)

- Ajax — український виробник систем безпеки.
- MotionProtect — бездротовий інфрачервоний сенсор руху з горизонтальним кутом $\approx 88,5^\circ$ та вертикальним $\approx 80^\circ$
- Дальність виявлення до 12 м у відкритому просторі
- Система має алгоритми компенсації температурних змін, щоб уникати хибних спрацьовувань при зміні температури
- У виробу передбачена імунізація до домашніх тварин: не реагує на котів або собак до 20 кг та висотою до 50 см
- Сенсор може працювати до 5 років без заміни батареї

Ajax також має модель MotionProtect Outdoor — вуличний аналог з подвійним ІЧ-сенсором, дальністю 15 м, горизонтальним кутом 90° , функцією anti-masking (виявлення спроб закриття лінз) та високим класом захисту (IP55)

Приклад: Curtain-тип сенсор (штора)

- У лінійці Ajax є модель MotionProtect Curtain — вузький променевий детектор, який формує «завісу» руху у вузькому смужковому секторі, часто використовуваному на вікнах або дверях.

- Вона має дві ІЧ-ланки, аналіз сигналів обох ліній (алгоритм Correlation Signal Processing), щоб уникати помилкових спрацьовувань на одинарний імпульс шуму.
- Дальність до 15 м, кут горизонтального охоплення $\approx 6^\circ$ (дуже вузький спектр)
- Такі «завісові» сенсори корисні у випадках, коли рух передбачуваний за конкретною траєкторією — наприклад, при охороні дверних прорізів або вікон.

Комбіновані ІЧ–СВЧ сенсори

Такі пристрої активують радіохвильовий модуль лише після первинного спрацьовування ІЧ-сенсора. Це дозволяє знижувати енергоспоживання та мінімізувати випромінювання, використовуючи СВЧ лише для підтвердження руху.

Такий підхід забезпечує високу точність (зменшення хибних тривог) і кращу прохідність через завади (СВЧ може «заглядати» за тонкі перегородки), але виходить дорожчим у реалізації.

Радіолокаційні, лідарні й гібридні системи

Для більш складних сценаріїв застосовуються рішення, що виходять за межі простих сенсорів:

- Радіолокація / радар — системи, які випромінюють електромагнітні хвилі, приймають відбиті сигнали й аналізують зміну частоти (ефект Доплера). Здатні працювати через завади, у тумані, дощі, темряві.
- LiDAR (лідар) — лазерні або світлові системи, що вимірюють час відбиття променів для створення 3D-карти простору.

Такі технології застосовуються у дорожньому моніторингу (виявлення транспортних засобів, пішоходів), автономному керуванні, складських системах та для безпілотників.

Хоча конкретні комерційні приклади інтегрованих радарів чи лідара в охоронні системи менш поширені в побуті, вони широко використовуються у транспортній аналітиці та виробничій автоматизації (наприклад, системи контролю руху автотранспорту на в'їздах/виїздах).

Системи IoT та хмарне моніторинг руху

Із розвитком Інтернету речей (IoT) з'явилися сенсори, що працюють як вузли у мережі, передаючи дані на хмарні платформи або сервери для аналізу, агрегації та інтеграції з іншими системами.

Приклади:

- Xiaomi Mi Smart Sensor Set — набір бездротових сенсорів руху, відкриття дверей, освітленості, які взаємодіють із домашнім хабом через протокол ZigBee і можуть керувати іншими пристроями (освітленням, сигналізацією).
- Philips Hue Motion Sensor — детектор руху, що інтегрується у систему освітлення Hue і може змінювати яскравість чи включати світло лише за умови руху та низької освітленості.
- Google Nest Motion / Nest Secure — компонент екосистеми «розумного дому», що інтегрується із системою відеоспостереження, оповіщеннями й сценаріями автоматизації.

Переваги IoT-підходу:

- централізоване управління усіма пристроями через мобільні або веб-додатки,
- можливість масштабування мережі,
- агрегування даних для статистичного аналізу (наприклад, пікові години руху),
- інтеграція з іншими системами будинку (HVAC, освітлення, доступ).

Обмеження та недоліки:

- затримка при передачі даних через мережу,
- потреба у стабільному інтернет-з'єднанні,

- питання безпеки даних та шифрування.

Інтегровані системи з аналітикою та машинним навчанням

На передньому краї розвитку лежать системи, які поєднують різні сенсори (відео, ГЧ, радар, акустика) та використовують алгоритми машинного навчання для аналізу подій, класифікації та прийняття рішень.

Приклади реальних інтегрованих систем:

- Cisco Meraki MV Smart Cameras — камери з вбудованою аналітикою на борту (edge analytics), які здатні аналізувати рух, підраховувати людей, визначати аберації в поведінці об'єктів — без необхідності надсилати всі відеодані на сервер.
- Honeywell MAXPRO Cloud — хмарна платформа, яка агрегує дані з відеокамер, сенсорів руху і системи доступу, реалізуючи цілісну аналітичну модель для об'єктів.
- Amazon Ring Alarm Pro — система безпеки для будинку, яка підтримує фотоверифікацію тривоги, інтеграцію з камерами, автоматичне навчання сценаріїв (наприклад, зміну чутливості залежно від часу доби).

Ці системи дозволяють:

- зменшувати кількість хибних спрацьовувань через контекстний аналіз,
- формувати складні сценарії реакції (наприклад, після виявлення руху активувати світло, увімкнути камеру, повідомити власника),
- адаптуватися до умов експлуатації та змін у навколишньому середовищі (самонавчання).

В таблиці 1.1 наведено порівняльний аналіз існуючих систем моніторингу руху.

Таблиця 1.1 - Порівняльний аналіз існуючих систем

Тип системи / продукт	Основна технологія	Переваги	Недоліки	Сфера застосування
Hikvision AcuSense	Відео + AI аналітика	Класифікація об'єктів, зменшення хибних спрацьовувань	Потрібна потужність і ліцензії	Камери охорони, периметр
Ajax MotionProtect	ПІР сенсор (безпроводний)	Низьке енергоспоживання, простота монтажу, імунітет до тварин Communica South Africa+1	Обмежена дальність	Домашня охорона, інтер'єри
Ajax MotionProtect Outdoor	Подвійний ІЧ сенсор, anti-masking	Вуличний захист, імунітет до тварин, стійкість до погодних умов	Вища вартість	Периметр, фасади
MotionProtect Curtain	«Шторна» ІЧ система	Вузька зона фіксації, мінімальні хиби	Треба дуже точно позиціювання	Вікна, двері
IoT сенсори (Xiaomi, Philips)	Безпроводні сенсори + хаб	Інтеграція в «розумний будинок», легке управління	Залежність від мережі	Автоматизація побуту
Інтегровані системи AI	Комбіновані сенсори + ML	Висока інтелектуалізація, адаптивність	Складна архітектура, вартість	Комерційні об'єкти, великі комплекси

Таким чином, сучасні системи моніторингу руху охоплюють широкий спектр технологій — від простих сенсорів до складних мультисенсорних платформ з аналітикою на базі штучного інтелекту.

1.4 Висновки до розділу

У результаті аналізу сучасних технічних рішень у галузі моніторингу руху встановлено, що ця сфера є однією з найдинамічніших у сучасному ринку систем безпеки, автоматизації та розумних середовищ. Системи виявлення та відстеження руху пройшли шлях від простих аналогових сенсорів до високотехнологічних комплексів, заснованих на принципах мультисенсорної інтеграції, комп'ютерного зору та штучного інтелекту.

Сучасні системи моніторингу характеризуються переходом від реактивного до аналітичного підходу: вони не лише фіксують факт руху, а й виконують інтерпретацію подій.

Водночас активно розвиваються сенсорні системи локального контролю (інфрачервоні, радіохвильові, комбіновані), що довели свою ефективність у побутових і комерційних застосуваннях.

Однією з ключових тенденцій є інтеграція систем моніторингу з Інтернетом речей (IoT) і хмарними аналітичними платформами. Такі рішення, як Google Nest, Xiaomi Mi Smart Sensor Set та Philips Hue Motion Sensor, формують розподілені екосистеми, де всі сенсори взаємодіють між собою через мережевий хаб або хмару. Це забезпечує глобальну керованість, дистанційний контроль, можливість масштабування і створює основу для концепції «розумного простору».

Використання IoT-підходів дозволяє не лише підвищити зручність користування, але й здійснювати глибокий аналітичний моніторинг — наприклад, виявлення закономірностей руху людей у приміщенні, оптимізація енергоспоживання, автоматичне регулювання освітлення чи клімату.

Застосування технологій Machine Learning і Deep Learning у системах моніторингу руху є одним із найважливіших досягнень останніх років. Алгоритми штучного інтелекту забезпечують самонавчання системи, що дозволяє їй адаптуватися до умов середовища, знижувати кількість хибних спрацьовувань і прогнозувати потенційні загрози.

Порівняльний аналіз показує, що комбіновані ПЧ–СВЧ сенсори забезпечують найкращий баланс між точністю, швидкістю реакції та енергозбереженням. У той же час, відеоаналітичні рішення переважають за функціональністю, але вимагають більшого обчислювального ресурсу та захисту даних.

Основними проблемами впровадження залишаються:

- висока вартість комплексних AI-систем;
- потреба у стабільному мережевому з'єднанні для IoT-моделей;

- загрози кібербезпеці та конфіденційності даних користувачів.

Для їх подолання виробники активно впроваджують протоколи шифрування (AES-128, TLS 1.3), механізми автентифікації та локальну обробку інформації (Edge AI), що знижує залежність від зовнішніх серверів.

Подальший розвиток галузі передбачає:

- впровадження мультисенсорних гібридних платформ, які одночасно використовують кілька фізичних принципів (ІЧ, радіохвилі, ультразвук, відео);
- інтеграцію з розумними мережами енергоменеджменту;
- створення систем із самоадаптивними параметрами чутливості, що автоматично калібруються залежно від середовища;
- широке впровадження 3D-візуалізації (LiDAR, ToF-камери) для точного просторового аналізу;
- використання нейронних мереж глибокого навчання для поведінкового моделювання об'єктів.

Ці напрями формують основу для переходу від класичних охоронних систем до інтелектуальних систем просторової аналітики, здатних не лише фіксувати події, а й прогнозувати ризики, автоматично реагувати на зміни та забезпечувати максимальну ефективність управління безпекою.

Таким чином, сучасні системи моніторингу руху підтверджують значне зростання рівня інтеграції, інтелектуалізації та автономності. Відбувається злиття традиційних охоронних технологій із цифровими мережевими сервісами, що дозволяє формувати єдині кіберфізичні системи управління простором.

Це підтверджує, що моніторинг руху сьогодні перетворюється не лише на інструмент безпеки, а й на елемент комплексної інфраструктури «розумних» будівель, міст і підприємств, де інформація про рух використовується для аналітики, автоматизації та підвищення якості життя людини.

2 РОЗРОБКА СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ РУХУ

2.1 Розробка загальної структури системи

Інформаційно-вимірювальна система моніторингу руху на об'єкті призначена для контролю доступу та управління рухом транспортних засобів із двома шлагбаумами або воротами та для автоматизованого, безпечного та контрольованого пропуску автомобілів на територію підприємства, складу, бази чи охоронюваної зони.

Її робота побудована на послідовному відкритті та закритті шлагбаумів, синхронізованих із положенням автомобіля, яке визначається ультразвуковими сенсорами, та на ідентифікації користувача охоронцем через RFID-технологію.

Головна мета — забезпечити контрольований проїзд: лише один шлагбаум може бути відкритий у будь-який момент часу, що створює ефект «електронного шлюзу». Це виключає можливість проникнення сторонніх транспортних засобів або несанкціонованого доступу.

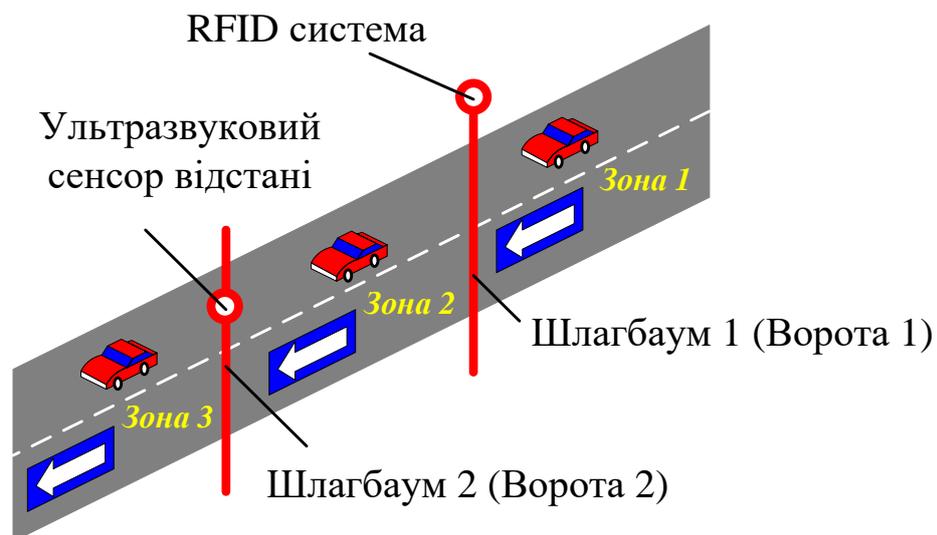


Рисунок 2.1 – Модель роботи інформаційно-вимірювальної системи моніторингу руху на об'єкті

Основні функціональні елементи системи:

1) RFID-система

Складається зі зчитувача та RFID-картки (мітки), закріпленої за охоронцем або конкретним автомобілем.

Кожна картка має унікальний ідентифікаційний номер (UID), який зчитується при наближенні до антени.

RFID-система може працювати на різних частотах (125 кГц, 13.56 МГц або UHF 860–960 МГц) залежно від дальності зчитування.

Після розпізнавання UID контролер перевіряє його у внутрішній базі дозволених користувачів і при позитивному результаті подає команду на відкриття першого шлагбаума.

2) Контролер логіки системи

Це центральний модуль (мікроконтролер або ПЛК), який координує взаємодію всіх компонентів.

Контролер обробляє сигнали від RFID-зчитувача, ультразвукових сенсорів і кінцевих вимикачів шлагбаумів.

У прошивці контролера реалізовано алгоритм станів, що гарантує правильну послідовність дій:

Очікування → Відкриття Воріт 1 → Виявлення авто → Закриття Воріт 1 → Відкриття Воріт 2 → Виїзд → Закриття Воріт 2 → Очікування.

3) Ультразвуковий сенсор відстані

Розташований посередині другого шлагбаума (воріт).

Він визначає наявність або відсутність транспортного засобу за допомогою вимірювання часу проходження звукової хвилі.

Дані від сенсора дозволяють системі точно знати, коли авто покинуло першу зону, та коли воно досягло другої.

Наприклад, якщо сенсор фіксує об'єкт на відстані менше 50 см, система розуміє, що автомобіль у зоні між воротами.

4) Електроприводи шлагбаумів

Кожен шлагбаум обладнаний електромеханічним приводом, який отримує сигнали «Відкрити» або «Закрити» від контролера.

Для фіксації положення використовуються кінцеві вимикачі (сенсори кінцевих положень).

Додатково встановлюються індукційні петлі або фотоелементи безпеки, щоб уникнути опускання шлагбаума на автомобіль.

2.2 Розробка алгоритму системи

Алгоритм системи містить кілька етапів:

Етап 1. Ідентифікація користувача

Автомобіль під'їжджає до Воріт 1.

Охоронець підносить RFID-картку до зчитувача.

Система зчитує UID і перевіряє його у базі даних.

Якщо UID дозволений — контролер активує електропривід шлагбаума 1, і він відкривається.

Якщо UID невідомий або заблокований — ворота залишаються закритими, а на пульт охорони надходить сигнал про спробу доступу.

Етап 2. Рух між воротами

Після відкриття Воріт 1 автомобіль починає рух уперед.

Ультразвуковий сенсор фіксує відстань між автомобілем і сенсором.

Коли авто повністю проїхало перші ворота (сенсор не бачить об'єкта), контролер закриває Ворота 1.

Після досягнення певної відстані до Воріт 2 (наприклад, 2,5 метра) — система автоматично відкриває Ворота 2.

Таким чином, відбувається послідовне «передавання» автомобіля між двома зонами.

Етап 3. Виїзд

Після проїзду Воріт 2 сенсор 2 фіксує, що автомобіль покинув контрольну зону.

Контролер подає команду на закриття Воріт 2.

Система повертається до початкового стану «Очікування», готова прийняти наступний транспортний засіб.

Але система повинна мати до даткові запобіжні заходи для підвищення безпеки, зокрема:

- Система забороняє одночасне відкриття обох шлагбаумів, що унеможливорює неконтрольований доступ.

- У разі збоїв у зв'язку або втрати живлення шлагбауми можуть бути відкриті вручну за допомогою аварійного ключа.

- При виявленні стороннього руху (наприклад, спроба проїхати без RFID) система подає сигнал тривоги на пост охорони.

Попередні технічні параметри, наприклад:

1) RFID-система: Дальність зчитування до 5 м, частота 13.56 МГц

2) Сенсор відстані: Діапазон 0.2–5 м, похибка ± 2 см

3) Привід шлагбаума Потужність 90 Вт, час відкриття 2.5 с

4) Контролер: ESP32, Arduino, Raspberry PI

5) Система живлення: 220 В / 12 В постійного струму

6) Інтерфейси RS-485, Wi-Fi, Ethernet для зв'язку з ПК охорони

Перевагами даної системи є:

1) Безконтактність: RFID дозволяє не виходити з автомобіля.

2) Гнучке налаштування логіки: можна змінити час затримки між відкриттям воріт, дистанцію активації тощо.

3) Ведення журналу подій: контролер або сервер може записувати час, ідентифікатор користувача та статус системи.

4) Інтеграція з базою даних: можливість зв'язку з системою контролю доступу підприємства.

5) Можливість модернізації: додавання відеокамер, GSM-модулів, автоматичного розпізнавання номерів (ANPR).

Таким чином, запропонована система створює інтелектуальний шлюз між охоронною територією та зовнішнім середовищем. Вона об'єднує апаратні сенсори, RFID-технологію та програмну логіку контролю, забезпечуючи:

- безпеку,
- автоматизацію,
- точність,
- зручність для охорони та користувачів.

2.3 Вибір контролера

Контролер є центральним елементом інформаційно-вимірювальної системи моніторингу руху на об'єкті автоматизованого управління двома шлагбаумами, RFID-зчитувачем та ультразвуковим сенсором. Його основні функції: прийом та обробка сигналів від сенсорів, реалізація логіки керування, формування керуючих сигналів для приводів, забезпечення зв'язку з оператором і контроль безпеки.

Щодо вимог до апаратної платформи, то контролер повинен мати достатню кількість портів вводу/виводу, інтерфейси UART, I²C, SPI, USB, Ethernet/Wi-Fi, та підтримку реального часу. Система повинна реагувати на події протягом не більше 100 мс, мати можливість логування та інтеграції з сервером безпеки.

Залежно від вимог, для системи автоматизованого проїзду можна обрати кілька типів контролерів: Arduino / STM32 – для навчальних або тестових моделей; ESP32 – для бездротових IoT-прототипів; PLC – для промислових комплексів; Raspberry Pi 5 – як універсальне рішення, що поєднує можливості промислового контролера й мінікомп'ютера.

В таблиці 2.1 наведено переваги та недоліки можливих варіантів контролерів.

Таблиця 2.1 – Порівняння можливих варіантів контролерів

Варіант	Переваги	Недоліки
Arduino Mega 2560	Простота, низька ціна, багато цифрових портів	Відсутність мережевих інтерфейсів, обмежена пам'ять
STM32 Nucleo	Потужний MCU, хороша точність таймерів	Потребує глибокого програмування, відсутній готовий інтерфейс Ethernet/Wi-Fi
ESP32	Вбудовані Wi-Fi / Bluetooth, низька вартість, можливість роботи з MicroPython	Невелика кількість GPIO при Wi-Fi активності, обмежена продуктивність для складної логіки
PLC (Siemens LOGO!, Omron)	Надійність, промислове виконання	Висока вартість, закрите програмне середовище
Raspberry Pi 5	Висока продуктивність, повноцінна ОС Linux, підтримка всіх протоколів, можливість веб-інтерфейсу	Потребує захисту від збоїв живлення, системного охолодження

Після порівняльного аналізу вибрано Raspberry Pi 5 як оптимальний контролер, що дозволить в майбутньому додати функціонал щодо розпізнавання номерних знаків та ідентифікація людей через обличчя. Вона має високопродуктивний процесор, підтримку багатьох інтерфейсів (GPIO, Ethernet, Wi-Fi), достатній обсяг пам'яті, та можливість роботи з повноцінною ОС Linux. Це дозволяє реалізувати не лише базову логіку керування, а й веб-інтерфейс моніторингу, логування подій, інтеграцію з SCADA.

Переваги Raspberry Pi 5:

- Висока обчислювальна потужність для багатозадачності.
- Повна мережевість: Ethernet, Wi-Fi, Bluetooth.
- Підтримка Python, C/C++, Node-RED та інші.
- Широкі можливості підключення периферії через GPIO.
- Зручне логування і хмарна інтеграція (MQTT, HTTP, FTP).
- Модульність – можливість додавання камер, GSM, сенсорів.

Таким чином, Raspberry Pi 5 є оптимальним вибором для побудови нашої системи, яка поєднує високу продуктивність, гнучкість програмування, великий набір інтерфейсів, можливість віддаленого моніторингу та інтеграції з

корпоративними системами. Це не просто контролер, а повноцінний інтелектуальний вузол системи.

2.4 Вибір RFID модуля для системи

MFRC522 — це інтегральна мікросхема від компанії NXP Semiconductors, призначена для зчитування та запису безконтактних RFID-карт і міток, що працюють у діапазоні 13,56 МГц. Вона реалізує повний протокол зв'язку ISO/IEC 14443 Type A та підтримує роботу з популярними стандартами MIFARE Classic, MIFARE Ultralight, NTAG та іншими.

Чип містить повноцінний аналоговий RF-фронтенд, цифровий блок обробки кадрів, FIFO-буфер і контактless UART для формування кадрів протоколу. Обмін із хост-контролером здійснюється через один із трьох інтерфейсів: SPI, I²C або UART. Така універсальність дозволяє легко інтегрувати MFRC522 у різні системи — від Arduino до Raspberry Pi 5.

Він підтримує такі стандарти і карти

1) ISO/IEC 14443 A (Type A) — основний стандарт, на якому базується робота чипа.

2) Підтримувані сімейства карт: MIFARE Classic 1K/4K, MIFARE Ultralight, NTAG203/213/215/216, інші сумісні теги.

3) MFRC522 не реалізує повний стек ISO-DEP (14443-4), тому для peer-to-peer NFC-режимів або емуляції карти краще використовувати PN532 чи CLRC663.

Типова дальність зчитування становить 2–5 см (до 50 мм) при правильному узгодженні антени та відсутності металевих завад.

Технічні характеристики MFRC522 згідно з офіційним даташитом NXP наведено в табл. 2.2.

У модульному виконанні RC522 реальний струм часто становить 13–26 мА у стандартному режимі й до 100 мА при повному передаванні сигналу.

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики MFRC522

Параметр	Значення
Напруга живлення VDDD/VDDA/TVDD	2,5 – 3,6 В (рекомендовано 3,3 В)
Робоча тактова частота	27,12 МГц
Споживаний струм цифрової частини	6–10 мА
Споживання у режимі передавання (RF)	60–100 мА (залежить від антени)
Споживання у режимі «Power-Down»	5–10 мкА
Дальність дії	до 5 см
Робоча температура	–25 °С ... +85 °С

MFRC522 має такі інтерфейси підключення

1) SPI — найчастіше використовується в Arduino та Raspberry Pi. Швидкість до 10 МГц, режим 0 або 1.

2) I²C — швидкість до 400 кГц, може бути корисним для систем із обмеженими GPIO.

3) UART — стандартний послідовний інтерфейс для мікроконтролерів.

Усі лінії мають логічний рівень 3,3 В. Підключення безпосередньо до 5-вольтових портів заборонене — потрібні конвертери рівнів!

Внутрішня структура MFRC522, мікросхема складається з таких основних частин:

1) RF-Front-End: передавач/приймач із виходами TX1, TX2.

2) Contactless UART + FIFO: формує кадри ISO14443A, буфер 64 байти.

3) Регістровий банк: конфігурація потужності, режимів, статусів, переривань.

4) Генератор 27.12 МГц з дільниками частоти.

5) Контроль потужності передавача (ModGsPReg).

Для передавання/прийому сигналу використовується резонансний контур 13.56 МГц (котушка індуктивності + конденсатори).

Узгодження параметрів контуру суттєво впливає на:

- дальність зчитування;
- стабільність комунікації;
- рівень споживання енергії.

Модулі RC522 мають вбудовану друковану антену. При проектуванні власної антени слід дотримуватись рекомендацій NXP щодо налаштування ємностей і розташування елементів на платі.

MFRC522 підтримує два режими зниження споживання:

- 1) Hard Power-Down — апаратне вимкнення живлення, споживання < 10 μ A.
- 2) Soft Power-Down — програмне вимкнення ядра через реєстр керування.

Окремий апаратний режим Low Power Card Detection (LPCD) відсутній; економії енергії досягають програмним опитуванням із паузами.

Особливості та обмеження MFRC522:

- 1) Логічні рівні 3.3 В — при підключенні до Arduino UNO/Mega потрібен рівнетвір.
- 2) Дальність зчитування на стандартних платах обмежена 2–4 см.
- 3) Немає повноцінного NFC режиму (ISO-DEP).
- 4) Статус NRND у NXP — чип не рекомендується для нових розробок; для серійних продуктів варто перейти на CLRC663 plus.
- 5) Узгодження антени сильно впливає на якість сигналу; металеві поверхні поруч зменшують дальність.

Модуль MFRC522 можна інтегрувати з Raspberry Pi 5 через інтерфейс: SPI через /dev/spidev*.

Підключення MFRC522 до Raspberry Pi:

MOSI, MISO, SCK, CE0 (або CE1) — стандартні SPI-піни Raspberry Pi.

RST та IRQ — будь-які вільні GPIO.

Живлення: 3.3 В від GPIO (з декапінгом 100 нФ + 10 μ Ф біля модуля).

Програмування: Python 3 (бібліотеки gpiozero, spidev, MFRC522 або pi-rc522).

Логування: UID міток, час зчитування, стан воріт зберігаються у SQLite або відправляються через MQTT / HTTP на сервер охорони.

Технічні переваги MFRC522:

- низьке енергоспоживання;
- малогабаритність і просте підключення;
- апаратна підтримка шифрування MIFARE;
- висока швидкість обміну (до 848 кбіт/с);
- сумісність із багатьма мікроконтролерами.

Якщо потрібна більша дальність, підтримка повного NFC, режим Low-Power Card Detection чи робота з ISO14443-4 (телефони, банківські картки) — краще застосовувати PN532, CLRC663 plus або PN7150.

Отже, модуль MFRC522 — це надійне, доступне й просте у використанні рішення для зчитування RFID-карт 13.56 МГц. Завдяки невеликим розмірам, низькому споживанню та підтримці популярних карт MIFARE він ідеально підходить для систем контролю доступу, автоматизації воріт, паркувань і навчальних проєктів.

Попри статус NRND, його можна ефективно використовувати у навчальних і малосерійних розробках. Для промислових систем нового покоління варто розглянути CLRC663 plus як сумісну модернізовану альтернативу.

2.5 Вибір ультразвукового сенсору для системи

Ультразвуковий сенсор вимірювання відстані (часто званий далекоміром) функціонує на основі фізичного принципу відбиття звукових хвиль. Його робота полягає у використанні ультразвукових коливань — звуків із частотою, що перевищує межу чутності людського вуха. Такі хвилі генеруються випромінювачем сенсора, розповсюджуються у повітрі, а при зустрічі з об'єктом відбиваються назад до приймача.

Основою роботи модуля є точне визначення проміжку часу, який проходить між моментом випромінювання сигналу та моментом отримання відбитої хвилі (відлуння).

Після того як модуль надсилає ультразвуковий імпульс, система (мікроконтролер або спеціалізована схема) запускає таймер. Коли відбитий сигнал повертається до приймача, таймер фіксує час затримки Δt , що відповідає подвоєному шляху хвилі — від сенсора до завади і назад.

Щоб перетворити вимірний часовий інтервал на відстань, використовується швидкість поширення звуку у повітрі (v), яка за нормальних умов становить приблизно 340 м/с.

Хоча це значення може дещо змінюватися через температуру, вологість і тиск, для більшості практичних задач вважається сталою величиною.

Оскільки хвиля проходить шлях у два напрямки, обчислена відстань повинна бути вдвічі меншою за повну довжину пройденого шляху.

Таким чином, відстань між сенсором і об'єктом (s) визначається за формулою:

$$s = \frac{v \cdot \Delta t}{2}$$

де s — шукана відстань до об'єкта (в метрах); v — швидкість звуку в повітрі (приблизно 340 м/с); Δt — вимірний час між випромінюванням та прийомом (в секундах).

Цей механізм дозволяє модулю ефективно та безконтактно визначати розташування об'єктів у просторі.

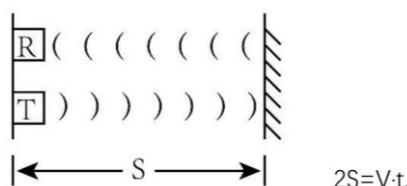


Рисунок 2.2 – Визначення відстані за часом проходження ультразвукового імпульсу.

Ультразвуковий модуль HC-SR04 — це інтегрований пристрій, який об'єднує в собі два основні елементи: випромінювач (передавач) та приймач (ресивер) ультразвукових хвиль. Така конструкція забезпечує можливість повного циклу вимірювання — від створення ультразвукового імпульсу до виявлення його відбиття від об'єкта. Завдяки цьому модуль здатний самостійно виконувати точне визначення відстані без необхідності використання додаткових сенсорних компонентів.



Рисунок 2.3 –Ультразвуковий модуль HC-SR04

Принцип дії передавача та приймача

1. Ультразвуковий передавач (Transmitter)

Основне завдання передавача полягає у перетворенні електричної енергії в акустичну. Коли мікроконтролер подає на нього електричний імпульс, передавач створює механічні коливання, що утворюють високочастотні звукові хвилі. Ці хвилі належать до ультразвукового спектра, тобто мають частоту, що перевищує межу сприйняття людського слуху. Таким чином, передавач виконує функцію генератора — він перетворює електричні сигнали на звукові хвилі, які розповсюджуються у повітрі.

2. Ультразвуковий приймач (Receiver)

Приймач виконує зворотне завдання — він сприймає відбиті від об'єкта хвилі (відлуння) і перетворює їх назад у електричний сигнал. Коли звукова хвиля повертається до сенсора, її механічна енергія впливає на мембрану приймача, створюючи електричну реакцію, яку далі обробляє електроніка

модуля. Цей процес завершує цикл вимірювання, даючи змогу контролеру зафіксувати час повернення сигналу та визначити відстань до завади.

У результаті модуль HC-SR04 реалізує принцип ехолокації — передає ультразвуковий імпульс, приймає його відбиття та на основі часу проходження хвилі обчислює дистанцію до об'єкта.

Ультразвуковий модуль HC-SR04 має чотири робочі контакти, кожен із яких виконує важливу роль у живленні та комунікації з мікроконтролером:

- 1) VCC (живлення): подача стабілізованої напруги 5 В для роботи модуля.
- 2) GND (заземлення): спільна точка електричного потенціалу — під'єднується до мінусового полюса живлення.
- 3) TRIG (тригер): керуючий вхід, який активує процес вимірювання. Для запуску необхідно подати короткий імпульс тривалістю приблизно 10 мкс.
- 4) ECHO (відлуння): вихідний пін, що формує імпульс високого рівня, тривалість якого пропорційна відстані до об'єкта.

Модуль HC-SR04 функціонує від постійної напруги 5 В, що відповідає стандарту більшості мікроконтролерів.

Під час активної роботи сенсор споживає приблизно 12 мА, що робить його енергоефективним і придатним для використання в автономних або малопотужних системах.

Діапазон вимірювання становить:

- 1) мінімальна відстань: 2 см — межа, на якій сенсор ще здатний коректно сприймати відбитий сигнал;
- 2) максимальна відстань: 200 см (2 м) — при перевищенні цієї межі точність різко знижується через ослаблення хвилі або розсіювання звуку.

Таким чином, HC-SR04 є простим і надійним інструментом для визначення відстані, який поєднує два перетворювачі — випромінювач і приймач, а також енергоефективну електроніку для формування, прийому та аналізу ультразвукових імпульсів.

2.6 Вибір електромеханічних механізмів

Кроковий двигун (рис. 2.4) є електромеханічним пристроєм, що працює за принципом системи керування з розімкнутим контуром. Його головна функція полягає у послідовному перетворенні дискретних електронних імпульсів у точно визначене кутове або лінійне переміщення.



Рисунок 2.4 –Кроковий двигун

Основною перевагою крокових електродвигунів є їхня стабільність роботи незалежно від зміни навантаження, якщо воно не перевищує допустимий крутний момент. На відміну від звичайних двигунів постійного струму, у яких швидкість обертання та положення ротора можуть змінюватися при зміні зовнішнього опору, кроковий двигун обертається строго відповідно до частоти поданих керуючих імпульсів і їхньої кількості.

Саме така особливість забезпечує високу точність позиціонування і повторюваність руху, що є надзвичайно важливим у системах, де потрібно точно контролювати переміщення, наприклад — у роботизованих платформах або автономних транспортних засобах.

Як приклад, часто використовуються чотирифазні крокові двигуни з редуктором, які забезпечують високий крутний момент при низьких швидкостях — це робить їх оптимальними для приводів задніх коліс мобільних роботів або систем керування положенням.

Для коректної роботи крокового двигуна необхідне правильне електричне підключення до системи керування. Зазвичай двигун під'єднують до

спеціального драйвера, який здійснює комутацію живлення між обмотками статора. Найпоширенішими мікросхемами-драйверами є ULN2003, A4988 або DRV8825.

Драйвер отримує керуючі сигнали від мікроконтролера (наприклад, Raspberry Pi або Arduino) через цифрові виводи GPIO.

Саме послідовність імпульсів, яку формує контролер, визначає швидкість, напрямок обертання та режим роботи ротора (повнокроковий, напівкроковий або мікрокроковий).

Кроковий електродвигун складається з двох основних частин — статора та ротора, які взаємодіють через електромагнітне поле.

Статор - є зовнішньою нерухомою частиною двигуна, у корпусі якої розташовані обмотки (катушки), що створюють магнітне поле. Кількість обмоток зазвичай є кратною числу фаз двигуна. Наприклад, у чотирифазній моделі може бути 4, 8, 12 або більше обмоток, згрупованих по чотири в кожен фазу. При подачі електричного струму на ці обмотки формується електромагнітне поле, яке притягує або відштовхує полюси ротора, змушуючи його обертатися на певний кут.

Ротор — це внутрішня рухома частина двигуна, що обертається всередині статора. Він може бути виготовлений із феромагнітного матеріалу (для реактивних двигунів) або містити постійні магніти (для гібридних та синхронних конструкцій). На його поверхні часто присутні зубці, виступи або пази, які взаємодіють із магнітним полем статора, створюючи силу, що викликає обертання.

Коли на обмотки статора послідовно подається живлення, утворюється рухоме магнітне поле, яке змушує ротор переміщатися від однієї позиції до іншої. Цей процес, відомий як комутація фаз (рис. 2.5), створює ефект «крокового» руху — ротор не обертається безперервно, а рухається серією малих фіксованих поворотів, які називають кроками.

Кожен поданий імпульс перемикає струм на наступну фазу, через що ротор повертається на певний фіксований кут.

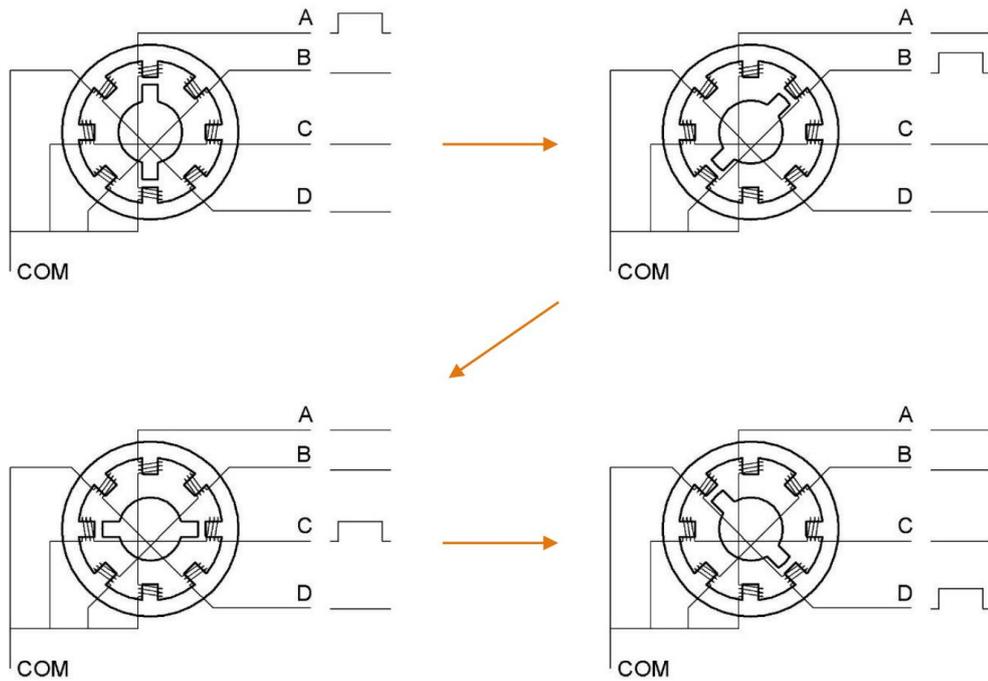


Рисунок 2.5 – Послідовність рухів крокового двигуна

Завдяки цьому кроковий двигун здатен забезпечувати високу точність позиціонування без використання додаткових сенсорів зворотного зв'язку.

Положення та швидкість обертання крокового двигуна визначаються двома параметрами керуючого сигналу:

- 1) кількість імпульсів визначає, на який кут повернеться вал;
- 2) часовий інтервал між імпульсами регулює швидкість обертання.

Чим менший інтервал між сигналами, тим швидше обертається двигун.

Найпростіший режим керування — повнокроковий (Full-Step Mode).

У цьому випадку живлення подається послідовно лише на одну фазу двигуна одночасно.

Для чотирифазного крокового двигуна (A, B, C, D) послідовність імпульсів для обертання за годинниковою стрілкою виглядає так:

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A \rightarrow \dots$$

Якщо потрібно змінити напрямок обертання, послідовність просто подають у зворотному порядку:

$$D \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow A \rightarrow D \rightarrow \dots$$

Такий метод часто називають чотирикроковим або чотирифазним режимом роботи, оскільки кожен імпульс забезпечує один дискретний рух ротора.

Окрім звичайного повнокрокового режиму, у крокових двигунах застосовується також більш точний метод керування — режим напівкроку (Half-Step Mode). Його перевага полягає у підвищеній роздільній здатності руху ротора. У цьому режимі подача живлення чергується між однією фазою та двома суміжними фазами одночасно.

Наприклад: спочатку активується лише фаза А, після чого одночасно вмикаються фази А і В. У цей момент ротор вирівнюється у проміжному положенні між двома магнітними полями — що відповідає половині звичайного кроку. Такий алгоритм дозволяє зменшити вібрації, шум і ривковість руху, а також зробити обертання більш плавним.

Типова послідовність живлення у цьому режимі виглядає так:

$A \rightarrow AB \rightarrow B \rightarrow BC \rightarrow C \rightarrow CD \rightarrow D \rightarrow DA \rightarrow A \rightarrow \dots$

Якщо цю послідовність подати у зворотному напрямку, ротор відповідно почне обертатися проти годинникової стрілки.

Такий спосіб іноді називають восьмикроковим або чотирифазним режимом напівкроку.

Для визначення реальної точності руху вихідного вала необхідно враховувати наявність редуктора, який зменшує швидкість обертання та збільшує крутний момент.

У нашому випадку статор має 32 магнітні полюси, отже для одного повного оберту вала двигуна (до редуктора) потрібно 32 кроки.

Двигун з'єднаний із редукційним механізмом із передавальним відношенням 1:64, тобто вал двигуна повинен зробити 64 оберти, щоб вихідний вал здійснив один повний оберт.

Звідси кількість кроків, необхідна для одного повного оберту вихідного вала, визначається як:

$$K_{\text{вих.вала}} = 32 \times 64 = 2048$$

Це означає, що для повного обертання кінцевого вала потрібно 2048 кроків, що забезпечує високу точність позиціонування навіть без системи зворотного зв'язку.

Ще одним елементом який може бути використаний для електромеханічного руху може бути сервопривід (рис. 2.6).



Рисунок 2.6 – Вигляд сервоприводу з кабельним підключенням

Сервопривід (часто згадується як серводвигун) являє собою високоточний, самодостатній механізм, інтегрований у компактний корпус, і спеціально розроблений для забезпечення докладного контролю кутового положення вала та високого обертового моменту. Його внутрішня архітектура є складною системою, що працює за принципом замкнутого циклу керування (зворотного зв'язку).

Принцип роботи системи із замкненим контуром та роль сервоприводу. Система керування із зворотним зв'язком працює за принципом безперервного циклу обміну інформацією між контролером і виконавчим механізмом. У процесі роботи контролер постійно отримує дані від сенсора положення, порівнює поточні показники з еталонним (заданим) значенням, і, у разі відхилення, формує коригувальний сигнал. Завдяки такій дії досягається висока стабільність і точність руху, навіть за зміни навантаження або зовнішніх умов.

Принцип замкнутого циклу керування лежить в основі складних систем автоматичного регулювання, зокрема ПД-регуляторів, які дозволяють досягти балансу між швидкістю реакції, точністю та плавністю руху.

У мобільних платформах, що використовують автомобільну кінематику типу Ackermann, сервопривід виконує функцію основного механізму повороту передніх коліс, забезпечуючи точне дотримання траєкторії руху. Як правило, сервопривід з'єднаний із кермовим механізмом (рульовою трапецією або шарнірними вузлами поворотних коліс) через спеціальний важіль (хорн), який передає обертання від вала приводу до механічної системи керування.

Сервопривід працює на основі позиційного контролю, тобто підтримує певний кут обертання вала:

1) Мікроконтролер формує керуючий сигнал типу ШІМ (широтно-імпульсна модуляція), у якому тривалість імпульсу відповідає бажаному куту повороту.

2) Внутрішня електроніка сервоприводу зчитує цей сигнал, перетворює його в рух двигуна постійного струму та порівнює фактичний кут (за показами сенсора положення) із заданим.

3) Якщо виявлено відхилення, контролер коригує подачу струму доти, поки вал не досягне потрібного положення. Після цього привід утримує кут, компенсуючи зовнішні сили (інерцію, опір коченню тощо).

Завдяки такому принципу сервопривід здатний підтримувати стабільне положення вала і швидко реагувати на зміну команд.

Типовий сервопривід складається з чотирьох головних частин:

- 1) Двигун постійного струму (DC Motor) — генерує механічну енергію;
- 2) Редукторна передача — знижує швидкість обертання, одночасно збільшуючи крутний момент;
- 3) Сенсор положення (зазвичай потенціометр) — фіксує поточний кут обертання;
- 4) Плата керування — аналізує сигнал керування та регулює роботу двигуна.

Редуктор відіграє ключову роль, оскільки дозволяє отримати великий крутний момент при низьких обертах, що робить сервопривід ефективним у точних позиційних системах.

У сучасних моделях використовують два основних типи двигунів:

1) Колекторні (щіткові) — простіші та дешевші, підходять для навчальних або побутових пристроїв;

2) Безщіткові (brushless) — мають менше тертя, більшу довговічність, високу енергоефективність і точність, тому застосовуються в промислових і роботизованих системах.

Для точного позиціонування вихідного вала сервопривід використовує зворотний зв'язок від сенсора положення. Потенціометр постійно вимірює поточний кут, передає його на електронну схему, яка порівнює фактичне положення з заданим. У разі розбіжності система автоматично регулює подачу струму, доки вал не набуде потрібного положення.

Більшість стандартних сервоприводів мають робочий діапазон повороту близько 180° , який реалізується через спеціальний хорн (важіль), що передає рух на зовнішні механізми.

Залежно від способу обробки керуючого сигналу, розрізняють:

1) Аналогові серводвигуни — реагують на стандартний сигнал ШІМ із частотою близько 50 Гц, мають повільнішу реакцію.

2) Цифрові серводвигуни — оснащені мікроконтролером, який опрацьовує сигнал із частотою до 300–400 Гц, що забезпечує вищу швидкість реакції, стабільність утримання положення та можливість програмного налаштування параметрів. Цифрові моделі часто використовуються у високоточних роботах, авіаційних системах та автономних мобільних платформах.

Стандартний сервопривід має три основні дроти:

1) Signal (сигнальний провід): отримує ШІМ-сигнал від контролера, тривалість якого визначає кут повороту.

2) VCC (живлення): забезпечує подачу напруги (зазвичай 5 В) для живлення електроніки та двигуна.

3) GND (заземлення): спільна «нульова» лінія для всієї системи, необхідна для коректної синхронізації сигналів.

У деяких розширених моделях передбачено четвертий провід — телеметричний або зворотного зв'язку, який дає змогу відстежувати поточний кут, швидкість обертання або температуру двигуна в режимі реального часу.

Ця функція особливо корисна у багатокоординатних роботизованих системах, де потрібно забезпечити точний моніторинг усіх виконавчих вузлів.

Основою роботи будь-якого сервоприводу є широтно-імпульсна модуляція (ШІМ) — метод, при якому тривалість імпульсу визначає положення вихідного вала (рис. 2.7).

Завдяки цьому пристрій може з високою точністю реагувати на команди керування, забезпечуючи плавний і стабільний рух у межах заданого кута.

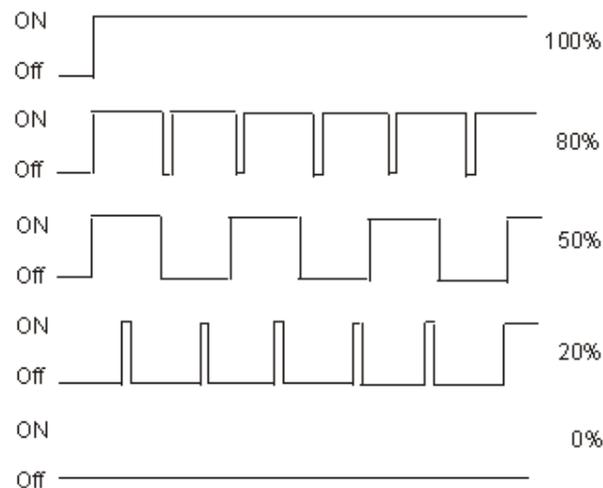


Рисунок 2.7 – Діаграма зміни шпаруватості ШІМ-сигналу

Сервоприводи працюють із керуючим сигналом фіксованої частоти, яка зазвичай становить 50 Гц. Це означає, що період одного циклу сигналу дорівнює 20 мілісекундам ($1/50$ Гц). Основним параметром, який визначає кутове положення вала, є тривалість імпульсу високого рівня (іноді її називають коефіцієнтом заповнення або *duty cycle*). Саме цей показник визначає, на який кут буде повернуто вал сервоприводу у межах 20 мс циклу. При цьому кожна конкретна тривалість імпульсу відповідає абсолютному положенню, а не є поступовим зміщенням від попереднього стану.

Для коректної роботи сервопривід очікує сигнал, тривалість якого лежить у визначених межах:

- Мінімальна тривалість (0.5 мс): відповідає початковому положенню вала — 0° ;
- Максимальна тривалість (2.5 мс): встановлює вал у крайнє положення — 180° .

Між цими двома точками спостерігається лінійна залежність між тривалістю імпульсу та кутом повороту.

Наприклад: 1.0 мс $\rightarrow 45^\circ$, 1.5 мс $\rightarrow 90^\circ$ (середнє положення), 2.0 мс $\rightarrow 135^\circ$.

Це дозволяє досягати плавного й передбачуваного позиціонування, що особливо важливо для систем точного керування, наприклад, повороту коліс у мобільних платформах.

Щоб змінити кут повороту, достатньо відрегулювати тривалість високого рівня у сигналі ШІМ. Контролер сервоприводу постійно аналізує отримані імпульси та регулює живлення двигуна до моменту, коли сенсор положення підтвердить досягнення потрібного кута. Цей механізм забезпечує швидке, точне та стабільне керування навіть при зміні навантаження.

Коректна робота сервоприводу безпосередньо залежить від правильного калібрування керуючого сигналу. Якщо межі імпульсів (мінімальна й максимальна тривалість) не відповідають реальним механічним обмеженням приводу, це може призвести до перевантаження редуктора, залипання вала або навіть пошкодження потенціометра.

Тому під час налаштування необхідно враховувати технічні характеристики сервоприводу, його реальний робочий діапазон кута повороту та рекомендовані параметри імпульсів, зазначені виробником.

У мікроконтролерних системах калібрування здійснюється програмно — задаються значення мінімального, максимального та нейтрального положення. Це дозволяє забезпечити плавну, стабільну й безпечну роботу приводу, навіть у разі тривалої експлуатації або змінного навантаження.

2.7 Розробка детальної структури системи

Представлена інформаційно-вимірювальна система моніторингу руху на об'єкті (рис. 2.8) призначена для автоматизованого контролю та регулювання транспортного потоку в зоні обмеженого доступу, наприклад, на території підприємства або паркувального комплексу.

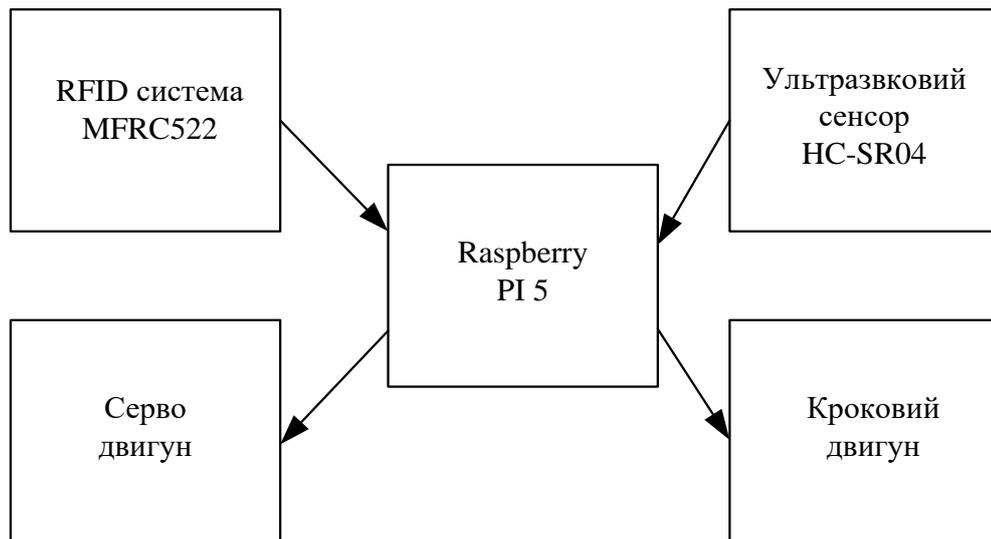


Рисунок 2.8 – Детальна структурна схема інформаційно-вимірювальної системи

Її основне завдання — ідентифікувати транспортний засіб, контролювати послідовність проходження через шлагбауми та забезпечувати безпечний рух завдяки вимірюванню відстані між автомобілем і завадами.

Центральним елементом системи є мікрокомп'ютер Raspberry Pi 5, який об'єднує всі сенсорні та виконавчі модулі в єдину керуючу мережу.

У Зоні 1 автомобіль під'їжджає до першого шлагбаума (Ворота 1).

Тут розташована RFID-система, яка зчитує дані з електронної картки охоронця або водія.

Якщо код підтверджено, Raspberry Pi 5 подає сигнал на сервомеханізм, який відкриває перший шлагбаум.

У Зоні 2 автомобіль проходить після відкриття першого шлагбаума.

У цій зоні ультразвуковий сенсор HC-SR04 безперервно вимірює відстань до транспортного засобу.

Коли машина віддаляється від першого шлагбаума на задану дистанцію, Raspberry Pi автоматично закриває перший шлагбаум і готує систему до відкриття другого.

При фіксації наближення транспортного засобу ультразвуковим сенсором контролер активує другий серводвигун, відкриваючи другі ворота для проїзду.

Таким чином, рух здійснюється поетапно, з автоматичним керуванням шлагбаумами відповідно до положення автомобіля в контрольних зонах.

Raspberry Pi 5 виступає центральним контролером системи.

Він:

- отримує інформацію від сенсорів (RFID і HC-SR04);
- обробляє ці дані за допомогою вбудованих алгоритмів;
- керує виконавчими елементами (сервоприводами шлагбаумів і кроковими двигунами, якщо вони використовуються для приводу механізмів).

Контролер підтримує підключення периферійних пристроїв через GPIO, SPI та PWM-інтерфейси. Крім того, Raspberry Pi 5 забезпечує логування подій, тобто фіксацію кожного випадку проходження автомобіля.

Модуль MFRC522 відповідає за ідентифікацію користувача або транспортного засобу. Він зчитує унікальний код із RFID-картки, передаючи його до Raspberry Pi через SPI-шину. Контролер аналізує отримані дані, і якщо вони збігаються з попередньо дозволеними, подає команду на відкриття шлагбаума №1.

Цей модуль гарантує високий рівень безпеки і обмеження доступу лише для авторизованих осіб.

Сенсор HC-SR04 здійснює вимірювання відстані до автомобіля, використовуючи принцип відбиття звукових хвиль.

Сенсор під'єднано до Raspberry Pi двома лініями:

- 1) Trigger — для генерації імпульсу,
- 2) Echo — для прийому відбитого сигналу.

Завдяки цьому сенсору система точно визначає момент, коли автомобіль:

- під'їхав до воріт;
- проїхав шлагбаум;
- віддалився на безпечну відстань для автоматичного закриття.

Сервоприводи використовуються як виконавчі механізми для керування шлагбаумами. Raspberry Pi формує ШІМ-сигнал (PWM), тривалість якого визначає кут відкриття або закриття шлагбаума. Система може регулювати швидкість руху шлагбаума, що запобігає механічним пошкодженням.

Кроковий двигун може бути додатково використаний у конструкції для приводу механічних вузлів, що потребують точного позиціонування — наприклад, регулювання положення воріт або контрольного механізму сенсора.

Алгоритм взаємодії компонентів:

- RFID-система зчитує код із картки.
- Raspberry Pi порівнює код із базою дозволених користувачів.
- У разі успішної ідентифікації відкривається перший шлагбаум.
- Ультразвуковий сенсор контролює рух автомобіля між зонами.

Описана система є автоматизованим комплексом контролю руху транспортних засобів, який поєднує сенсорні технології, ідентифікацію RFID і мікроконтролерне керування.

Використання Raspberry Pi 5 дозволяє реалізувати гнучке програмне керування, дистанційний моніторинг і адаптацію алгоритмів, що робить систему ефективною, надійною та придатною для впровадження в умовах сучасних об'єктів з обмеженим доступом.

2.8 Розробка програмного забезпечення

У цьому розділі подано опис програмної реалізації інформаційно-вимірювальної системи, побудованої на базі мікрокомп'ютера Raspberry Pi.

Програмна частина системи реалізує циклічний процес контролю та забезпечення електромеханічного руху шлагбаумів.

Кожен програмний модуль виконує окреме функціональне завдання — керування приводами коліс, регулювання швидкості руху або обробку даних від сенсорів.

Першим етапом реалізації є імпорт необхідних бібліотек, які забезпечують взаємодію з апаратними компонентами та дозволяють виконувати керування в режимі реального часу.

```
from gpiozero import AngularServo, OutputDevice,
DistanceSensor
from time import sleep
import random
import warnings
warnings.filterwarnings("ignore")
```

У наступним кроком ініціалізуються серводвигуни, які керують передніми колесами платформи. Кожен серводвигун підключається до певного GPIO-піну Raspberry Pi:

```
front_left_servo = AngularServo(17, min_angle=0,
max_angle=180)
front_right_servo = AngularServo(18, min_angle=0,
max_angle=180)
```

Для обертання крокових двигунів визначені два послідовні набори сигналів: за годинниковою стрілкою та проти годинникової. Ця схема подачі живлення дозволяє контролювати напрямок обертання двигуна:

```
rear_motor_pins = (19, 13, 6, 5) # GPIO для крокових двигунів
rear_motors = [OutputDevice(pin) for pin in rear_motor_pins]

CCWStep = (0x01, 0x02, 0x04, 0x08)
CWStep = (0x08, 0x04, 0x02, 0x01)
```

```

def moveOnePeriod(direction, ms):
    if ms < 3:
        ms = 3
    for j in range(4):
        for i in range(4):
            if direction == 1:
                rear_motors[i].on() if (CCWStep[j] == 1 << i)
            else rear_motors[i].off()
            else:
                rear_motors[i].on() if (CWStep[j] == 1 << i)
            else rear_motors[i].off()
            sleep(ms * 0.001)

def moveSteps(direction, ms, steps):
    for _ in range(steps):
        moveOnePeriod(direction, ms)

def stopRearMotors():
    for m in rear_motors:
        m.off()

```

Сервопривід, на якому закріплено ультразвуковий сенсор, забезпечує можливість зміни кута огляду сенсора. Завдяки цьому пристрій може сканувати простір перед рухомою платформою, отримуючи інформацію про наявність об'єктів або завад у різних напрямках. Застосування серводвигуна для керування положенням сенсора істотно підвищує рівень автономності системи та точність виявлення завад, оскільки дозволяє здійснювати динамічне зондування навколишнього середовища замість фіксованого вимірювання в одному напрямку.

```

sensor_servo = AngularServo(27, min_angle=0, max_angle=180) #
змінити GPIO під ваш пін

```

Ультразвуковий сенсор під'єднується до двох GPIO-виводів плати Raspberry Pi: один використовується як вихідний пін для ініціації вимірювання (Trigger), а інший — як вхідний пін для прийому відбитого сигналу (Echo). Для зручності роботи з цим сенсором застосовується бібліотека `gpiozero`, яка містить спеціальний клас `DistanceSensor`. За його допомогою можна отримувати поточну відстань до об'єкта, що розташований перед платформою, у метрах, без необхідності самостійного обчислення часу проходження ультразвукової хвилі. Параметр `max_distance` визначає граничну дальність вимірювання сенсора.

У даній реалізації він встановлений на 3 метри, що відповідає ефективному робочому діапазону більшості стандартних ультразвукових модулів, таких як HC-SR04.

```

trigPin = 14
echoPin = 15
sensor = DistanceSensor(echo=echoPin, trigger=trigPin,
max_distance=3)
# -----
# Функції керування рухом
# -----
def moveForward(steps=512):
    front_left_servo.angle = 90    # прямиий рух
    front_right_servo.angle = 90
    moveSteps(1, 3, steps)
    stopRearMotors()

def turn(direction='left', steps=256):
    if direction == 'left':
        front_left_servo.angle = 45
        front_right_servo.angle = 135
        moveSteps(1, 3, steps)
    else:
        front_left_servo.angle = 135
        front_right_servo.angle = 45

```

```

        moveSteps(1, 3, steps)
    stopRearMotors()
    front_left_servo.angle = 90
    front_right_servo.angle = 90

def scanObstacle():
    # Повертаємо сенсор вперед і ліво/право для перевірки
    sensor_servo.angle = 90
    sleep(0.5)
    front_distance = sensor.distance * 100

    sensor_servo.angle = 45
    sleep(0.5)
    left_distance = sensor.distance * 100

    sensor_servo.angle = 135
    sleep(0.5)
    right_distance = sensor.distance * 100

    sensor_servo.angle = 90
    sleep(0.2)
    return front_distance, left_distance, right_distance

```

Окремий цикл програми безперервно сканує навколишній простір за допомогою ультразвукового сенсора. Якщо відстань перед шлагбаумом перевищує безпечний поріг, шлагбаум відкривається. В протилежному випадку шлагбаум опущений. Такий алгоритм дозволяє системі моніторити рух на об'єкті:

```

def loop():
    while True:
        front, left, right = scanObstacle()
        print(f"Front: {front:.1f}cm | Left: {left:.1f}cm |
Right: {right:.1f}cm")

```

```

        if front > 20: # якщо попереду більше ніж 20 см,
рухаємося вперед
            moveForward(steps=256)
        else:
            # Завада попереду – обираємо сторону для обходу
            if left > right:
                turn('left', steps=128)
            else:
                turn('right', steps=128)
            moveForward(steps=128)

```

Функція `destroy()` закриває всі підключення до GPIO, зупиняє крокові двигуни та серводвигуни, а також звільняє ресурси ультразвукового сенсору. Це необхідно для безпечного завершення роботи програми та запобігання пошкодженню апаратної частини:

```

def destroy():
    stopRearMotors()
    front_left_servo.close()
    front_right_servo.close()
    sensor_servo.close()
    sensor.close()

# -----
# Точка входу
# -----

if __name__ == '__main__':
    print("Рухома платформа стартує...")
    try:
        loop()
    except KeyboardInterrupt:
        print("Завершення програми")
    finally:
        destroy()

```

В результаті виконання представленого програмного забезпечення платформа здатна автономно переміщатися, уникати завад та коригувати свій рух відповідно до оточення. Завдяки інтеграції серводвигунів, крокових двигунів та ультразвукового сенсора, забезпечується скоординована робота всіх компонентів, що дозволяє платформі ефективно виконувати завдання з автономного пересування.

2.9 Висновки до розділу

Розроблена інформаційно-вимірювальна система є автоматизованим комплексом у зоні з обмеженим доступом. Її робота базується на інтеграції кількох ключових компонентів — RFID-ідентифікації, ультразвукових сенсорів, сервоприводів та мікрокомп'ютера Raspberry Pi 5, який забезпечує повну координацію процесів.

Система забезпечує:

1. Надійний контроль доступу. RFID-модуль MFRC522 дозволяє однозначно ідентифікувати користувачів або транспортні засоби.
2. Автоматизоване керування транспортним потоком. Завдяки поділу території на дві зони та використанню ультразвукового сенсора HC-SR04 система контролює відстань до автомобіля та визначає правильні моменти відкриття і закриття шлагбаумів.
3. Централізоване керування. Raspberry Pi 5 виконує роль центрального контролера.
4. Гнучкість та масштабованість. Завдяки використанню Raspberry Pi система легко модифікується.
5. Високий рівень безпеки. Поетапне відкриття та закриття шлагбаумів, що залежить від фактичного положення автомобіля,

Система є ефективним, надійним і сучасним рішенням для автоматизації контролю транспортного руху на підприємствах, парковках та інших об'єктах з обмеженим доступом.

3 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ДОСЛІДНОГО ЗРАЗКУ

3.1 Конструктивно-технічна частина дослідного зразку

Дослідний зразок являє собою повністю автономний апаратно-програмний комплекс, центральною обчислювальною одиницею якого виступає Raspberry Pi5 (рис. 3.1). Одноплатний мікрокомп'ютер закріплений безпосередньо на багатофункціональній платі Freenove Projects Board (рис. 3.2). Застосування цієї плати-розширювача є ключовим для побудови системи, оскільки вона виконує роль апаратного хаба, поєднуючи численні периферійні модулі з Raspberry Pi. На відміну від традиційних макетних плат зі складними колодками контактів та потребою у ручному монтажі, Freenove Board пропонує інтегровані комутатори, драйвери, перетворювачі напруги та модулі захисту, що істотно спрощує як апаратний дизайн, так і подальше технічне обслуговування [15].

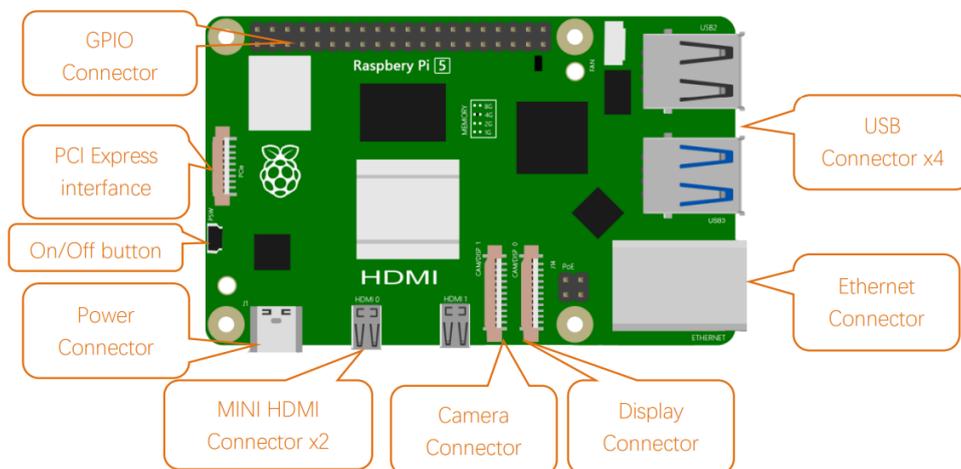


Рисунок 3.1 – Одноплатний мікрокомп'ютер Raspberry Pi5

Кожен периферійний модуль під'єднується до чітко промаркованих роз'ємів, що мінімізує ризик помилок під час монтажу та пришвидшує процес налаштування (рис. 3.3). Наприклад, ультразвуковий сенсор під'єднується через спеціальний 4-контактний порт, який використовує лінії GPIO 14 (Trigger) та GPIO 15 (Echo). Плата Freenove виконує функцію апаратного бар'єра безпеки,

автоматично знижуючи 5-вольтовий зворотний сигнал ехолокації до безпечного рівня для Raspberry Pi, що працює на 3,3 V логіці. Таким чином, система уникає можливого пошкодження одноплатного комп'ютера внаслідок надлишкової напруги.

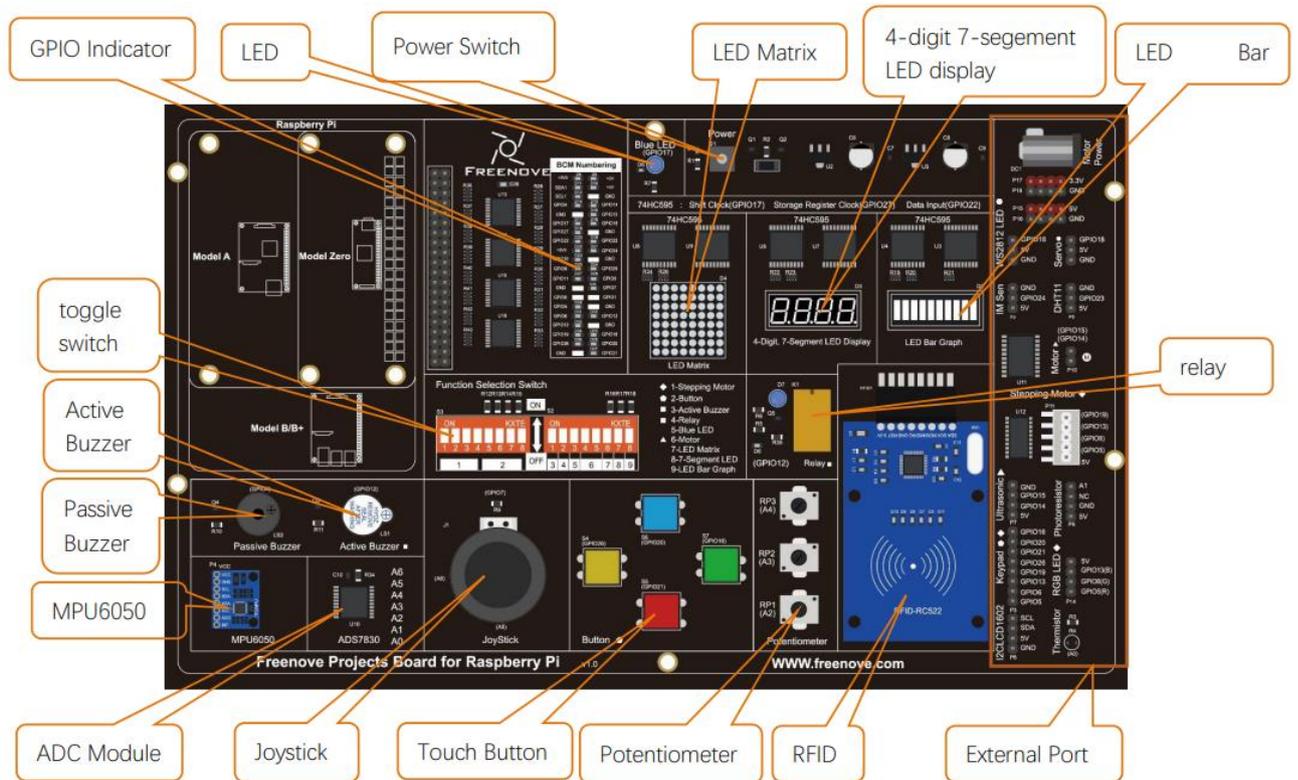


Рисунок 3.2 – Макетна плата Freenove Board

Сервопривід, який забезпечує фізичне позиціонування або орієнтацію системи, під'єднується до одного з роз'ємів категорії Servo. Програмна частина керує його роботою через GPIO 17, тоді як сама Freenove Board подає на сервомотор стабілізоване 5-вольтове живлення, необхідне для коректної роботи приводу без перевантаження інтерфейсів Raspberry Pi.

Кроковий двигун, що відповідає за точне та контрольоване обертання механізму, підключається через вбудований драйвер керування—один із ключових апаратних модулів Freenove Board. Лінії GPIO 19, 13, 6 та 5 передають керуючі імпульси, а сама плата забезпечує мотору необхідний струм та ізоляцію від логічної частини системи. Така архітектура дозволяє реалізувати точні, повторювані рухи без ризику перевантаження Raspberry Pi або зовнішніх

контролерів. У результаті Freenove Board перетворює складний набір електронних компонентів на високонадійну, структуровану та модульну платформу, готову до масштабування та інтеграції нових периферійних модулів. Але хотілося б зазначити що в нашому дослідному зразку замість крокового двигуна ми просто запалюватимемо синій світлодіод на платі на пині GPIO12. Зібраний дослідний зразок зображено на рис. 3.3.



Рисунок 3.3 – Зібраний дослідний зразок

Процес фізичного складання системи з використанням плати Freenove має інтуїтивний, покроковий характер і не вимагає спеціалізованого обладнання. На першому етапі Raspberry Pi 5 встановлюється у 40-пінний роз'єм, що забезпечує повний логічний і електричний контакт із платою-розширювачем. Фіксація за допомогою монтажних отворів гарантує механічну стабільність під час роботи системи, запобігаючи випадковому від'єднанню чи зміщенню контактів. Після цього під'єднуються необхідні датчики, виконавчі механізми та джерело живлення. Завдяки стандартизованому розташуванню та

маркуванню портів увесь процес складання фактично перетворюється на модульне компонування, що значно підвищує надійність і повторюваність експериментальних досліджень.

3.2 Розроблення програмного забезпечення та налагодження

Програму написано на Python, і вона використовує стандартну бібліотеку `gpiozero`, яка дозволяє напряду керувати GPIO-контактами Raspberry Pi. Плата `Greenove` просто передає та розподіляє ці сигнали через свої роз'єми, тому система працює без будь-яких додаткових драйверів або спеціальних бібліотек — усе функціонує на базових можливостях Raspberry Pi.

Для написання коду будемо використовувати середовище `Mu 1.0.3`. Це дуже проста й зручна програма (код-редактор), створена спеціально для початківців, які хочуть навчитися програмувати на Python. Вона підходить для роботи з Raspberry Pi, мікроконтролерами та навчальними проєктами.

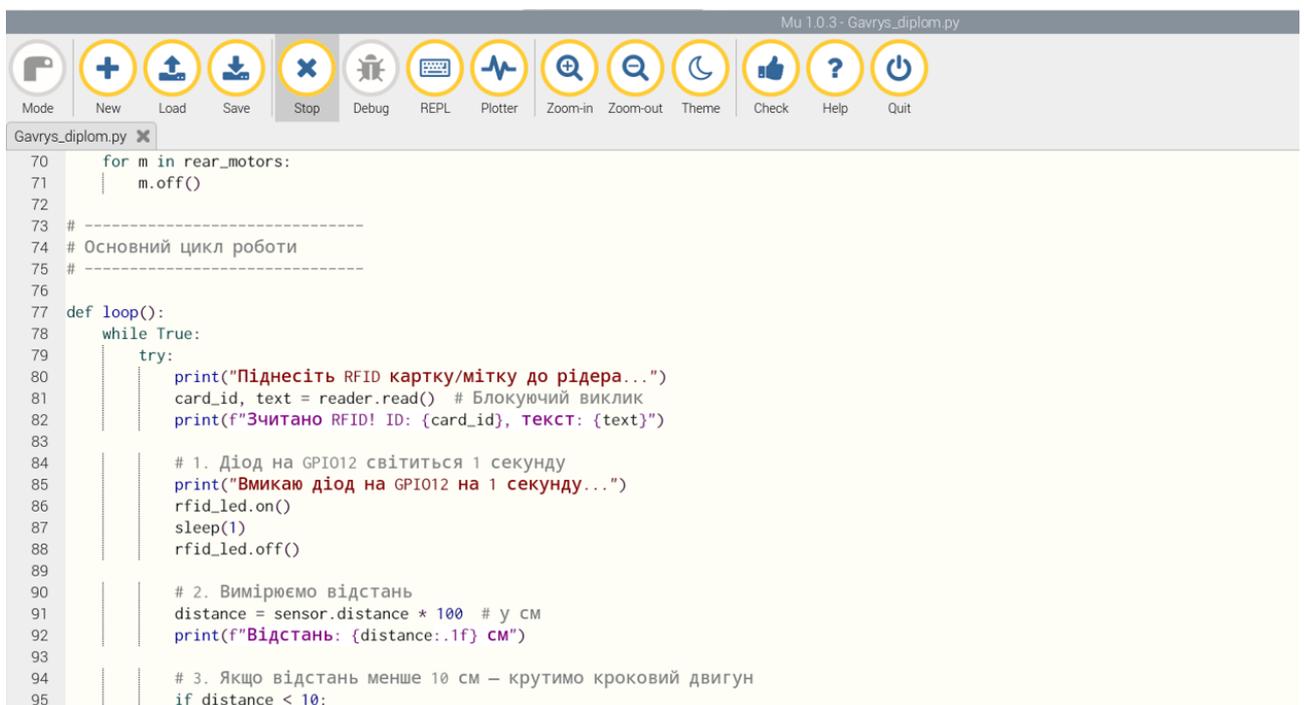
`Mu` має мінімалістичний інтерфейс, тому її легко освоїти навіть тим, хто вперше відкрив редактор коду. Вона підтримує Python 3, який є основною мовою для Raspberry Pi та має вбудовану підтримку GPIO, що дозволяє легко керувати світлодіодами, моторами, датчиками. Вона дуже проста у використанні — немає зайвих кнопок чи складних налаштувань та ідеально підходить для шкільних та навчальних проєктів.

Вікно редактора дозволяє писати й запускати програми буквально в один клік. Програма дає можливість виконувати окремі команди Python у режимі реального часу та можна одразу керувати піновими Raspberry Pi.

Ми використовуємо для:

- перших уроків програмування,
- навчання дітей і студентів,
- створення простих проєктів на Raspberry Pi,
- роботи з датчиками та мікроконтролерами,
- експериментів у лабораторних роботах.

Це не професійна IDE, а легкий і дружній інструмент, який робить програмування доступним. Му 1.0.3 — це дуже проста програма для написання коду на Python. Вона ідеальна для Raspberry Pi, бо дозволяє легко запускати програми, керувати GPIO й працювати з датчиками. Якщо ти тільки починаєш працювати з Raspberry Pi — Му найзручніший інструмент, щоб швидко навчитися основам. Інтерфейс програми наведений на рис. 3.4. Код повністю сумісний із платою, оскільки використовує ті самі GPIO-контакти (17, 14, 15, 19, 13, 6, 5), які фізично доступні на платі.



The screenshot shows the Mu 1.0.3 IDE interface. The top bar contains various icons for Mode, New, Load, Save, Stop, Debug, REPL, Plotter, Zoom-in, Zoom-out, Theme, Check, Help, and Quit. The main area displays a Python script named 'Gavrys_diplom.py' with the following code:

```

70 for m in rear_motors:
71     m.off()
72
73 # -----
74 # Основний цикл роботи
75 # -----
76
77 def loop():
78     while True:
79         try:
80             print("Піднесіть RFID картку/мітку до рідера...")
81             card_id, text = reader.read() # Блокуючий виклик
82             print(f"Зчитано RFID! ID: {card_id}, текст: {text}")
83
84             # 1. Діод на GPIO12 світиться 1 секунду
85             print("Вмикаю діод на GPIO12 на 1 секунду...")
86             rfid_led.on()
87             sleep(1)
88             rfid_led.off()
89
90             # 2. Вимірюємо відстань
91             distance = sensor.distance * 100 # у см
92             print(f"Відстань: {distance:.1f} см")
93
94             # 3. Якщо відстань менше 10 см – крутимо кроковий двигун
95             if distance < 10:

```

Рисунок 3.4 – Інтерфейс програми Му 1.0.3

Перед запуском важливо правильно налаштувати апаратну частину, тому перемикачі на платі потрібно встановити у робочі положення, щоб Raspberry Pi міг керувати драйверами та отримувати сигнали від сенсорів, після чого вже можна створювати новий файл у форматі .py.

Програма починається зі створення об'єктів для керування сервоприводом, кроковим двигуном, ультразвуковим сенсором, світлодіодом та RFID-зчитувачем. Серво одразу переводиться у стартовий кут. Кроковий двигун готується до роботи через набір логічних виходів, які згодом будуть

керувати coil-послідовностями. Далі визначаються допоміжні функції: `moveOnePeriod`, яка виконує один цикл роботи крокового двигуна відповідно до вибраного напрямку, `moveSteps`, яка повторює цей цикл багато разів, та `stopRearMotors`, яка повністю вимикає всі котушки двигуна.

Основний сценарій роботи реалізовано у функції `loop`. Після запуску програма постійно очікує, поки користувач піднесе RFID-картку. Коли метод `reader.read` повертає дані, програма сигналізує про успішне зчитування за допомогою LED через коротке вмикання. Потім `sensor.distance` визначає відстань до об'єкта. Якщо вона виявляється меншою за порогове значення, програма ініціює рух крокового двигуна: спочатку метод `moveSteps` обертає його на певну кількість кроків у напрямку за годинниковою стрілкою, після паузи — інший виклик `moveSteps` повертає двигун назад проти годинникової стрілки. Якщо відстань більша за поріг, рух двигуна просто пропускається. Після цього цикл повертається в початок, і програма знову чекає RFID-мітку.

При завершенні роботи викликається функція `destroy`. Вона вимикає кроковий двигун через `stopRearMotors`, закриває доступ до сервоприводу, сенсора та LED за допомогою їхніх методів `close`, очищує GPIO через `GPIO.cleanup`, і тим самим безпечно завершує роботу всієї системи.

У блоці `__main__` програма запускається, виводить повідомлення про старт і переходить до виконання `loop`. Якщо користувач перерве виконання через `Ctrl+C`, виклик `destroy` забезпечить коректне відключення обладнання.

3.3 Тестування, калібрування та оцінювання роботи системи

Після завершення складання апаратної частини та розробки програмного забезпечення було проведено комплексне тестування системи. Метою даного етапу стало підтвердження коректності роботи всіх модулів, зокрема RFID-зчитувача, ультразвукового сенсора відстані, сервопривода та крокового двигуна, а також оптимізація параметрів їх взаємодії. Тестування виконувалося

на зібраному експериментальному стенді, розміщеному на платі Freenove, у поєднанні з Raspberry Pi 5 та відповідними периферійними компонентами.

На першому етапі проводилася перевірка коректності підключення всіх модулів. Після запуску програми в середовищі Mu 1.0.3 система переходила в режим очікування RFID-мітки, що підтверджувалось відповідним повідомленням у консолі: «Піднесіть RFID картку/мітку до рідера...». На рис. 3.5 та 3.6 наведено приклади роботи модуля зчитування, де консоль фіксує ID RFID-теги та текстові дані, які містилися у мітці.

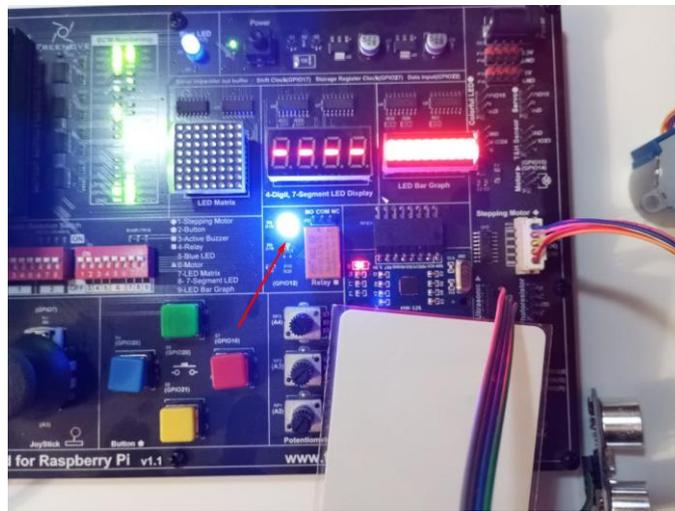


Рисунок 3.5 - Приклад роботи модуля зчитування

```

Mu 1.0.3 - Gavrys_diplom.py
Mode New Load Save Stop Debug REPL Plotter Zoom-in Zoom-out Theme Check Help Quit
Gavrys_diplom.py
70 for m in rear_motors:
71     m.off()
72
73 # -----
74 # Основний цикл роботи
75 # -----
76
77 def loop():
78     while True:
79         try:
80             print("Піднесіть RFID картку/мітку до рідера...")
81             card_id, text = reader.read() # Блокувальний виклик
82             print(f"Зчитано RFID! ID: {card_id}, текст: {text}")
83
84             # 1. Діод на GPIO12 світиться 1 секунду
85             print("Вмикаю діод на GPIO12 на 1 секунду...")
86             rfid_led.on()
87             sleep(1)
88             rfid_led.off()
89
90             # 2. Вимірюємо відстань
91             distance = sensor.distance * 100 # у см
92             print(f"Відстань: {distance:.1f} см")
93
94             # 3. Якщо відстань менше 10 см – крутимо кроковий двигун
95             if distance < 10:

```

Running: Gavrys_diplom.py
Робота стартує. Очікую RFID картку...
Піднесіть RFID картку/мітку до рідера...
Зчитано RFID! ID: 632607939228, текст: ...
Вмикаю діод на GPIO12 на 1 секунду...

Рисунок 3.6 – Скрін екрану при початку роботи програми

Після успішного зчитування на платі активувався світлодіод на GPIO12, що сигналізувало про коректне приймання даних з мітки. Цей етап дозволив перевірити роботу бібліотеки MFRC522, GPIO-інтерфейсу Raspberry Pi та відповідність логіки програмного забезпечення очікуваній структурі подій.

Наступним етапом стало тестування роботи сенсора відстані. Для цього перед датчиком розміщувався контрольний об'єкт, віддалений на різні відстані як показано на рис. 3.7. Програма виводила в консоль відповідні вимірні значення (рис. 3.8). Зафіксовано, що сенсор стабільно визначає позицію об'єкта в діапазоні 2–300 см, що відповідає його паспортним характеристикам.

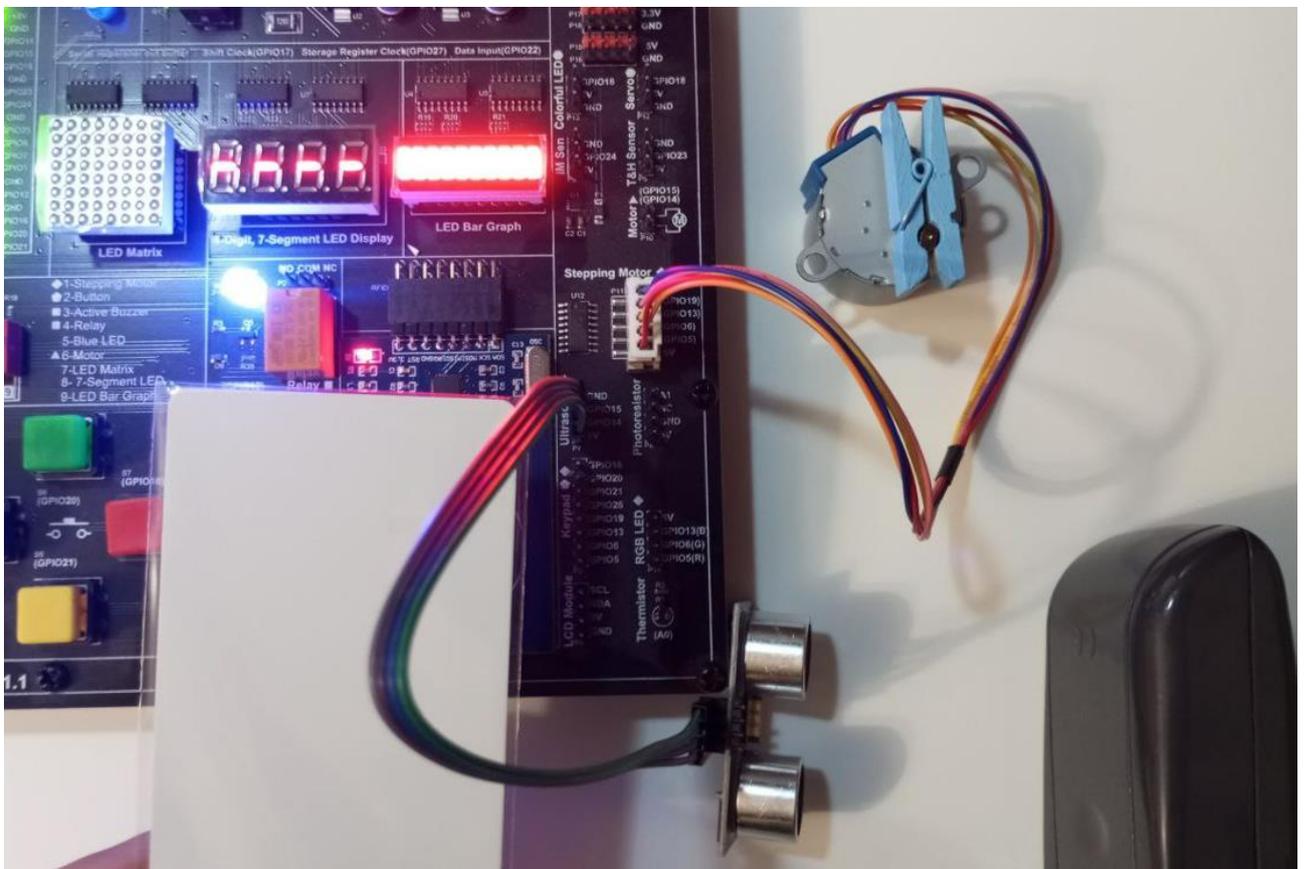


Рисунок 3.7 - Контрольний об'єкт перед датчиком відстані

Під час калібрування встановлено порогове значення спрацювання — 10 см. За умови, що об'єкт знаходиться ближче цього значення, система переходить до наступного етапу — керування кроковим двигуном. Для

досягнення стабільності вимірювань були виконані повторні серії вимірів, що дозволило усереднити показники та усунути випадкові флуктуації.

```

84      # 1. Діод на GPIO12 світиться 1 секунду
85      print("Вмикаю діод на GPIO12 на 1 секунду...")
86      rfid_led.on()
87      sleep(1)
88      rfid_led.off()
89
90      # 2. Вимірюємо відстань
91      distance = sensor.distance * 100 # у см
92      print(f"Відстань: {distance:.1f} см")
93
94      # 3. Якщо відстань менше 10 см – крутимо кроковий двигун
95      if distance < 10:

```

Running: Gavrys_diplom.py

```

Робот стартус. Очікую RFID картку...
Піднесіть RFID картку/мітку до рідера...
Зчитано RFID! ID: 632607939228, текст:
Вмикаю діод на GPIO12 на 1 секунду...
Відстань: 3.7 см
Відстань < 10 см. Обертаю кроковий двигун на 90° за годинниковою...

```

Рисунок 3.8 - Результати в консолі

Наступним елементом системи є кроковий двигун, який здійснює обертання на 90° у відповідь на наближення об'єкта. На рис. 3.9 – 3.10 відображено момент, коли двигун виконує обертання після зчитування RFID та досягнення порогової відстані.

Для забезпечення необхідного кута повороту було проведено калібрування параметра STEPS_FOR_90. Встановлено, що для даного двигуна та драйвера оптимальним значенням є 128 кроків, що забезпечує точний поворот без механічних ривків.

Тестування включало два етапи:

- Обертання за годинниковою стрілкою на 90° після підтвердження умов запуску
- Зворотнє повернення двигуна у вихідне положення після паузи у 1 секунду.

На рис. 3.9 показані повідомлення в консолі. А на рис. 3.10 зображено зміну положення крокового двигуна.

```

89
90     # 2. Вимірюємо відстань
91     distance = sensor.distance * 100 # у см
92     print(f"Відстань: {distance:.1f} см")
93
94     # 3. Якщо відстань менше 10 см – крутимо кроковий двигун
95     if distance < 10:

```

Running: Gavrys_diplom.py

Піднесіть RFID картку/мітку до рідера...
Зчитано RFID! ID: 632607939228, текст: .
Вмикаю діод на GPIO12 на 1 секунду...
Відстань: 3.7 см
Відстань < 10 см. Обертаю кроковий двигун на 90° за годинниковою...
Очікую 1 секунду...
Повертаю кроковий двигун назад на 90° (проти годинникової)...

```

89
90     # 2. Вимірюємо відстань
91     distance = sensor.distance * 100 # у см
92     print(f"Відстань: {distance:.1f} см")
93
94     # 3. Якщо відстань менше 10 см – крутимо кроковий двигун
95     if distance < 10:

```

Running: Gavrys_diplom.py

Вмикаю діод на GPIO12 на 1 секунду...
Відстань: 3.7 см
Відстань < 10 см. Обертаю кроковий двигун на 90° за годинниковою...
Очікую 1 секунду...
Повертаю кроковий двигун назад на 90° (проти годинникової)...
Цикл завершено. Можна знову підносити RFID картку.
Піднесіть RFID картку/мітку до рідера...

Рисунок 3.9 - Повідомлення в консолі

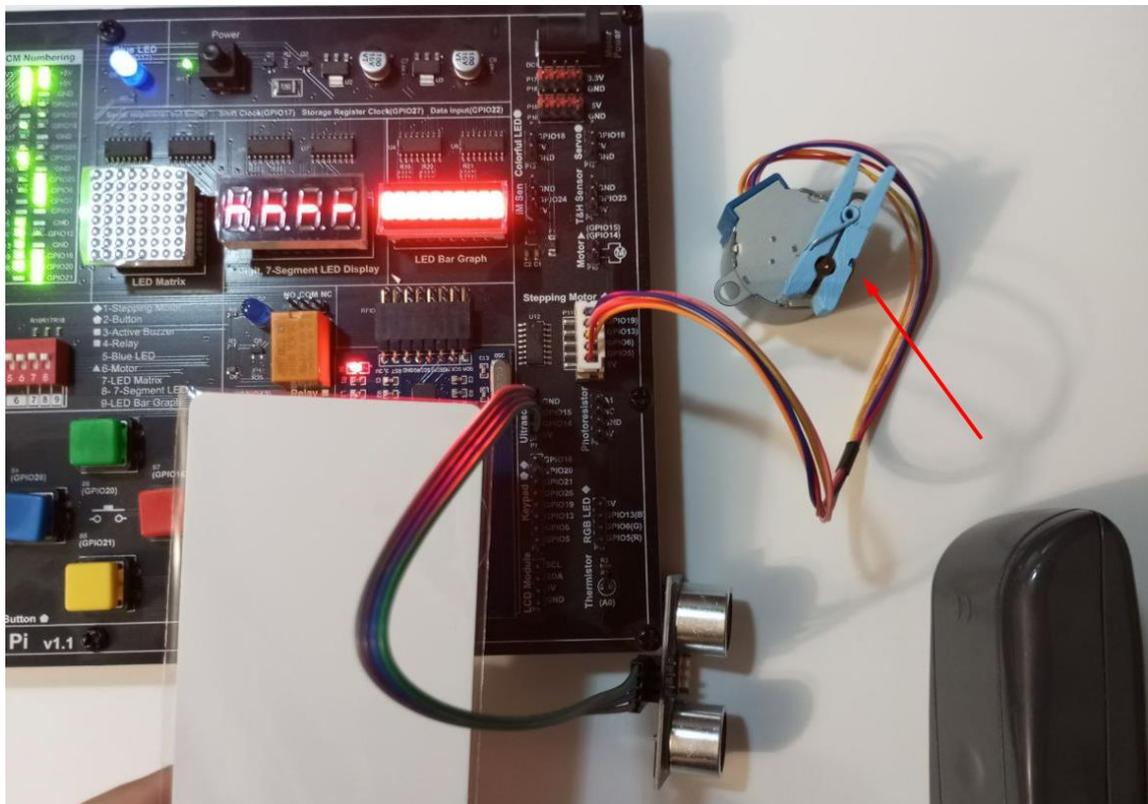


Рисунок 3.10 - Поворот крокового двигуна на макеті

Результати тестування показали стабільну роботу двигуна, рівномірне обертання та відсутність пропусків кроків. Усі етапи роботи чітко фіксувалися у консолі Му, що підтверджує правильність програмної логіки.

Координація роботи всіх модулів

Під час інтегрованого тестування перевірялася повна логічна послідовність роботи системи:

- користувач підносить RFID-мітку до рідера;
- зчитування та індикація підтверджуються світлодіодом;
- сенсор вимірює відстань;
- якщо умови виконано — запускається кроковий двигун;
- після виконання циклу система переходить у режим очікування нового RFID.

Результати експериментів демонструють стабільну роботу всіх модулів у поєднанні. Система реагує на RFID-маркер практично миттєво, а обробка даних виконується без затримок, що особливо важливо при роботі з фізичними пристроями.

Таким чином, система працює стабільно при тривалих циклах запуску. Кроковий двигун не перегрівається та зберігає точність позиціонування. Ультразвуковий сенсор демонструє прийнятну точність для задачі. Індикація через світлодіод забезпечує зручний візуальний контроль стану системи. Програмна частина правильно обробляє виняткові ситуації, наприклад повторний запуск чи некоректне зчитування.

У результаті тестування підтверджено повну функціональність побудованого прототипу та відповідність алгоритму роботи заявленим вимогам.

3.4 Висновки до розділу

Проведене тестування, калібрування та експериментальна оцінка роботи розробленої системи продемонстрували не лише її коректну технічну

реалізацію, але й підтвердили здатність моделі виконувати складні взаємодії між апаратними та програмними складовими в реальному часі. Весь комплекс експериментів засвідчив, що інтеграція Raspberry Pi 5 з Freenove Projects Board була оптимальним технічним рішенням, адже плата-розширювач виконала роль універсальної, надійної та стабільної апаратної платформи. Вона забезпечила безпечну роботу з датчиками та приводами, спростила підключення компонентів і зменшила ймовірність помилок під час складання, що є важливим фактором для розробок такого типу.

Перевірка роботи ультразвукового сенсора, RFID-зчитувача та крокового двигуна підтвердила, що система здатна збирати зовнішні сигнали, орієнтуватися у просторі, реагувати на зовнішні об'єкти та виконувати механічні дії на основі отриманих даних. Важливим результатом стало стабільне розпізнавання RFID-міток і негайна реакція системи, що демонструє можливість використання розробки в задачах ідентифікації, доступу або активації процесів.

Програмна частина, реалізована на Python із використанням бібліотеки `gpiozero`, показала високу ефективність та надійність у роботі з фізичними пінами Raspberry Pi. Усі обробки подій — від зчитування RFID до аналізу відстані та виконання обертання крокового двигуна — відбувалися послідовно і без збоїв. Це підтвердило правильність побудови логічних залежностей між подіями та їх впливом на апаратні модулі. Динамічні тести руху двигуна також підтвердили, що калібрування кількості кроків обертання забезпечує точне позиціонування механізму, необхідне для подальшого розширення функціональності системи.

Отримані результати свідчать про те, що розроблений прототип здатний працювати як автономна інтерактивна система, що реагує на зовнішні дії та виконує завдання в реальному часі. Це підкреслює практичну цінність проведеної роботи, адже побудований зразок — це не просто окрема демонстрація можливостей окремих модулів, а цілісна кіберфізична система, у якій апаратна частина та програмна логіка гармонійно поєднані між собою.

Таким чином, розроблений прототип повністю підтверджує життєздатність концепції та демонструє потенціал для масштабування, модернізації та інтеграції в ширші системи. Його стабільна робота свідчить про можливість переходу до наступних етапів — оптимізації, додавання функціональності та потенційного використання у складніших робототехнічних або автоматизаційних проектах. Це означає, що ідеї, закладені в теоретичній частині роботи, не лише були втілені у фізичну форму, а й довели свою практичну ефективність під час реального тестування.

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Науково-технічна розробка має право на існування та впровадження, якщо вона відповідає вимогам часу, як в напрямку науково-технічного прогресу та і в плані економіки. Тому для науково-дослідної роботи необхідно оцінювати економічну ефективність результатів виконаної роботи.

4.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки

Метою проведення комерційного і технологічного аудиту дослідження за темою «Інформаційно-вимірювальна система моніторингу руху на об'єкті» є оцінювання науково-технічного рівня та рівня комерційного потенціалу розробки, створеної в результаті науково-технічної діяльності.

Оцінювання науково-технічного рівня розробки та її комерційного потенціалу рекомендується здійснювати із застосуванням 5-ти бальної системи оцінювання за 12-ма критеріями [31]. Результати наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Результати оцінювання розробки експертами

Критерії	Експерт (ПІБ, посада)		
	1	2	3
	Бали:		
1. Технічна здійсненність концепції	4	4	4
2. Ринкові переваги (наявність аналогів)	4	4	3
3. Ринкові переваги (ціна продукту)	4	4	4
4. Ринкові переваги (технічні властивості)	3	4	4
5. Ринкові переваги (експлуатаційні витрати)	4	4	4
6. Ринкові перспективи (розмір ринку)	3	3	3
7. Ринкові перспективи (конкуренція)	3	2	2
8. Практична здійсненність (наявність фахівців)	4	4	4
9. Практична здійсненність (наявність фінансів)	2	2	2
10. Практична здійсненність (необхідність нових матеріалів)	3	4	4
11. Практична здійсненність (термін реалізації)	4	4	4
12. Практична здійсненність (розробка документів)	3	2	3
Сума балів	41	41	41
Середньоарифметична сума балів $СБ_c$	41,0		

За результатами розрахунків, наведених в таблиці 4.1, зробимо висновок щодо науково-технічного рівня і рівня комерційного потенціалу розробки. При цьому використаємо рекомендації, наведені в [31].

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки за темою «Інформаційно-вимірювальна система моніторингу руху на об'єкті» становить 41,0 бала, що, відповідно до [31], свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки високий).

4.2 Розрахунок узагальненого коефіцієнта якості розробки

Узагальнений коефіцієнт якості (B_n) для нового технічного рішення розрахуємо за формулою [32]:

$$B_n = \sum_{i=1}^k \alpha_i \cdot \beta_i, \quad (4.1)$$

де k – кількість найбільш важливих технічних показників, які впливають на якість нового технічного рішення;

α_i – коефіцієнт, який враховує питому вагу i -го технічного показника в загальній якості розробки. Коефіцієнт α_i визначається експертним шляхом і при

цьому має виконуватись умова $\sum_{i=1}^k \alpha_i = 1$;

β_i – відносне значення i -го технічного показника якості нової розробки.

Результати порівняння зведемо до таблиці 4.2.

Узагальнений коефіцієнт якості (B_n) для нового технічного рішення складе:

$$B_n = \sum_{i=1}^k \alpha_i \cdot \beta_i = 1,33 \cdot 0,3 + 1,5 \cdot 0,1 + 3 \cdot 0,25 + 1,66 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,15 = 1,93.$$

Таблиця 4.2 – Порівняння основних параметрів розробки та аналога

Показники (параметри)	Одиниця вимірювання	Аналог	Проектований продукт	Відношення параметрів нової розробки до аналога	Питома вага показника
Напруга живлення	В	12	9	1,33	0,3
Струм споживання	мА	300...1500	150...1000	1,5	0,1
Діапазон визначення відстані	см	10...100	1...500	3	0,25
Похибка вимірювання	см	+/- (5)	+/- (3)	1,66	0,2
Час обробки інформації	с	0,05...0,2	0,01...0,1	2	0,15

Отже за технічними параметрами, згідно узагальненого коефіцієнту якості розробки, науково-технічна розробка переважає існуючі аналоги приблизно в 1,93 рази.

4.3 Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи

Витрати, пов'язані з проведенням науково-дослідної роботи на тему «Інформаційно-вимірювальна система моніторингу руху на об'єкті», під час планування, обліку і калькулювання собівартості науково-дослідної роботи групуємо за відповідними статтями [32].

4.3.1 Витрати на оплату праці

Основна заробітна плата дослідників

Витрати на основну заробітну плату дослідників (Z_o) розраховуємо у відповідності до посадових окладів працівників, за формулою [31]:

$$Z_o = \sum_{i=1}^k \frac{M_{ni} \cdot t_i}{T_p}, \quad (4.2)$$

де k – кількість посад дослідників залучених до процесу досліджень;

M_{ni} – місячний посадовий оклад конкретного дослідника, (грн.);

t_i – число днів роботи конкретного дослідника, дн.;

T_p – середнє число робочих днів в місяці, $T_p=21$ дні.

$$Z_o = 24780,00 \cdot 21 / 21 = 24780,00 \text{ (грн.)}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Витрати на заробітну плату дослідників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, (грн.)	Оплата за робочий день, (грн.)	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, (грн.)
Керівник проекту (проектний менеджер)	24780,00	1180,00	21	24780,00
Інженер-розробник метрологічних систем	23950,00	1140,48	21	23950,00
Інженер-конструктор інформаційно-вимірювальної техніки 1-ї категорії	23600,00	1123,81	35	39333,33
Консультант-аналітик інформаційних систем	24000,00	1142,86	7	8000,00
Технік 1-ї категорії	9050,00	430,95	21	9050,00
Всього				105113,33

Основна заробітна плата робітників

Витрати на основну заробітну плату робітників (Z_p) за відповідними найменуваннями робіт НДР на тему «Інформаційно-вимірювальна система моніторингу руху на об'єкті» розраховуємо за формулою:

$$Z_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i, \quad (4.3)$$

де C_i – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, за виконану відповідну роботу, грн/год;

t_i – час роботи робітника при виконанні визначеної роботи, год.

Погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду C_i можна визначити за формулою:

$$C_i = \frac{M_M \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot t_{зм}}, \quad (4.4)$$

де M_M – розмір мінімальної місячної заробітної плати, прийємо $M_M=8000,00$ (грн.);

K_i – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення (табл. Б.2, додаток Б) [31];

K_c – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок;

T_p – середнє число робочих днів в місяці, приблизно $T_p = 21$ дн;

$t_{зм}$ – тривалість зміни, год.

$$C_i = 8000,00 \cdot 1,10 \cdot 1,25 / (21 \cdot 8) = 65,48 \text{ (грн.)}$$

$$З_{pl} = 65,48 \cdot 10,00 = 654,76 \text{ (грн.)}$$

Розраховані дані зведемо в таблицю 4.4.

Додаткова заробітна плата дослідників та робітників

Додаткову заробітну плату розраховуємо як 10 ... 12% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$З_{дод} = (З_o + З_p) \cdot \frac{H_{дод}}{100\%}, \quad (4.5)$$

де $H_{дод}$ – норма нарахування додаткової заробітної плати. Прийємо 10%.

$$З_{дод} = (105113,33 + 7435,71) \cdot 10 / 100\% = 11254,90 \text{ (грн.)}$$

Таблиця 4.4 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Тривалість роботи, год	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, (грн.)	Величина оплати на робітника, (грн.)
Монтаж обладнання	10,00	2	1,10	65,48	654,76
Підготовка робочого місця конструктора інформаційно-виміральної техніки	8,00	3	1,35	80,36	642,86
Встановлення програмного забезпечення розробки інформаційно-виміральної техніки	11,00	4	1,50	89,29	982,14
Вхідний контроль компонентів та дослідних вузлів	4,50	5	1,70	101,19	455,36
Монтаж компонентів досліджуваної техніки	8,00	5	1,70	101,19	809,52
Випробування дослідних блоків	16,00	4	1,50	89,29	1428,57
Налагодження блоків та вузлів	11,00	6	2,00	119,05	1309,52
Контроль роботи базових блоків системи в експерименті	6,20	3	1,35	80,36	498,21
Технічна підтримка експерименту	10,00	2	1,10	65,48	654,76
Всього					7435,71

4.3.2 Відрахування на соціальні заходи

Нарахування на заробітну плату дослідників та робітників розраховуємо як 22% від суми основної та додаткової заробітної плати дослідників і робітників за формулою:

$$Z_n = (Z_o + Z_p + Z_{дод}) \cdot \frac{H_{zn}}{100\%} \quad (4.6)$$

де H_{zn} – норма нарахування на заробітну плату. Приймаємо 22%.

$$Z_n = (105113,33 + 7435,71 + 11254,90) \cdot 22 / 100\% = 27236,87 \text{ (грн.)}$$

4.3.3 Сировина та матеріали

Витрати на матеріали (M), у вартісному вираженні розраховуються окремо по кожному виду матеріалів за формулою:

$$M = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j - \sum_{j=1}^n B_j \cdot C_{ej}, \quad (4.7)$$

де H_j – норма витрат матеріалу j -го найменування, кг;

n – кількість видів матеріалів;

C_j – вартість матеріалу j -го найменування, грн/кг;

K_j – коефіцієнт транспортних витрат, ($K_j = 1,1 \dots 1,15$);

B_j – маса відходів j -го найменування, кг;

C_{ej} – вартість відходів j -го найменування, грн/кг.

$$M_1 = 2,000 \cdot 205,00 \cdot 1,1 - 0 \cdot 0 = 451,00 \text{ (грн.)}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Витрати на матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Ціна за 1 кг, (грн.)	Норма витрат, кг	Величина відходів, кг	Ціна відходів, грн/кг	Вартість витраченого матеріалу, (грн.)
Папір канцелярський (A4)	205,00	2,000	0	0	451,00
Папір для заміток (A5)	76,00	4,000	0	0	334,40
Папір креслярський (A1)	60,00	3,000	0	0	198,00
Папір креслярський (A3)	30,00	3,000	0	0	99,00
Начиння канцелярське	210,00	1,000	0	0	231,00
Органайзер офісний	135,00	5,000	0	0	742,50
Картридж для принтера (HP-2106)	765,00	1,000	0	0	841,50
Картридж для принтера (HP-2002)	980,00	4,000	0	0	4312,00
Диск оптичний (CD-R)	27,00	4,000	0	0	118,80
Диск оптичний (CD-RW)	28,00	4,000	0	0	123,20
FLASH-пам'ять (64 ГБ)	299,00	2,000	0	0	657,80
Тека для паперів	98,00	4,000	0	0	431,20
Провід живлення	24,00	2,500	0	0	66,00
Провід монтажний	16,00	1,100	0	0	19,36
Інші матеріали	300,00	1,000	0	0	330,00
Всього					8955,76

4.3.4 Розрахунок витрат на комплектуючі

Витрати на комплектуючі (K_e), які використовують при проведенні НДР на тему «Інформаційно-вимірвальна система моніторингу руху на об'єкті», розраховуємо, згідно з їхньою номенклатурою, за формулою:

$$K_e = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j \quad (4.8)$$

де H_j – кількість комплектуючих j -го виду, шт.;

C_j – покупна ціна комплектуючих j -го виду, (грн.);

K_j – коефіцієнт транспортних витрат, ($K_j = 1,1 \dots 1,15$).

$$K_e = 1 \cdot 845,00 \cdot 1,1 = 929,50 \text{ (грн.)}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Витрати на комплектуючі

Найменування комплектуючих	Кількість, шт.	Ціна за штуку, (грн.)	Сума, (грн.)
Мікроконтролер STM32F429	1	845,00	929,50
MOSFET	1	560,00	616,00
Імпульсний трансформатор	1	759,00	834,90
Система інтерфейсів	2	1680,00	3696,00
Стабілізатор напруги LM7805	2	45,00	99,00
Випромінювач	1	435,00	478,50
Приймач	1	385,00	423,50
Оптичний датчик, відстані триангуляційний FT 10-RLA-60-PNSL-KM4	1	10210,00	11231,00
З'єднувальні елементи (дроти, клеми)	1	62,00	68,20
Всього			18376,60

4.3.5 Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт

Балансову вартість спецустаткування розраховуємо за формулою:

$$B_{\text{спец}} = \sum_{i=1}^k C_i \cdot C_{\text{пр.}i} \cdot K_i, \quad (4.9)$$

де C_i – ціна придбання одиниці спецустаткування даного виду, марки, (грн.);

$C_{\text{пр.}i}$ – кількість одиниць устаткування відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує доставку, монтаж, налагодження устаткування тощо, ($K_i = 1, 10 \dots 1, 12$);

k – кількість найменувань устаткування.

$$B_{\text{спец}} = 9620,00 \cdot 1 \cdot 1,1 = 10582,00 \text{ (грн.)}$$

Отримані результати зведемо до таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Витрати на придбання спецустаткування по кожному виду

Найменування устаткування	Кількість, шт	Ціна за одиницю, (грн.)	Вартість, (грн.)
Осцилограф	1	9620,00	10582,00
Лабораторний блок живлення	1	2400,00	2640,00
Мультиметр UNI-T UT55	1	7960,00	8756,00
Блок управління на базі сенсорного дисплею RVT70AQFFWR00 - RIVER	1	4900,00	5390,00
Вольтметр цифровий	1	4840,00	5324,00
Імітатор рухомих частин	1	2840,00	3124,00
Всього			35816,00

4.3.6 Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт
Балансову вартість програмного забезпечення розраховуємо за формулою:

$$B_{\text{прог}} = \sum_{i=1}^k C_{\text{инрг}} \cdot C_{\text{прог.}i} \cdot K_i, \quad (4.10)$$

де $C_{\text{инрг}}$ – ціна придбання одиниці програмного засобу даного виду, (грн.);

$C_{\text{прг.і}}$ – кількість одиниць програмного забезпечення відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує інсталяцію, налагодження програмного засобу тощо, ($K_i = 1, 10 \dots 1, 12$);

k – кількість найменувань програмних засобів.

$$V_{\text{прг}} = 42,00 \cdot 1 \cdot 1,1 = 46,20 \text{ (грн.)}$$

Отримані результати зведемо до таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 – Витрати на придбання програмних засобів по кожному виду

Найменування програмного засобу	Кількість, шт	Ціна за одиницю, (грн.)	Вартість, (грн.)
Ansys Electronics Desktop Student	1	42,00	46,20
Абонентна плата доступу до мережі Internet	1	380,00	418,00
Програмно-математичне середовище розробки MatLab 20 Pro	1	9750,00	10725,00
Пакет Visual System Simulator	1	5120,00	5632,00
Прикладне програмне забезпечення PCAD 2000 Schematic	1	9680,00	10648,00
Всього			27469,20

4.3.7 Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень

В спрощеному вигляді амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання, приміщень та програмному забезпеченню тощо, розраховуємо з використанням прямолінійного методу амортизації за формулою:

$$A_{\text{обл}} = \frac{Ц_{\text{б}}}{T_{\text{г}}} \cdot \frac{t_{\text{вик}}}{12}, \quad (4.11)$$

де $Ц_{\text{б}}$ – балансова вартість обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, які використовувались для проведення досліджень, (грн.);

$t_{\text{вик}}$ – термін використання обладнання, програмних засобів, приміщень під час досліджень, місяців;

T_e – строк корисного використання обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, років.

$$A_{обл} = (38999,00 \cdot 2) / (3 \cdot 12) = 2166,61 \text{ (грн.)}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 4.9.

Таблиця 4.9 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Найменування обладнання	Балансова вартість, (грн.)	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, (грн.)
Персональний комп'ютер розробника інформаційно-вимірювальної техніки	38999,00	3	2	2166,61
Електронно-графічна система проектування	48599,00	3	2	2699,94
Робоче місце інженера-розробника інформаційно-вимірювальної техніки	9460,00	5	2	315,33
Робоче місце розробника інформаційних систем	8560,00	5	2	285,33
Монтажне обладнання	7600,00	4	2	316,67
Приміщення лабораторії розробки та дослідження	515000,00	35	2	2452,38
ОС Windows 11	8789,00	3	2	488,28
Прикладний пакет Microsoft Office 2021 Professional Plus	7759,00	3	2	431,06
Мережеве обладнання передачі цифрових даних	6799,00	4	2	283,29
Оргтехніка	8880,00	5	2	120,53
Всього				9438,89

4.3.8 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей

Витрати на силову електроенергію (B_e) розраховуємо за формулою:

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yi} \cdot t_i \cdot C_e \cdot K_{eni}}{\eta_i}, \quad (4.12)$$

де W_{yi} – встановлена потужність обладнання на визначеному етапі розробки, кВт;

t_i – тривалість роботи обладнання на етапі дослідження, год;

C_e – вартість 1 кВт-години електроенергії, грн; прийmemo $C_e = 12,56$ (грн.);

K_{eni} – коефіцієнт, що враховує використання потужності, $K_{eni} < 1$;

η_i – коефіцієнт корисної дії обладнання, $\eta_i < 1$.

$$B_e = 0,25 \cdot 240,0 \cdot 12,56 \cdot 0,95 / 0,97 = 753,60 \text{ (грн.)}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 4.10.

Таблиця 4.10 – Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Тривалість роботи, год	Сума, (грн.)
Персональний комп'ютер розробника інформаційно-вимірювальної техніки	0,25	240,0	753,60
Електронно-графічна система проектування	0,32	240,0	964,61
Робоче місце інженера-розробника інформаційно-вимірювальної техніки	0,08	240,0	241,15
Робоче місце розробника інформаційних систем	0,07	180,0	158,26
Монтажне обладнання	0,20	15,0	37,68
Мережеве обладнання передачі цифрових даних	0,02	240,0	60,29
Оргтехніка	0,36	2,2	9,95
Осцилограф	0,10	18,0	22,61
Мультиметр UNI-T UT55	0,08	18,0	18,09
Вольтметр цифровий	0,12	18,0	27,13
Всього			2293,36

4.3.9 Службові відрядження

Витрати за статтею «Службові відрядження» розраховуємо як 20...25% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{cv} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{cv}}{100\%}, \quad (4.13)$$

де H_{cv} – норма нарахування за статтею «Службові відрядження», прийmemo $H_{cv} = 20\%$.

$$B_{cv} = (105113,33 + 7435,71) \cdot 20 / 100\% = 22509,81 \text{ (грн.)}$$

4.3.10 Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації

Витрати розраховуємо як 30...45% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{cn} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{cn}}{100\%}, \quad (4.14)$$

де H_{cn} – норма нарахування за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації», прийmemo $H_{cn} = 35\%$.

$$B_{cn} = (105113,33 + 7435,71) \cdot 35 / 100\% = 39392,17 \text{ (грн.)}$$

4.3.11 Інші витрати

Витрати за статтею «Інші витрати» розраховуємо як 50...100% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$I_e = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{ie}}{100\%}, \quad (4.15)$$

де H_{ib} – норма нарахування за статтею «Інші витрати», прийmemo $H_{ib} = 65\%$.

$$I_6 = (105113,33 + 7435,71) \cdot 65 / 100\% = 73156,88 \text{ (грн.)}$$

4.3.12 Накладні (загально-виробничі) витрати

Витрати за статтею «Накладні (загально-виробничі) витрати» розраховуємо як 100...150% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{нзв} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{нзв}}{100\%}, \quad (4.16)$$

де $H_{нзв}$ – норма нарахування за статтею «Накладні (загально-виробничі) витрати», прийmemo $H_{нзв} = 100\%$.

$$B_{нзв} = (105113,33 + 7435,71) \cdot 100 / 100\% = 112549,05 \text{ (грн.)}$$

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Інформаційно-вимірювальна система моніторингу руху на об'єкті» розраховуємо як суму всіх попередніх статей витрат за формулою:

$$B_{заг} = Z_o + Z_p + Z_{одд} + Z_n + M + K_6 + B_{специ} + B_{прз} + A_{обл} + B_e + B_{св} + B_{си} + I_6 + B_{нзв}. \quad (4.17)$$

$$\begin{aligned} B_{заг} = & 105113,33 + 7435,71 + 11254,90 + 27236,87 + 8955,76 + 18376,60 \\ & + 35816,00 + 27469,20 + 9438,89 + 2293,36 + 22509,81 + 39392,17 + 73156,88 \\ & + 112549,05 = 500998,54 \text{ (грн.)} \end{aligned}$$

Загальні витрати ZB на завершення науково-дослідної (науково-технічної) роботи та оформлення її результатів розраховується за формулою:

$$ZB = \frac{B_{заг}}{\eta}, \quad (4.18)$$

де η - коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання науково-дослідної роботи, прийmemo $\eta=0,95$.

$$3B = 500998,54 / 0,95 = 527366,88 \text{ (грн.)}$$

4.4 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки при її можливій комерціалізації потенційним інвестором

Результати дослідження проведені за темою «Інформаційно-вимірювальна система моніторингу руху на об'єкті» передбачають комерціалізацію протягом 4-х років реалізації на ринку.

В цьому випадку майбутній економічний ефект буде формуватися на основі таких даних:

ΔN – збільшення кількості споживачів пристрою, у періоди часу, що аналізуються, від покращення його певних характеристик;

Показник	1-й рік	2-й рік	3-й рік	4-й рік
Збільшення кількості споживачів, осіб	200	400	500	100

N – кількість споживачів які використовували аналогічний пристрій у році до впровадження результатів нової науково-технічної розробки, прийmemo 4300 осіб;

C_o – вартість пристрою у році до впровадження результатів розробки, прийmemo 12899,00 (грн.);

$\pm \Delta C_o$ – зміна вартості пристрою від впровадження результатів науково-технічної розробки, прийmemo 1008,97 (грн.)

Можливе збільшення чистого прибутку у потенційного інвестора $\Delta \Pi_i$ для кожного із 4-х років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, розраховуємо за формулою [31]:

$$\Delta\Pi_i = (\pm\Delta C_o \cdot N + C_o \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{g}{100}\right), \quad (4.19)$$

де λ – коефіцієнт, який враховує сплату потенційним інвестором податку на додану вартість. У 2025 році ставка податку на додану вартість складає 20%, а коефіцієнт $\lambda = 0,8333$;

ρ – коефіцієнт, який враховує рентабельність інноваційного продукту).
Прийmemo $\rho = 35\%$;

g – ставка податку на прибуток, який має сплачувати потенційний інвестор, у 2025 році $g = 18\%$;

Збільшення чистого прибутку 1-го року:

$$\Delta\Pi_1 = (1008,97 \cdot 4300,00 + 13907,97 \cdot 200) \cdot 0,83 \cdot 0,35 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 1696093,43 \text{ (грн.)}$$

Збільшення чистого прибутку 2-го року:

$$\Delta\Pi_2 = (1008,97 \cdot 4300,00 + 13907,97 \cdot 600) \cdot 0,83 \cdot 0,35 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 3021300,35 \text{ (грн.)}$$

Збільшення чистого прибутку 3-го року:

$$\Delta\Pi_3 = (1008,97 \cdot 4300,00 + 13907,97 \cdot 1100) \cdot 0,83 \cdot 0,35 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 4677809,00 \text{ (грн.)}$$

Збільшення чистого прибутку 4-го року:

$$\Delta\Pi_4 = (1008,97 \cdot 4300,00 + 13907,97 \cdot 1200) \cdot 0,83 \cdot 0,35 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 5009110,73 \text{ (грн.)}$$

Приведена вартість збільшення всіх чистих прибутків $ПП$, що їх може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки:

$$ПП = \sum_{i=1}^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1 + \tau)^i}, \quad (4.20)$$

де $\Delta\Pi_i$ – збільшення чистого прибутку у кожному з років, протягом яких виявляються результати впровадження науково-технічної розробки, (грн.);

T – період часу, протягом якого очікується отримання позитивних результатів від впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, роки;

τ – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні, $\tau = 0,12$;

t – період часу (в роках) від моменту початку впровадження науково-технічної розробки до моменту отримання потенційним інвестором додаткових чистих прибутків у цьому році.

$$\begin{aligned} ПП &= 1696093,43/(1+0,12)^1 + 3021300,35/(1+0,12)^2 + 4677809,00/(1+0,12)^3 + \\ &+ 5009110,73/(1+0,12)^4 = 1514369,14 + 2408562,14 + 3329572,05 + 3183380,42 = \\ &= 10435883,75 \text{ (грн.)} \end{aligned}$$

Величина початкових інвестицій PV , які потенційний інвестор має вкласти для впровадження і комерціалізації науково-технічної розробки:

$$PV = k_{инв} \cdot 3B, \quad (4.21)$$

де $k_{инв}$ – коефіцієнт, що враховує витрати інвестора на впровадження науково-технічної розробки та її комерціалізацію, приймаємо $k_{инв} = 2$;

$3B$ – загальні витрати на проведення науково-технічної розробки та оформлення її результатів, приймаємо 527366,88 (грн.)

$$PV = k_{инв} \cdot 3B = 2 \cdot 527366,88 = 1054733,76 \text{ (грн.)}$$

Абсолютний економічний ефект $E_{абс}$ для потенційного інвестора від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки становитиме:

$$E_{абс} = ПП - PV \quad (4.22)$$

де $ПП$ – приведена вартість зростання всіх чистих прибутків від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, 10435883,75 (грн.);

PV – теперішня вартість початкових інвестицій, 1054733,76 (грн.)

$$E_{abc} = ПП - PV = 10435883,75 - 1054733,76 = 9381149,99 \text{ (грн.)}$$

Внутрішня економічна дохідність інвестицій E_g , які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки:

$$E_g = T_{ж} \sqrt[1]{1 + \frac{E_{abc}}{PV}} - 1, \quad (4.23)$$

де E_{abc} – абсолютний економічний ефект вкладених інвестицій, 9381149,99 (грн.);

PV – теперішня вартість початкових інвестицій, 1054733,76 (грн.);

$T_{ж}$ – життєвий цикл науково-технічної розробки, тобто час від початку її розробки до закінчення отримання позитивних результатів від її впровадження, 4 роки.

$$E_g = T_{ж} \sqrt[1]{1 + \frac{E_{abc}}{PV}} - 1 = (1 + 9381149,99/1054733,76)^{1/4} - 1 = 0,77.$$

Мінімальна внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій τ_{min} :

$$\tau_{min} = d + f, \quad (4.24)$$

де d – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2025 році в Україні $d = 0,11$;

f – показник, що характеризує ризикованість вкладення інвестицій, приймемо 0,3.

$\tau_{min} = 0,11 + 0,3 = 0,41 < 0,77$ свідчить про те, що внутрішня економічна дохідність інвестицій E_g , вища мінімальної внутрішньої дохідності. Тобто інвестувати в науково-дослідну роботу за темою «Інформаційно-виміррювальна система моніторингу руху на об'єкті» доцільно.

Період окупності інвестицій $T_{ок}$ які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки:

$$T_{ок} = \frac{1}{E_g}, \quad (4.25)$$

де E_g – внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій.

$$T_{ок} = 1 / 0,77 = 1,29 \text{ р.}$$

$T_{ок} < 3$ -х років, що свідчить про комерційну привабливість науково-технічної розробки і може спонукати потенційного інвестора профінансувати впровадження даної розробки та виведення її на ринок.

4.5 Висновки до розділу

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки за темою «Інформаційно-виміррювальна система моніторингу руху на об'єкті» становить 41,0 бала, що, свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки високий).

При оцінюванні за технічними параметрами, згідно узагальненого коефіцієнту якості розробки, науково-технічна розробка переважає існуючі аналоги приблизно в 1,93 рази.

Також термін окупності становить 1,29 р., що менше 3-х років, що свідчить про комерційну привабливість науково-технічної розробки і може

спонукати потенційного інвестора профінансувати впровадження даної розробки та виведення її на ринок.

Отже можна зробити висновок про доцільність проведення науково-дослідної роботи за темою «Інформаційно-вимірювальна система моніторингу руху на об'єкті».

ВИСНОВКИ

У результаті виконання магістерської роботи було розроблено та експериментально досліджено інформаційно-вимірювальну систему моніторингу руху на об'єкті на базі Raspberry Pi 5. Було підтверджено, що навіть компактні одноплатні обчислювальні модулі здатні забезпечити високий рівень функціональності та гнучкості, необхідний для реалізації сучасних технічних рішень. Проведений цикл проектування – від побудови апаратної архітектури до тестування програмних алгоритмів – дав змогу глибоко оцінити особливості роботи сенсорних модулів, виконавчих механізмів та логіки керування ними у реальному часі.

Перш за все, практичне застосування плати Freenove Projects Board відіграло ключову роль у стабільності та надійності всієї системи. Її вбудовані захисти, драйвери і стандартизовані роз'єми значно спростили інтеграцію ультразвукового датчика, RFID-зчитувача, сервоприводу та крокового двигуна. Завдяки цьому процес побудови прототипу був максимально чистим з точки зору електроніки та безпековим у контексті роботи з GPIO Raspberry Pi. Використання плати як комутаційної основи продемонструвало, що модульні підходи до схемотехніки можуть значно скоротити час розробки та підвищити якість практичної збірки.

Програмна частина системи, створена мовою Python із застосуванням бібліотек `gpiozero` та `SimpleMFRC522`, показала ефективність високорівневих засобів керування апаратними компонентами. Робота алгоритмів з RFID-зчитуванням, обробкою даних ультразвукового сенсора та виконанням рухових команд виявила стабільність і передбачуваність, що є критично важливим для робототехнічних застосувань. Алгоритм прийняття рішення – коли система реагує на дані відстані та ініціює обертання крокового двигуна – підтвердив можливість створення адаптивної поведінки без затримок і збоїв. Логіка циклу `loop()` забезпечила безперервне опитування датчиків та контроль виконавчих механізмів, формуючи реальну реактивну модель поведінки.

Проведене тестування дало змогу переконатися в коректності реалізації кожного блоку системи. Було перевірено точність ультразвукового датчика в

умовах різної відстані та типів поверхонь, стабільність обертання крокового двигуна, надійність сервоприводу та працездатність RFID-зчитувача. До того ж, експериментальні серії з різними сценаріями (відсутність об'єкта, об'єкт на межі спрацьовування, надмірно близьке розташування) дозволили переконатися, що алгоритм керування працює коректно та не створює хибних спрацьовувань. Повторні цикли роботи підтвердили, що система здатна функціонувати тривалий час без необхідності втручання оператора.

Окремо слід зазначити, що поєднання механічних компонентів та електронних модулів дало змогу оцінити не лише програмну частину, але й питання енергоспоживання, теплової стабільності та узгодженості роботи між пристроями з різною робочою напругою. За результатами тестування було встановлено, що Freenove Board ефективно виконує функцію перетворення сигналів, що запобігає ризику перевантаження GPIO Raspberry Pi, а це у свою чергу підвищує надійність системи.

Узагальнюючи результати, можна стверджувати, що створена система повністю підтвердила життєздатність обраної концепції. Вона продемонструвала здатність виконувати автономні дії, реагувати на зовнішні стимули та взаємодіяти з користувачем через RFID-ідентифікацію. Поєднання програмної логіки та апаратної інтеграції сформувало функціональний прототип робототехнічної моделі, яку можна масштабувати й розширювати. Система може бути доповнена новими сенсорами, мережевими можливостями, алгоритмами навігації, елементами машинного навчання або ж перенесена в мобільне шасі для створення повноцінного робота.

Таким чином, результати проведених досліджень підтверджують, що Raspberry Pi 5 у поєднанні з Freenove Projects Board є ефективною платформою для навчальних, наукових та інженерних розробок у галузі робототехніки. Вона дає змогу створювати прототипи різної складності та з високим рівнем функціональності без потреби у дорогому спеціалізованому обладнанні. Система, розроблена у межах проєкту, є не лише демонстрацією працездатного технічного рішення, але й відправною точкою для подальших досліджень та вдосконалень, що відкривають шлях до створення більш складних, автономних та інтелектуальних платформ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Білан С. І. Робототехнічні системи на базі Raspberry Pi: навчальний посібник. – Львів: ЛНУ, 2023. – 284 с.
2. Паламарчук О. В., Сидоренко П. Ю. Мікроконтролерні системи: принципи побудови та програмування. – Київ: Ліра-К, 2022. – 312 с.
3. Балабанов В. С. Автоматизовані системи керування: принципи побудови та практичне застосування. – Харків: ХНУРЕ, 2021. – 276 с.
4. Овчаренко Д. В. Основи робототехнічних систем та мікроконтролерного керування. – Київ: Наук. думка, 2021. – 244 с.
5. Raspberry Pi Foundation. Raspberry Pi 5 Technical Documentation. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.raspberrypi.com/documentation/>
6. Raspberry Pi Foundation. Raspberry Pi 5 Product Page. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-5/>
7. Microchip Technology Inc. MFRC522 – RFID Reader IC Datasheet. – Chandler, AZ: Microchip, 2023. – 36 с.
8. Elecrow. HC-SR04 Ultrasonic Distance Sensor Specifications. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Proximity/HCSR04.pdf>
9. Monk, S. Programming Raspberry Pi: Getting Started with Python. – 3rd Edition. – McGraw-Hill Education, 2023. – 400 с.
10. Ibrahim, D. Advanced Raspberry Pi: Interfacing Sensors and Actuators. – Elsevier, 2021. – 352 с.
11. Jones, D., Heath, S. Practical Raspberry Pi Projects. – Apress, 2022. – 358 с.
12. Офіційна документація бібліотеки gpiozero. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://gpiozero.readthedocs.io/>
13. Arduino Project Hub. Using HC-SR04 and Servo Motor for Distance Scanning. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://projecthub.arduino.cc/>

14. IEEE Sensors Journal. Smart Vehicle Access and Distance Monitoring Systems Based on Raspberry Pi and RFID. – Vol. 23, No. 5, 2024. – С. 1254–1262.
15. Zhang, Y., & Liu, P. IoT-Based Access Control Using RFID and Raspberry Pi. – International Journal of Embedded Systems, 2023. – Vol. 16(3). – С. 211–219.
16. Wong, D. Servo and Stepper Motor Control with Python on Raspberry Pi. – Maker Media, 2022. – 198 с.
17. Raspberry Pi Press. Get Started with Sensors and Motors on Raspberry Pi. – Cambridge: Raspberry Pi Press, 2023. – 84 с.
18. Elektor Labs. Building an RFID Access Control with Raspberry Pi. – Elektor Magazine, 2022. – Vol. 48(7). – С. 44–52.
19. Adafruit Industries. Controlling HC-SR04 Ultrasonic Sensors with Python. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://learn.adafruit.com/>
20. Tervo, A. Servo Motor Control and PWM Signal Generation Using Python and GPIO. – Helsinki University of Technology, 2020. – 24 с.
21. Banzi, M., Shiloh, M. Getting Started with Arduino and Raspberry Pi Interfacing. – O'Reilly Media, 2021. – 250 с.
22. Khanna, R. Smart Gate Automation System using RFID and Raspberry Pi. – Journal of Automation Engineering, 2023. – Vol. 15(2). – С. 77–84.
23. Aliyev, R., Mustafa, E. Autonomous Vehicle Barrier System Based on Raspberry Pi and Ultrasonic Sensors. – Automation and Control Review, 2024. – Vol. 12(1). – P. 34–42.
24. Mouser Electronics. Servo Motor Technical Specifications and Control Methods. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mouser.com/>
25. Texas Instruments. Stepper Motor Control Design Guide. – Dallas, TX: TI, 2022. – 59 p.
26. Open Source Robotics Foundation. ROS Integration with Raspberry Pi for Autonomous Systems. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ros.org/>

27. Sharma, K. PID-Based Motion Control for Raspberry Pi Mobile Platforms. – IEEE Transactions on Mechatronics, 2023. – Vol. 28(2). – P. 845–853.
28. Офіційна документація Python. RPi.GPIO Library Reference. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://rpi.org/project/RPi.GPIO/>
29. Gupta, A. Design and Implementation of a Smart Parking System Using Raspberry Pi and RFID. – International Journal of Smart Systems and Technology, 2022. – Vol. 11(4). – P. 291–300.
30. Polak, T. Modern IoT Automation with Raspberry Pi and Node-RED. – Packt Publishing, 2023. – 372 p.
31. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.
32. Кавецький В. В. Економічне обґрунтування інноваційних рішень: практикум / В. В. Кавецький, В. О. Козловський, І. В. Причепа – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 113 с.

Додаток А
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА
ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА
МОНІТОРИНГУ РУХУ НА ОБ'ЄКТІ

Виконав: студент 2-го курсу, групи КІВТ-24м
спеціальності 175 – Інформаційно - вимірювальні
технології

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)


Гаврись М.С.
(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент каф. ІРТС


Притула М.О.
(прізвище та ініціали)

«15» 12 2025 р.

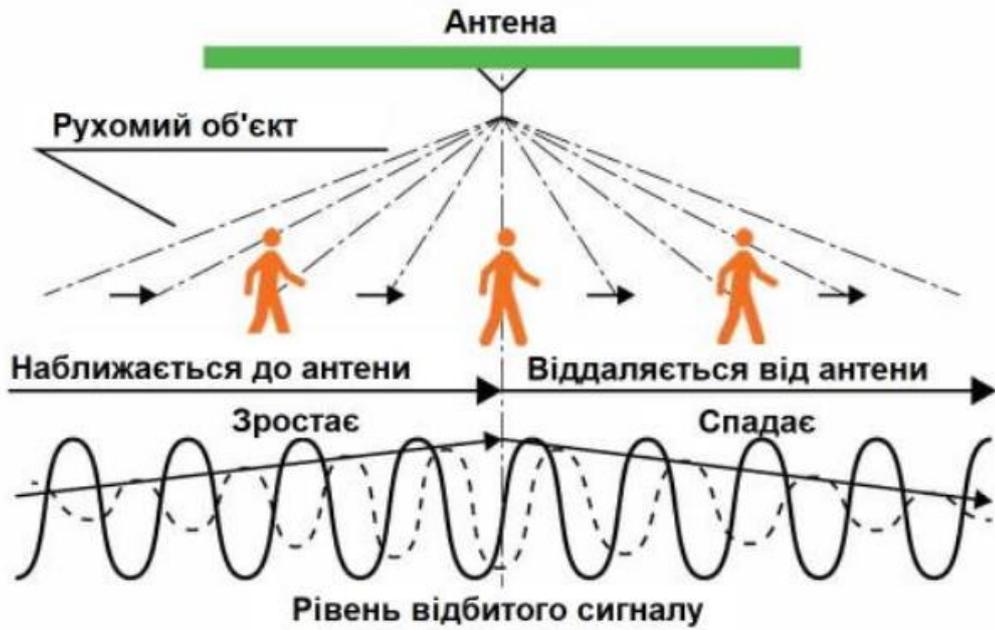


Рисунок 1 - Принцип роботи мікрохвильових сенсорів



Рисунок 2 – Принцип роботи ультразвукових сенсорів

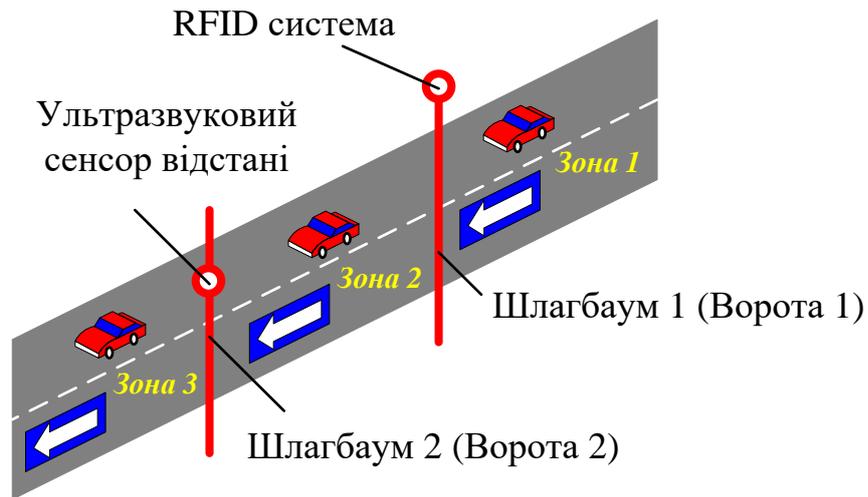


Рисунок 3 – Модель роботи інформаційно-виміральної системи моніторингу руху на об'єкті

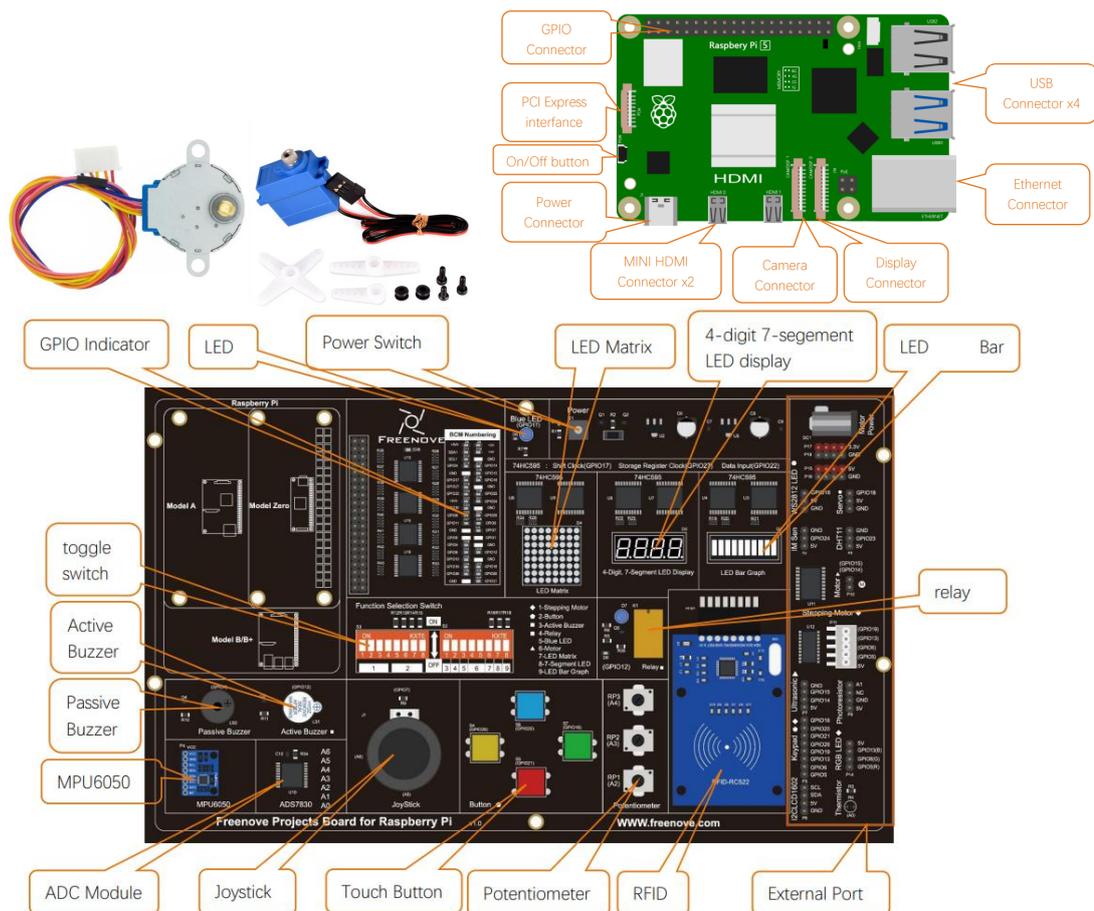


Рисунок 4 – Елементи інформаційно-виміральної системи моніторингу руху на об'єкті

The image shows two screenshots of a Python IDE. The left screenshot shows the code for the robot's movement logic, including a loop for rear motors and a main loop with comments in Ukrainian. The right screenshot shows the code for the sensor logic, including a loop for the main cycle and a while loop for the sensor's operation.

```

70 for m in rear_motors:
71     m.off()
72
73 #
74 # Основний цикл роботи
75 #
76
77 def loop():
78     while True:
79         try:
80             print("Піднесіть RFID картку/мітку до рідера...")
81             card_id, text = reader.read() # Блокуєний виклик
82             print(f"Зчитано RFID! ID: {card_id}, текст: {text}")
83
84             # 1. Діод на GPIO2 світиться 1 секунду
85             print("Вмикає діод на GPIO2 на 1 секунду...")
86             rfid_led.on()
87             sleep(1)
88             rfid_led.off()
89
90             # 2. Вимірюємо відстань
91             distance = sensor.distance * 100 # у см
92             print(f"Відстань: {distance:.1f} см")
93
94             # 3. Якщо відстань менше 10 см – крутимо кроковий двигун
95             if distance < 10:

```

```

89
90     # 2. Вимірюємо відстань
91     distance = sensor.distance * 100 # у см
92     print(f"Відстань: {distance:.1f} см")
93
94     # 3. Якщо відстань менше 10 см – крутимо кроковий двигун
95     if distance < 10:

```

Running: Gavrys_diplom.py

```

Піднесіть RFID картку/мітку до рідера...
Зчитано RFID! ID: 632607939228, текст:
Вмикає діод на GPIO2 на 1 секунду...
Відстань: 3.7 см
Відстань < 10 см. Обертаю кроковий двигун на 90° за годинниковою...
Очікую 1 секунду...
Повертаю кроковий двигун назад на 90° (проти годинникової)...

```

```

89
90     # 2. Вимірюємо відстань
91     distance = sensor.distance * 100 # у см
92     print(f"Відстань: {distance:.1f} см")
93
94     # 3. Якщо відстань менше 10 см – крутимо кроковий двигун
95     if distance < 10:

```

Running: Gavrys_diplom.py

```

Вмикає діод на GPIO2 на 1 секунду...
Відстань: 3.7 см
Відстань < 10 см. Обертаю кроковий двигун на 90° за годинниковою...
Очікую 1 секунду...
Повертаю кроковий двигун назад на 90° (проти годинникової)...
Цикл завершено. Можна знову підносити RFID картку.

Піднесіть RFID картку/мітку до рідера...

```

Рисунок 7 – Результати досліджень: повідомлення в консолі

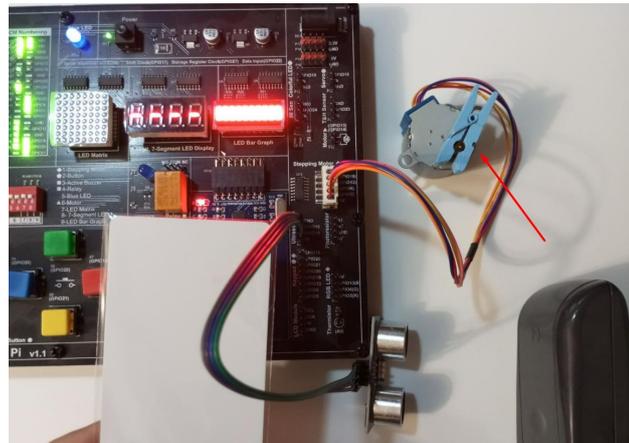
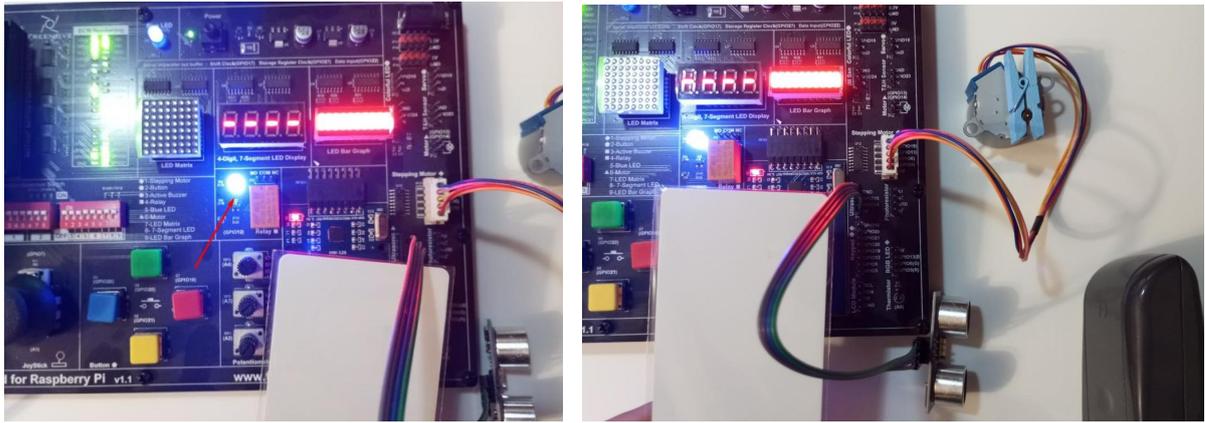


Рисунок 8 – Результати досліджень дослідного зразку

Додаток Б
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ РОБОТИ

**ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА
МОНІТОРИНГУ РУХУ НА ОБ'ЄКТІ**

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: «Інформаційно-вимірювальна система моніторингу руху на об'єкті»

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота
 (бакалаврська кваліфікаційна робота / магістерська кваліфікаційна робота)
 Підрозділ Кафедра ІРТС
 (кафедра, факультет, навчальна група)

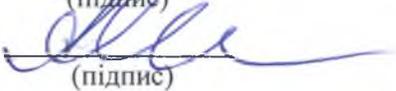
Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism 0,93%

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:

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


 (підпис)

 (підпис)

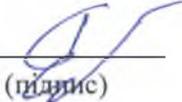
Особа, відповідальна за перевірку 
 (підпис)

Семенов А.О.
 (прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник 
 (підпис)

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

Здобувач 
 (підпис)

Гавриць М.С.
 (прізвище, ініціали)

Додаток В (довідниковий)

Лістинг програми

```

from gpiozero import AngularServo, OutputDevice, DistanceSensor, LED
from time import sleep
import warnings
import random

# Бібліотека для RFID (MFRC522)
from mfr522 import SimpleMFRC522
import RPi.GPIO as GPIO

warnings.filterwarnings("ignore")

# -----
# Налаштування сервомоторів і крокового двигуна
# -----

# Якщо серво більше не потрібно — можна закоментувати/видалити
servo = AngularServo(
    17,
    min_angle=0,
    max_angle=180,
    min_pulse_width=0.0005,
    max_pulse_width=0.0025
)
initial_angle = 90
servo.angle = initial_angle

# Кроковий двигун (4 піни)
rear_motor_pins = (19, 13, 6, 5)
rear_motors = [OutputDevice(pin) for pin in rear_motor_pins]

# Послідовності кроків
CCWStep = (0x01, 0x02, 0x04, 0x08) # проти годинникової
CWStep = (0x08, 0x04, 0x02, 0x01) # за годинниковою

# Скільки кроків відповідає 90 градусам (ПІДБИРАЄШ САМ!)

```

```

STEPS_FOR_90 = 128

# Ультразвуковий сенсор
trigPin = 14
echoPin = 15
sensor = DistanceSensor(echo=echoPin, trigger=trigPin, max_distance=3)

# Світлодіод, який спалахує при успішному RFID
rfid_led = LED(12)

# RFID-зчитувач
reader = SimpleMFRC522()

# -----
# Функції для крокового двигуна
# -----

def moveOnePeriod(direction, ms):
    if ms < 3:
        ms = 3
    for j in range(4):
        for i in range(4):
            if direction == 1: # проти годинникової
                rear_motors[i].on() if (CCWStep[j] == 1 << i) else rear_motors[i].off()
            else: # за годинниковою
                rear_motors[i].on() if (CWStep[j] == 1 << i) else rear_motors[i].off()
        sleep(ms * 0.001)

def moveSteps(direction, ms, steps):
    for _ in range(steps):
        moveOnePeriod(direction, ms)
    stopRearMotors()

def stopRearMotors():
    for m in rear_motors:
        m.off()

# -----
# Основний цикл роботи
# -----

```

```

def loop():
    while True:
        try:
            print("Піднесіть RFID картку/мітку до рідера...")
            card_id, text = reader.read() # Блокуючий виклик
            print(f"Зчитано RFID! ID: {card_id}, текст: {text}")

            # 1. Діод на GPIO12 світиться 1 секунду
            print("Вмикаю діод на GPIO12 на 1 секунду...")
            rfid_led.on()
            sleep(1)
            rfid_led.off()

            # 2. Вимірюємо відстань
            distance = sensor.distance * 100 # у см
            print(f"Відстань: {distance:.1f} см")

            # 3. Якщо відстань менше 10 см — крутимо кроковий двигун
            if distance < 10:
                print("Відстань < 10 см. Обертаю кроковий двигун на 90° за годинниковою...")
                # за годинниковою — direction != 1 (наприклад, 0)
                moveSteps(direction=0, ms=5, steps=STEPS_FOR_90)

                print("Очікую 1 секунду...")
                sleep(1)

                print("Повертаю кроковий двигун назад на 90° (проти годинникової)...")
                moveSteps(direction=1, ms=5, steps=STEPS_FOR_90)
            else:
                print("Відстань >= 10 см. Кроковий двигун не рухається.")

            print("Цикл завершено. Можна знову підносити RFID картку.\n")
            sleep(0.5)

        except KeyboardInterrupt:
            # Дамо можливість вийти через Ctrl+C зсередини loop
            raise

# -----

```

```
# Завершення програми
# -----

def destroy():
    print("Очищаю GPIO та зупиняю пристрої...")
    stopRearMotors()
    try:
        servo.close()
    except Exception:
        pass

    try:
        sensor.close()
    except Exception:
        pass

    try:
        rfid_led.close()
    except Exception:
        pass

    # Бібліотека MFRC522 працює через RPi.GPIO
    GPIO.cleanup()
    print("Готово.")

# -----
# Точка входу
# -----

if __name__ == "__main__":
    print("Робот стартує. Очікую RFID картку...")
    try:
        loop()
    except KeyboardInterrupt:
        print("Завершення програми (Ctrl+C)...")
    finally:
        destroy()
```