

Хмельницький національний університет  
Факультет інформаційних технологій  
Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій та  
робототехніки

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр

Освітній рівень

Автоматизована система керування безпілотним транспортним засобом

Назва теми

КвРАКІТ.2021041.01.14 ПЗ

Галузь знань 15 «Автоматизація та приладобудування»

Шифр, назва

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Шифр, назва

Освітня програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Назва

Виконав:

студент IV курсу, група АКІТ-21-1

  
Підпис

Максим ПРИСЯЖНЮК

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник

  
Підпис, дата

Юрій ФОРКУН

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер

  
Підпис, дата

Людмила КОРЕЦЬКА

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:  
зав. кафедри автоматизації  
та комп'ютерно-інтегрованих  
технологій та робототехніки

  
Підпис, дата

Валерій МАРТИНЮК

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

« 19 » червня 2025 р.

# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інформаційних технологій

Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 15 – Автоматизація та приладобудування

Спеціальність 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АКТГтаР

Валерій МАРТИНЮК

07 лютого 2025р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Присяжнюку Максиму Андрійовичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1 Тема роботи Автоматизована система керування безпілотним транспортним засобом

Керівник роботи канд.техн.наук., доцент Юрій ФОРКУН

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, учене звання

Затверджено наказом ректора університету від 07.02.2025 р. №23

2 Строк подання студентом роботи на кафедру 02.06.2025р.

3 Вихідні дані до роботи Завдання на кваліфікаційну роботу





4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. Огляд методів розв'язання поставленої задачі. Розробка схемотехнічних рішень. Розробка алгоритму роботи програмного забезпечення. Висновки

5 Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

презентаційні матеріали (слайди)

6 Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Антиплагіат	Федула М.В., доцент кафедри АКТГтаР		
Нормоконтроль	Корецька Л.О., доцент кафедри АКТГтаР		

7 Дата видачі завдання 07 лютого 2025р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва розділу кваліфікаційної роботи	Строк виконання	Примітка
1 Вибір та затвердження теми кваліфікаційної роботи; розробка завдання на кваліфікаційну роботу; складання календарного графіка виконання кваліфікаційної роботи	01.03.2025	Виконано
2 Вивчення предметної області, в якій планується використання системи автоматизації; аналіз вимог до системи автоматизації	15.03.2025	Виконано
3 Проектування та розробка загальної архітектури і структури системи автоматизації, інтерфейсу користувача; вибір засобів реалізації системи автоматизації	29.03.2025	Виконано
4 Програмна реалізація та тестування системи автоматизації	12.04.2025	Виконано
5 Написання тексту пояснювальної записки та розробка графічних матеріалів	19.04.2025	Виконано
6 Остаточне коригування кваліфікаційної роботи з урахуванням зауважень керівника; оформлення кваліфікаційної роботи як документа відповідно до вимог	11.04.2025	Виконано
7 Отримання супровідних документів (відгуку керівника, рецензії, довідки про перевірку на плагіат); нормоконтроль	30.05.2025	Виконано
8 Підготовка до захисту та захист кваліфікаційної роботи	03.06.2025	Виконано

Студент

  
Підпис

Максим ПРИСЯЖНЮК  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник кваліфікаційної роботи

  
Підпис

Юрій ФОРКУН  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

## АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Автоматизована система керування безпілотним транспортним засобом».

Автор роботи: Максим ПРИСЯЖНЮК

Керівник роботи: Юрій ФОРКУН

Пояснювальна записка: 68 с., 40 рис., 4 табл., 2 дод., 44 джерел.

Графічна частина: 15 презентаційних слайдів.

СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ, БЕЗПЛОТНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ ЗАСІБ,  
МІКРОКОНТРОЛЕРНИЙ ПРИСТРІЙ, БЛОК-СХЕМА АЛГОРИТМУ.

Метою роботи є розробка автоматизованої системи керування безпілотним транспортним засобом.

Дана робота присвячена проблемі забезпечення орієнтації платформи автономного автомобіля в межах міні-полігону. Розроблено апаратно-програмний комплекс для невеликого полігону. Детально розглянуто конструкцію та принципи транспортного засобу. Розроблено програмне забезпечення, яке дозволяє керувати транспортним засобом в межах міні-полігону. Складено блок-схему та алгоритм програми керування платформою центрального контролера. Розроблено структуру дистанційного керування для керування швидкістю та напрямком руху автомобіля.



Підпис студента

19.06.25

Дата

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1 ЗАГАЛЬНЕ КОМПОНУВАННЯ ПОЛІГОНУ, ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ ТА МОЖЛИВІ ПРИНЦИПИ ЙОГО ОРІЄНТАЦІЇ У ПРОСТОРИ.....	5
1.1 Постановка задачі .....	5
1.2 Системи супутникового позиціонування .....	6
1.3 Машинний зір .....	6
1.4 Принципи прокладання маршруту .....	9
1.5 Висновки до першого розділу .....	15
2 АПАРАТНО-ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС МІНІ-ПОЛІГОНУ .....	16
2.1 Технічні витрати міні полігону .....	16
2.2 Коригування траєкторій руху транспортного засобу .....	20
2.3 Перспективний розвиток міні-полігону .....	21
2.4 Схеми фрагменту міні-полігону і комплектуючі .....	22
2.5 Розробка програмно-апаратного комплексу міні-полігону .....	30
2.6 Програмне забезпечення комплексу міні- полігону .....	31
2.7 Висновки до другого розділу .....	44
3 РОЗРОБКА БЕЗПІЛОТНОГО ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ НА ОСНОВІ МОДЕЛІ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ МІНІ-ПОЛІГОНУ .....	45
3.1 Склад комплексу транспортного засобу .....	45
3.3 Структура пульта управління транспортним засобом .....	60
3.3 Висновки до третього розділу .....	63
ВИСНОВКИ.....	64
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ .....	65

КвРАКІТ.2021041.01.14 ПЗ								
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Автоматизована система керування безпілотним транспортним засобом  Пояснювальна записка	Літ.	Лист	Листів
Розроб.		Присяжнюк М.А.		19.06		2		
Перевір.		Форкун Ю.В.		19.06				
Н. Контр.		Корецька Л.О.		19.06				
Затв.		Мартинюк В.В.		19.06	<b>ХНУ, АКІТ-21-1</b>			

## ВСТУП

Підготовка кадрів для продуктивної та творчої проектної діяльності є актуальним завданням, вирішення якого значною мірою визначає розвиток економіки.

У «дорожній карті» цього напрямку вказано, що одним із пріоритетів є створення системи професійної підготовки талантів.

Для забезпечення виконання поставлених завдань розроблено проект транспортного малого полігону, який є навчально-технологічною базою ресурсного центру та навчальних закладів.

Транспортний малий полігон призначений для вирішення кількох завдань. Основні функції міні-полігону:

- демонстратор руху безпілотного автомобіля;
- симулятор оператора автономного транспортного засобу;
- симулятор програмного забезпечення для системних інтеграторів;
- АРМ програміста;
- випробувальний комплекс для випробувань екологічних симуляторів і безпілотних транспортних засобів.

Ці глобальні комплекси завдань, що відповідають цілям розробки під час виконання магістерської роботи, зводилися до виконання комплексного завдання, що визначає загальну ефективність усіх перелічених функцій.

Концепція дизайну Mini Polygon має на меті забезпечити практичне рішення для розумного підключення логістичних безпілотних мобільних платформ [1-5].

Відточування навичок логістики в середовищі мікропротоколів також значно зменшить катастрофічні наслідки неправильних логістичних рішень.

Тому метою роботи є розробка системи локалізації для моделі транспортного робота з логістичними маршрутами за допомогою інтерфейсу NMI.

					КвРАКІТ.2021041.01.14 ПЗ	
		№ докум.	Підпис			3

Для досягнення мети роботи було запропоновано комплекс завдань реалізації, який включав:

- проектування конструкції автомобіля;
- розробити алгоритми керування транспортними засобами;
- розробка конструктивних та електричних схем;
- розробити алгоритми керуючої програми,
- структурне проектування полігонального компонування та модулів керування;
- провести експериментальні дослідження.

У цій роботі висвітлюються такі проблеми.

У першому розділі розглядаються можливі принципи генеральної схеми розташування полігону, транспортних засобів та їх розміщення в просторі. Визначено вимоги до конструкції автомобіля та обладнання системи позиціонування. Визначено основні завдання роботи.

Розділ другий присвячений аналізу керованості автомобіля, встановленню моделі керованості автомобіля та алгоритму керування. Розроблено основу та схему керування транспортним засобом. Проаналізовано логістичну частину маршруту руху моделі автомобіля.

Розділ третій присвячено розробці конструкції та обладнання платформи водіння в поєднанні з розробленою моделлю автомобіля.

Розділ висновків пояснює основні висновки дослідження.

Основні досягнення включають:

- розроблено модель керування транспортним засобом;
- виведено залежності, які дозволяють точно змінювати положення апарату в просторі;
- розроблено алгоритми керування транспортним засобом у різних режимах користувача.

# 1 ЗАГАЛЬНЕ КОМПОНУВАННЯ ПОЛІГОНУ, ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ ТА МОЖЛИВІ ПРИНЦИПИ ЙОГО ОРІЄНТАЦІЇ У ПРОСТОРИ

## 1.1 Постановка задачі

В даний час різні джерела розглядають проектування повномасштабного полігону для випробувань сучасних безпілотних транспортних засобів. Відсутня інформація про невеликі стрільбища, які можна було б використовувати для проведення навчально-виховних заходів. Тому тема дослідження даної роботи має практичне значення.

Автоматичний транспортний міні-полігон Autonet призначений для:

- професійне позиціонування на тему Autonet;
- підготовка талантів у галузі науки і техніки, орієнтованих на практику;

Функціональне призначення комплексу міні-полігону може бути:

- модель безпілотного демонстратора руху – імітатора руху автомобіля за заданим маршрутом;
- тренажери для операторів моделей автономних транспортних засобів, що працюють в міських умовах;
- спеціалізоване програмне забезпечення System Integrator's Simulator (SPO) - компонування підпрограм для управління рухом по заданому маршруту;
- розробники завдань в ARM і програмісти в SPO MPAN – розробка технології мікроскопів, обладнання та програмного забезпечення;
- випробувальний комплекс для перевірки програмно-технічного забезпечення симуляторів навколишнього середовища та безпілотних апаратів» [1-8].

					КвРАКІТ.2021041.01.14 ПЗ	
		№ докум.	Підпис			5

## 1.2 Системи супутникового позиціонування

Для визначення місцезнаходження рухомого об'єкта доцільно використовувати систему позиціонування, наприклад GPS - Global Positioning System.

Система використовує часову затримку між сигналом передавача супутника та його прийомом приймачем. Взагалі кажучи, якщо відомі точні координати супутника (особливо угруповання супутників), можна визначити координати об'єкта на поверхні Землі.

На рисунку 1.1 показано принцип роботи навігаційної супутникової системи. Можна визначити координати об'єкта, шукаючи три супутники в його орбітальній групі.

Тому для визначення координат шуканого об'єкта, оснащеного приймачем сигналу, необхідне джерело сигналу з відомими координатами.

Використання цієї системи позиціонування характеризується похибками вимірювання координат від 2 до 10 метрів залежно від атмосферних спотворень.

Запроектовані полігони мають приблизно однаковий розмір, тому використання супутникової системи для визначення місцезнаходження транспортних засобів в умовах моделювання полігону недоцільно [9-12].

## 1.3 Машинний зір

Іншим варіантом впровадження локальної системи позиціонування є система на основі технологічного бачення.

Завдання локалізації в просторі навколо автомобіля перед ним вирішується за допомогою датчиків інформаційно-вимірювальної системи робота, які надають інформацію про стан зовнішнього середовища, пройдений

					КвРАКІТ.2021041.01.14 ПЗ	
		№ докум.	Підпис			6



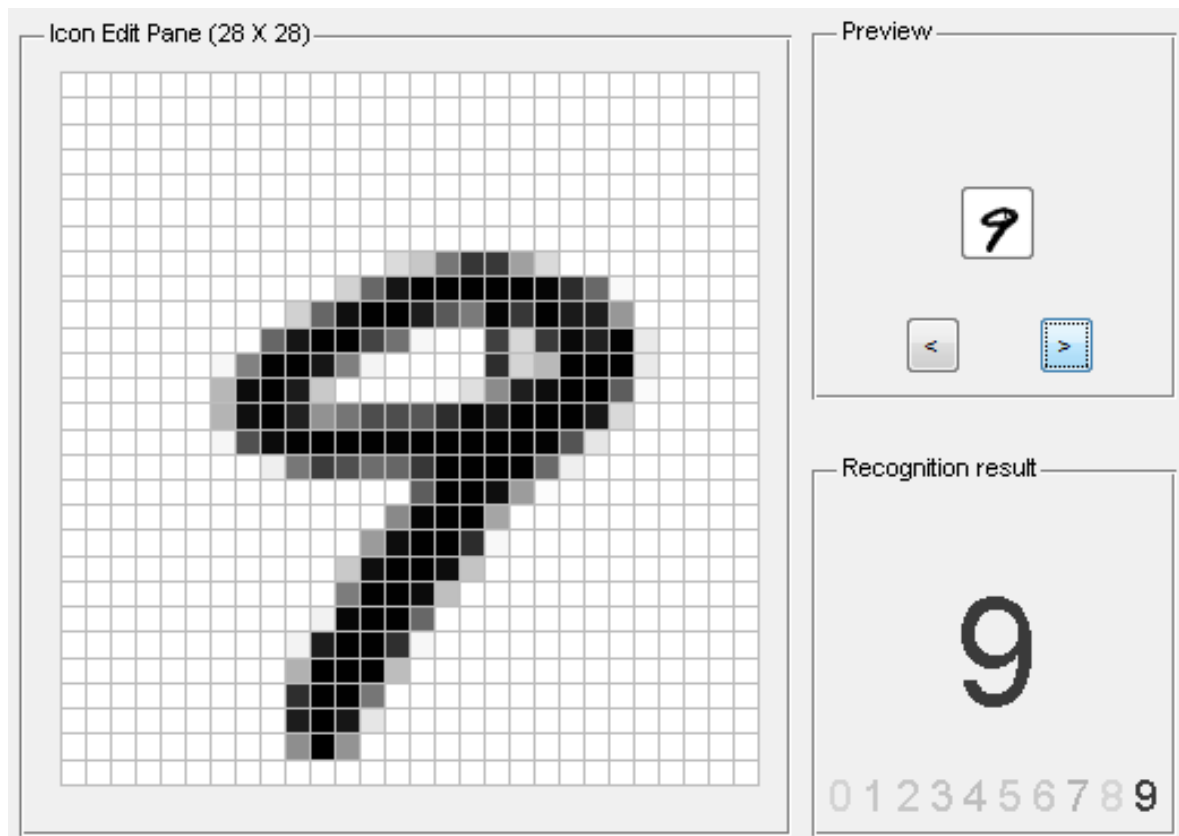


Рисунок 1.2 - Візуалізація принципу роботи технології комп'ютерного зору

Щоб система позиціонування на основі комп'ютерного зору працювала належним чином, у навколишньому просторі потрібно розмістити необхідні маркери, які розпізнає оптична камера.

Закодоване зображення обробляється контролером. Зовнішня пам'ять контролера зберігає кодоване зображення, яке порівнюється зі сканованим зображенням. Порівнюйте із зображенням, доки символ не буде розпізнаний. Після завершення порівняння можна визначити розташування об'єкта з ідентифікованою міткою.

Як приклад розглянемо переміщення об'єкта лабіринтом (рисунок 1.3). Маршрут представлений у вигляді пронумерованих символів, розташованих на маршруті лабіринту. Крім того, необов'язково, щоб числа були в порядку зростання або спадання, оскільки це лише теги, які зчитуються в порядку відповідно до маршруту, заданого алгоритмом.

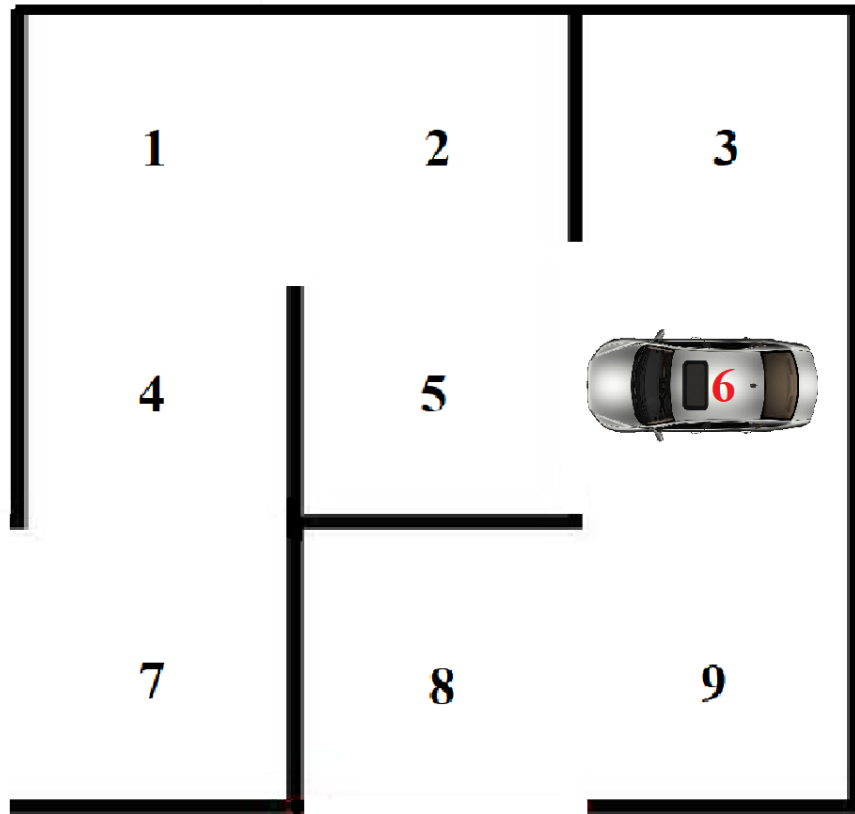


Рисунок 1.3 - Візуалізація принципу роботи системи позиціонування з комп'ютерним зором

Використання системи бачення не гарантує надійності проходження заданим маршрутом, оскільки під час ідентифікації тегів можуть виникати помилки.

#### 1.4 Принципи прокладання маршруту

Надійність системи можна підвищити за рахунок використання дублюючих камер для розпізнавання розмітки або забезпечення постійного зазору між об'єктом і багатокутною поверхнею (розрив дороги), тобто фіксованої відстані між об'єктивом камери та символом, що розпізнається. Обидва варіанти досить складні і дорогі, оскільки в першому випадку зростає

складність і вартість системи, а в другому необхідно забезпечити стабільність положення шасі об'єкта і ретельний догляд за поверхнею полігону.

Крім того, цей підхід передбачає жорсткий алгоритм маршрутизації на основі певної послідовності обходу символів. Крім того, точність позиціонування в цей момент визначається дискретністю кроків розміщення символів [17-20].

Інший підхід заснований на використанні машинного зору, який відрізняється тим, що завдання орієнтування формулюється інакше.

У цьому випадку основне завдання визначення об'єкта в просторі – перевірити наявність у нього непереборних перешкод і одночасно прокласти через нього шлях, а також визначити його положення на карті. Це дає нам багатокутник області, який можна додати до векторної карти (рисунок 1.4). На такій карті багато точок, за якими визначають маршрут. Векторні карти можна використовувати для визначення маршрутів шляхом вибору кінцевої кількості точок і накладення невеликих обмежень на пошук найкращого маршруту вздовж цих точок [9].

Для вирішення задачі знаходження шляху на карті використовується растрова карта, оскільки маршрут можна представити в графічній формі.

Вершини графа - це кути багатокутників, а ребра - можливості переходу до сусідніх об'єктів. Обов'язковою умовою є те, що список вершин графа повинен містити початкову та кінцеву точки. Після формування графа допустимого шляху (рисунок 1.5) пошук шляху на карті буде виконано у зваженому графі.

Задача переміщення транспорту в потрібну точку на карті виглядає так. Це карта з позначеними на ній перешкодами, поточним положенням автомобіля та його кінцевим положенням (цільовим положенням).

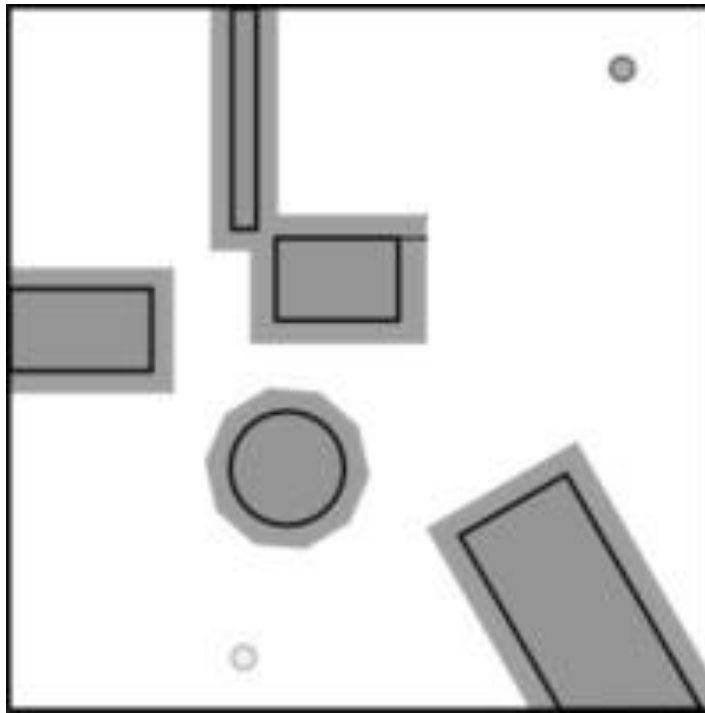


Рисунок 1.4 – Векторне подання карти

Потрібно створити маршрут (ламану лінію від поточної точки до цілі), який уникає всіх перешкод і досягає потрібної точки на карті за прийнятний або оптимальний час. У цьому випадку «положення об'єкта» можна розуміти як «координати об'єкта» або як пару значень «координати об'єкта + напрямок об'єкта».

Для визначення зваженого графа вводиться набір вершин, за винятком початкової та кінцевої вершин. Крім того, вершини повинні бути поза перешкодами. Коло, обведене навколо об'єкта, центр якого збігається з центром об'єкта.

Розташування кількох точок зон безпеки визначається межами на певній відстані від перешкод. Тому формується додаткова карта, що складається з полігонів, які служать межами перешкод. Очевидно, що можна знайти баланс між формою межі, яка визначає тип маршруту, і кількістю отриманих вершин, що визначає час на пошук найкращого маршруту.



Традиційні методи визначення найкращого шляху, такі як використання алгоритму Дейкстри, не враховують час, витрачений на зупинку, повороти об'єктів у вершинах графіка та прискорення, необхідне для руху в наступних напрямках маршруту. Попередньо запропоновано внести «штрафи за можливу зупинку та можливий поворот». Штраф має збільшити розраховану мінімальну довжину шляху на відстань, пропорційну часу, який робот потребує для маневру. Шляхом розкладання суми штрафу на компоненти штрафу за гальмування та прискорення та компонент штрафу за поворот від напрямку ребра, що входить у вершину, до напрямку ребра, що виходить з вершини, суму штрафу можна точно розрахувати.

Щоб почати рух, потрібно визначити маршрут до місця призначення.

Доступні такі варіанти визначення маршруту:

- маршрут являє собою послідовність раніше відомих точок,
- об'єкт продовжує отримувати інформацію про переміщення в певну точку,
- вивчаються всі можливі точки маршруту об'єкта і рух між ними виконується за програмою.

При скануванні камерою робочого простору транспортного засобу виходить зображення з двовимірним розподілом яскравості. «Необхідно визначити взаємне розташування точки зображення і точки сцени, а також яскравість точки зображення.

Слід тримати отвір камери на фіксованій відстані від площини зображення. Припустимо, що камера влаштована так, що тільки світло проходить через отвір може досягати площини зображення" [11-15]. Прямолінійне поширення світла гарантує, що кожна точка сцени відбивається від початку променя та в напрямку отвору камери.

Сукупність зображених точок утворює центральну (перспективну) проєкцію сцени на площину зображення. Оптичну вісь визначимо як лінію,

перпендикулярну від апертури до площини зображення. Вводиться прямокутна систему координат з початком координат у точці, а вісь z збігається з оптичною віссю та вказує на зображення. [15]. Ця система координат вважається правосторонньою, тому що вісь x вказує праворуч, а вісь y – вгору.

Використовується гістограмний метод аналізу зображення. Відповідно до цього підходу зображення (або фрагмент) розглядається як набір незалежних елементів (пікселів). Крім того, без урахування розташування пікселів у просторі зображення можна інтерпретувати як репрезентативну вибірку випадкового сигналу, де кожна вибірка є статистично незалежною від інших вибірок. Відповідно до методів статистичної обробки даних будь-який аналіз таких вибірок можна звести до аналізу вибіркової гістограми (дискретної оцінки щільності розподілу випадкової величини в даній вибірці). При цьому як метод формування вибірки, так і інтерпретація результатів аналізу є двовимірними.

Зроблено припущення, що сигнал містить корисну детерміновану складову і випадковий «шум». Для виділення корисних сигналів використовуються наступні методи: оцінка середнього значення (математичне очікування), рангова (порядкова) статистика, метод максимальної правдоподібності, байєсівська оцінка тощо. Застосування кожного методу базується на деяких припущеннях про природу та попередню інформацію зображення.

Також зроблено припущення, що зображення є локально однорідним. Це означає, що в межах сегмента (апертури) значення корисного сигналу залишається постійним. Тоді для фільтрації зображень можна використовувати метод середнього та рангового (медіанного) фільтрів. Ефективність фільтрації хороша для однорідних областей зображення, але погана для меж (там, де межі розмиті). Тому наявність регіонів і меж є

важливим фактором, який необхідно враховувати при двовимірній реалізації статистичних фільтрів [16-17].

Цей спосіб досить складний у реалізації. Хоча він дуже ефективний у розпізнаванні геометрії об'єктів і створенні просторових карт для організації та подальшої мінімізації довжини маршрутів, тим самим оптимізуючи компоненти логістики. Витрати на впровадження цієї програми в умовах полігону були б значними.

Вищезазначена ситуація призвела до необхідності розробки спеціальної системи позиціонування на основі використання спеціальних апаратних тегів, розташованих на полігональному маршруті та взаємодіючих з обладнанням, яке зчитує транспортні засоби.

У цьому випадку тег буде активним об'єктом, встановленим на транспортному засобі. На невеликих полігонних маршрутах рекомендується встановлювати зчитувальне обладнання [18-23].

### 1.5 Висновки до першого розділу

Розглянути різні варіанти визначення місцезнаходження об'єктів за допомогою GPS. Розглянуто методи визначення положення об'єктів за допомогою різних датчиків.

Розглянути систему розпізнавання місцезнаходження об'єкта за допомогою технічного зору.

Зроблено висновки про доцільність використання тегів для визначення розташування об'єктів у просторі.

## 2 АПАРАТНО-ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС МІНІ-ПОЛІГОНУ

### 2.1 Технічні витрати міні полігону

"Базові будівельні блоки міні-полігонів – симуляторів сегментів міського середовища – розробляються в динамічну архітектурну модель, що розвивається. На рисунку 2.1 показана базова версія робочої зони" [24-26].

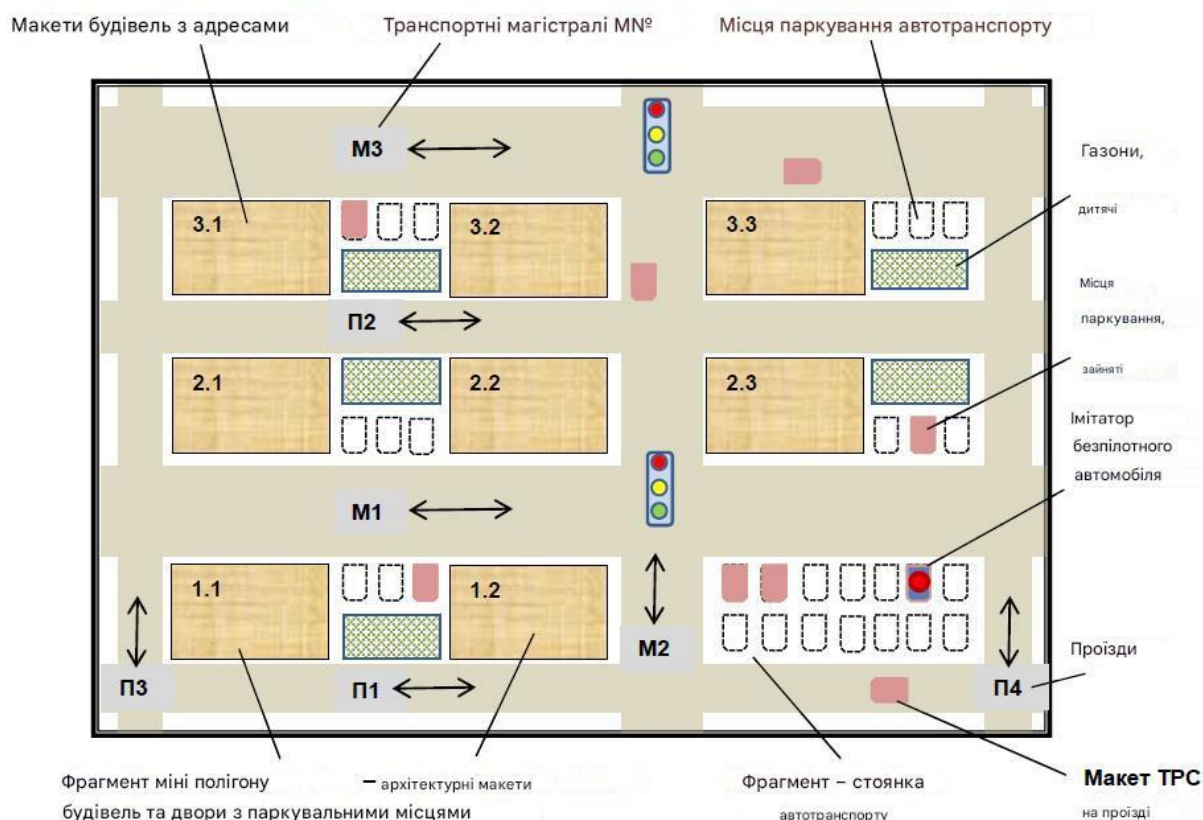


Рисунок 2.1 - Динамічний архітектурний макет міський середи

Основні режими застосування Міні Полігон:

– дистанційне керування моделлю автомобіля – симулятором транспортного засобу (IM-TRS), що формує та зберігає набір типових траєкторій руху автомобіля в полігональній базі даних (TP-TRS);

– за допомогою комплекту TP-TRS формується маршрут руху безпілотного транспортного засобу від початкової позиції «точка відправлення» до кінцевої «точка призначення»;

– IM-TRS здійснює безпілотний рух по заданому маршруту на невеликому полігоні;

– при виявленні перешкоди (аварійної ситуації) IM-TRS здійснює безпілотний рух на невеликій ділянці та коригує маршрут;

– проводити автономне водіння по заданому маршруту на невеликому тестовому полі та шукати вільні паркувальні місця на стоянці» [24].

Щоб служити моделлю для безпілотних автомобілів, проект розробив роботизовану платформу – Vehicle Simulator (IM-TRS). Відстань до об'єкта управління: стіни моделі будівлі, бічні панелі міні-полігону» [24].

Коли додаткові компоненти геометрії розміщуються на фрагментах моделі будівлі, визначених під час руху симулятора транспортного засобу, ідентифікуються номери шосе чи дороги.

За допомогою такої комбінованої ідентифікації можна визначити координати симулятора транспортного засобу на міні-полігоні та контролювати його рух у просторі та часі за заданим маршрутом. Структура IM-TRS була розроблена з метою розширення кола завдань, що вирішуються в мікродіапазоні, зокрема з використанням ультразвукових датчиків відстані. На відміну від датчиків, які визначають відстань до контрольної точки шляхом відбиття видимого лазерного променя, ультразвукові датчики здатні визначати наявність відбивної поверхні в діапазоні кутового контролю приблизно  $\pm 15^\circ$  [24].

За допомогою передніх і задніх ультразвукових датчиків прямої видимості, а також лазерних датчиків можна вирішувати різноманітні завдання, визначати та відпрацьовувати траєкторію руху, пов'язану з об'їздом





– основний маршрут, альтернативні маршрути з урахуванням екологічних умов;

– контроль, фіксація результатів виконання тренажера транспортного засобу за заданим маршрутом, контроль положення (при необхідності в режимі старт-стоп)» [25].

«Початковий стан автомобіля (запуску) і міського середовища задається такими параметрами:

– координати та умовну адресу паркувального місця, на якому встановлено ІМ-ТРС;

– координати та умовні адреси місць паркування (зайнятих місць), на яких встановлені макети транспортних засобів;

– координати, адреси місць розташування на магістралях і магістралях, автостоянки, моделі транспортних засобів (перешкоди руху)» [25].

Кінцевий стан (комплектація) автомобіля та міського середовища задається наступними параметрами:

– координати та адресу основної стоянки, куди має прибути автосимулятор;

– координати та адресу паркувального місця на головній стоянці, куди має прибути ІМ-ТРС;

– координати, умовні адреси альтернативних парковок, з яких повинен прибути імітатор транспортного засобу, враховуючи заповненість паркувальних місць основної стоянки» [26].

## 2.2 Коригування траєкторій руху транспортного засобу

Набір ТР-ТРС в базі даних міні-полігону використовується для коригування руху автономного транспортного засобу по маршруту при виявленні наступних умов [27-29]:

					КвРАКІТ.2021041.01.14 ПЗ	
		№ докум.	Підпис			20

– водотоннажність тренажера на трасі або дорозі перевищує граничне значення;

– тренажер обертається під час руху по маршруту, використовуючи метод місцевого орієнтування - контроль положення тренажера на невеликій ділянці:

– затримку або випередження прибуття IM-TRS до місця контролю з урахуванням результатів вимірювання відстані до стіни будівлі за вказаною адресою (метод виявлення помилок та несправностей систем керування);

– виявляти перешкоди на траєкторії руху, що виконується. IM-TRS (встановлені моделі);

– фіксувати стан світлофорів на маршруті.

### 2.3 Перспективний розвиток міні-полігону

Структура IM-TRS розроблена для розширення кола завдань, які можна вирішувати на невеликій території, зокрема за допомогою ультразвукових датчиків відстані.

На відміну від лазерних датчиків, які визначають відстань до контрольної точки, що відбиває видимий лазерний промінь, ультразвукові датчики визначають наявність або відсутність відбивної поверхні в діапазоні кутового контролю приблизно  $\pm 15^\circ$ .

Завдяки використанню передніх і задніх ультразвукових датчиків прямої видимості, а також лазерних датчиків можна більш ефективно вирішувати різноманітні завдання управління дорожнім рухом, визначати й уточнювати траєкторії руху, пов'язані з уникненням перешкод, а також коригувати положення симулятора автомобіля під час паркування [30-32].

Щоб вирішити невеликий розширений набір завдань керування IM-TRS, виконайте такі дії:

- аналіз даних лазерних та ультразвукових датчиків у різних експериментальних ситуаціях руху IM-TRS та середовища;
- розробити методи та алгоритми формування траєкторій обходу перешкод в різних умовах міського середовища;
- експериментальна розробка програмних засобів для реалізації алгоритмів формування траєкторії» [33].

#### 2.4 Схеми фрагменту міні-полігону і комплектуючі

Для проектування апаратно-програмного комплексу ми спробували розробити варіант системи локалізації для планування руху автотранспорту на маршрутах (автомагістралях, дорогах) полігону, який було розглянуто та обрано в розділі 1 [33-35].

Система управління позиціонуванням містить контролер, який обробляє вхідні сигнали від датчиків позиціонування, які є опорними точками маршруту, розташованими вздовж маршруту.

Для апаратної взаємодії з контролером модулі розширення збільшують кількість портів введення/виведення.

Також необхідно організувати людино-машинний інтерфейс, щоб дозволити операторам контролювати систему позиціонування та маршрутизації.

Оператор забезпечує маршрут автомобіля, визначаючи необхідні маневри в межах малого полігонального маршруту.

Людино-машинний інтерфейс повинен підтримувати віддалений обмін даними. Для зручності користувача необхідно передбачити електронну індикацію стану системи.

Для живлення компонентів системи до складу комплексу також входить блок живлення.



У таблиці 2.1 наведено порівняння доступних модифікацій контролера.

Таблиця 2.1 – Специфікації Arduino Mega, UNO, Nano

Характеристики	Arduino Mega	Arduino UNO	Arduino Nano
Мікроконтролер	ATmega1280	Atmega328	Atmega328
Тактова частота	16 МГц	16 МГц	16 МГц
Аналогові контакти	8	8	8
Цифрові контакти	54	22	22
Діапазон аналогових значень	Від 0 до 5 У	Від 0 до 5 У	Від 0 до 5 У
Є чи захист від коротких замикань	Так	Так	Ні

Виходячи з необхідних вимог до потужності та надійності, ми обрали Arduino UNO, який забезпечує достатню кількість цифрових контактів та захист від короткого замикання [33-35].

Для визначення поточного положення та орієнтації транспортного засобу розглядаються різні датчики, функції яких дозволяють реалізувати зазначені функції:

– датчики освітленості (пара – лазерний випромінювач (транспортний засіб) і фоторезистор (реперна точка колії)), які були виключені через можливість одночасного освітлення кількох суміжних датчиків;

– датчики, засновані на магнітній взаємодії - геркони, були виключені через їх крихкий корпус і залежність від впливу ударів і вібрації для роботи;

– датчики Холла [18] можуть бути як аналоговими, так і цифровими.

Враховуючи жорстко встановлений магніт на транспортному засобі, вибір цифрового уніполярного датчика SS441A 115G/20G є доцільним.

На рисунку 2.4 показано підключення датчика Холла.

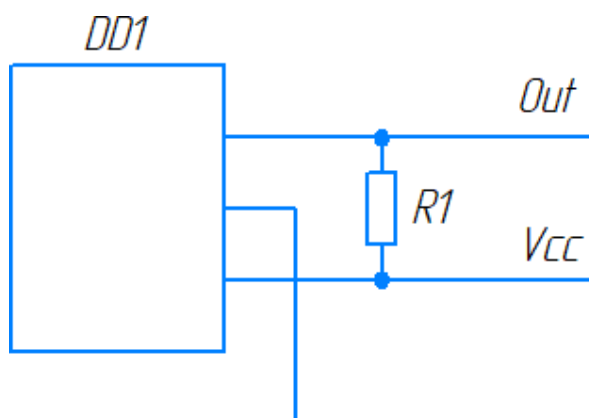


Рисунок 2.4 - Схема підключення датчика Холла

Для отримання можливості розширення Mini Polygon передбачено використання плати розширення введення-виведення.

Розглянуто два варіанти:

– плати розширення регістра зсуву були виключені через велику кількість використовуваних портів введення/виведення та необхідність використання багатодровових з'єднань;

– плата розширення, яка підтримує двопровідний інтерфейс I2C. Після вибору він буде показаний на рисунку 2.5.



Рисунок 2.5 - Плата розширення PCF8574



Протокол	Wi-Fi 802.11	Bluetooth 2.0	Bluetooth 2.0	Bluetooth 4.0
Режим AT -команд	Так	Так	Ні	Так
Тривала робота	Так	Так	Так	Ні
Струм споживання	220 мА	50 мА	50 мА	50 мА
Дальність	40 м	10 м	10 м	10 м

Після порівняльного аналізу було зроблено наступні висновки:

- модуль ESP-01 споживає велику кількість струму і вимикається після виконання вимог контролера;
- модуль HC-06 не має командного режиму AT, він вимкнений, тому що немає режиму переходу в основний стан;
- модуль HM-10 має обмежений термін служби та був вимкнений.

Таким чином, модуль HC-05, показаний на рисунку 2.6, має необхідні характеристики серед розглянутих модулів.



Рисунок 2.6 - Bluetooth-модуль HC- 05

Кілька варіантів розглядалися як пристрої відображення інформації в складі обладнання НМІ:

- LCD дисплей з джойстиком;









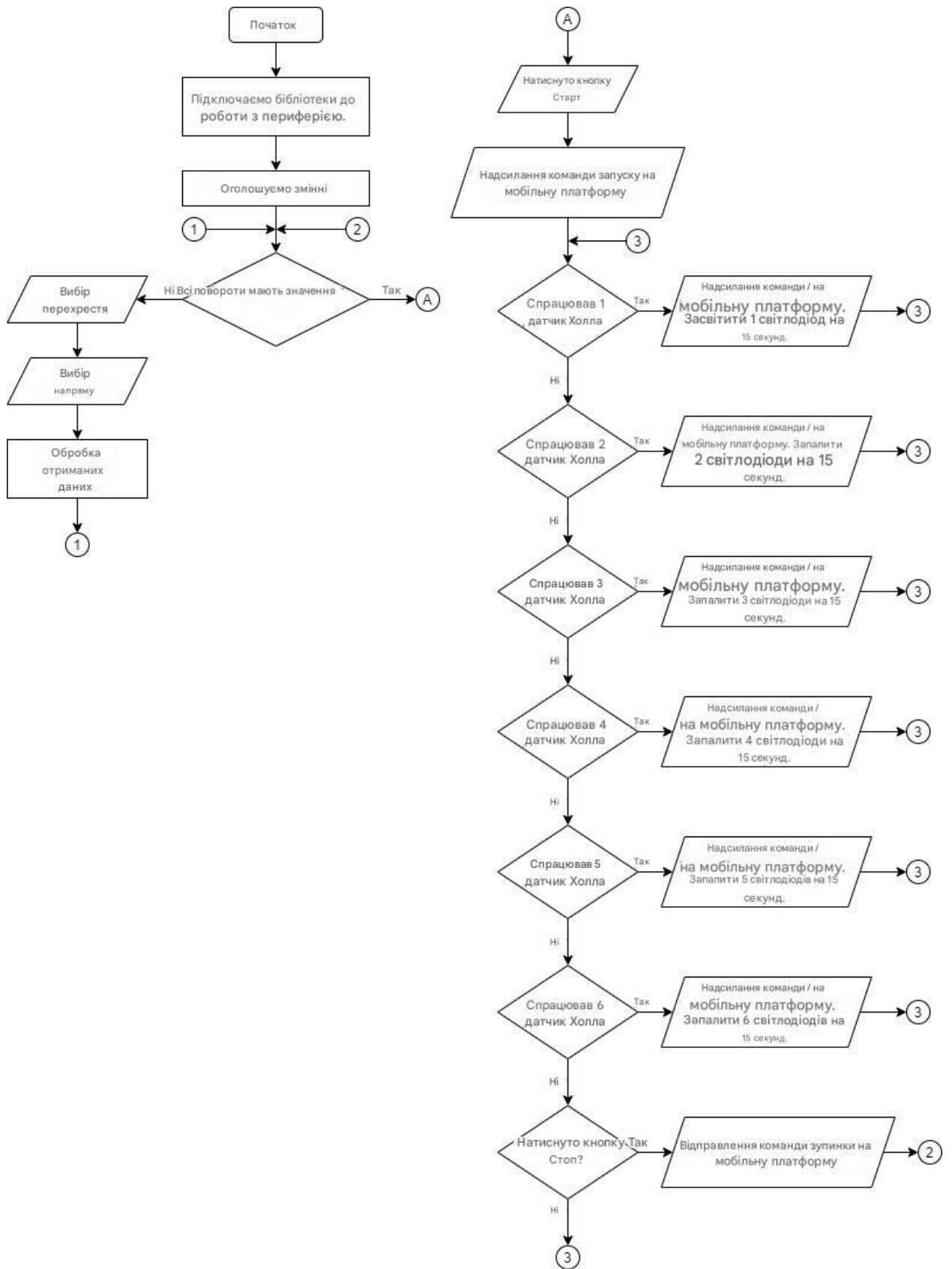


Рисунок 2.10 – Блок-схема функціонування модуля управління

		№ докум.	Підпис	

– інформація про цю подію надсилається як сигнал керування автомобілем. Світлодіод на модулі керування загоряється, вказуючи, що автомобіль проїжджає через перехрестя. Ця взаємодія забезпечується модулем Bluetooth;

– щоб забезпечити можливість зупинки циклічної роботи транспортного засобу, необхідно кілька разів вручну натиснути кнопку «Пуск», яка призначена для запуску та зупинки міні-полігону як кнопка старт-стоп. В результаті формується команда завершення циклу, за якою транспортний засіб повертається у вихідне положення відносно точки відліку міні-полігону.

Програма керування розроблена з урахуванням програмних особливостей платформи Arduino [25].

Спочатку визначено функції програмного забезпечення для роботи з РК-дисплеєм (рисунок 2.11).

Для підключення до порту введення/виведення COM-порт має бути ініціалізований.

Для розробки програмного забезпечення (результат називається скетчем) використовуються необхідні бібліотеки:

– Wire.h – забезпечує взаємодію пристрою по шині I2C;

– LCD\_1602\_UA\_ALL.h – ініціалізація LCD дисплея російськими символами;

– PCF8574.h - Організація взаємодії системи управління з модулем розширення PCF8574.

Оголошення необхідних змінних показано на рисунку 2.12.

Розроблені програмні об'єкти повинні підтримувати модулі розширення та РК-дисплей шляхом призначення необхідних адрес та контактів (рисунок 2.13).







```

int getPressedButton()
{
    int buttonValue = analogRead(0);
    delay(180);

    if (buttonValue < 50) {
        return BUTTON_RIGHT;
    }
    else if (buttonValue < 150) {
        return BUTTON_UP;
    }
    else if (buttonValue < 300) {
        return BUTTON_DOWN;
    }
    else if (buttonValue < 500) {
        return BUTTON_LEFT;
    }
    else if (buttonValue < 800) {
        return BUTTON_SELECT;
    }
    return BUTTON_NONE;
}

```

Рисунок 2.15 - Змінна обробки сигналу

```

void loop()
{
    TURN_SELECTION_MENU();
}

```

Рисунок 2.16 - Функція Loop

Якщо кнопку вниз натиснути ще раз, перевірка також виконується. Однак у цьому випадку значення змінної зменшується на одиницю. У цей час помилка обробляється відповідно до процесу, показаного на рисунку 2.19.

```

void TURN_SELECTION_MENU()
{
  if (TURN_1 != 0 && TURN_2 != 0 && TURN_3 != 0 && TURN_4 != 0 && TURN_5 != 0 && TURN_6 != 0)
  {
    START_MENU();
  }
  else
  {
    while (TURN_SELECTION_MENU_GO == true)
    {
      int BUTTON_TURN_SELECTION = getPressedButton();
      switch (BUTTON_TURN_SELECTION)
      {
        case BUTTON_UP:
          if (SELECTED_TURN < 6)
          {
            SELECTED_TURN++;
          }
          else
          {
            TURN_WRONG_UP();
          }
          break;
        case BUTTON_DOWN:
          if (SELECTED_TURN > 1)
          {
            SELECTED_TURN--;
          }
          else
          {
            TURN_WRONG_DOWN();
          }
          break;
        case BUTTON_SELECT:
          TURN_SELECT();
          BUTTON_TURN_SELECTION = 0;
          break;
        default:
          lcd.setCursor(0, 0);
          lcd.print("Виберіть поворот");
          lcd.setCursor(0, 1);
          lcd.print(SELECTED_TURN, DEC);
      }
    }
  }
  ROTATION_VALUE_MENU();
}

```

Рисунок 2.17 - Функція вибору повороту транспортного засобу

```

void TURN_WRONG_UP()
{
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Значення");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("вище 6!");
  delay(2000);
  lcd.clear();
}

```

Рисунок 2.18 - Обробка повідомлення при натисканні кнопки «вгору»





Конструкція алгоритму дозволяє конвертувати повороти в значення для обраного напрямку. Таким чином, користувач може послідовно вибирати всі варіанти напрямку руху. Потім, коли натиснута кнопка запуску, процес починається [26].

Таким чином, програма запускатиметься в циклі, гарантуючи, що вона працюватиме, доки не зміниться значення змінної, що відповідає запуску (рисунок 2.24). Наступні дії пов'язані з новою змінною кнопки. У той же час, якщо кнопка не натиснута, на дисплеї з'явиться повідомлення Waiting for Press. Коли ви натиснете кнопку, на дисплеї з'явиться повідомлення про те, що міні-полігон запускається. Результатом програмного перетворення є запуск Mini Polygon Menu.

```
void ROTATION_SELECT ()
{
    lcd.clear ();
    lcd.setCursor (0, 0);
    lcd.print("Вибраний бік:");
    lcd.setCursor (0, 1);
    lcd.write (ROTATION_VALUE_TEXT);
    delay (1500);
    lcd.clear ();
}
```

Рисунок 2.22 - Функція обробки повороту

```
void TURN_SELECT (int VALUE)
{
    switch (SELECTED_TURN)
    {
        case 1: TURN_1 = VALUE; break;
        case 2: TURN_2 = VALUE; break;
        case 3: TURN_3 = VALUE; break;
        case 4: TURN_4 = VALUE; break;
        case 5: TURN_5 = VALUE; break;
        case 6: TURN_6 = VALUE; break;
    }

    ROTATION_VALUE_MENU_GO = true;
    TURN_SELECTION_MENU_GO = true;
    TURN_SELECTION_MENU ();
}
```

Рисунок 2.23 - Функція обробки введених даних

У функції Start Menu (рисунок 2.25) запускається цикл, щоб забезпечити активацію багатокутного меню. Ця функція контролює стан кнопок годинника та датчиків Холла. У цьому випадку стан датчика визначає роботу міні-полігону. Ця функція обробляє дані від датчика.

Слід використовувати функцію, показану на рисунку 2.26, для опитування стану всіх датчиків Холла. Коли стан на панелі керування змінюється, загоряється відповідний світлодіод. Транспортний засіб отримує вказівку і повертає в заданому напрямку.

В якийсь момент слід чекати, поки проїдуть транспортні засоби. Після руху в потрібному напрямку дисплей вимикається.

```
void START_MENU()
{
  while (START_MENU_GO == true)
  {
    int ButtonState = 0;
    ButtonState = digitalRead(BUTTON_PIN);
    switch (ButtonState)
    {
      case HIGH:
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("Міні-полігон");
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print("запущений!");
        delay(2500);
        lcd.clear();
        START_GO = true;
        START_MENU_GO = false;
        break;
      default:
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("Запуск полігону:");
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print("СТАРТ");
    }
  }
  Start();
}
```

Рисунок 2.24 - Запуск меню міні- полігону



Після перевірки стану всіх датчиків Холла аналізується стан кнопки. При її натисканні меню «Пуск» зупиняється. На дисплеї з'являється відповідне повідомлення. Змінні, що описують напрямок повороту, встановлюються рівними нулю. Наразі змінна викидів транспортного засобу має значення true, а змінна викидів міні-багатокутника — false. Після завершення обертання програма повертається до вихідного стану.

## 2.7 Висновки до другого розділу

Розроблено апаратно-програмний комплекс для невеликого полігону. Детально розглянуто конструкцію та принципи транспортного засобу. Розроблено програмне забезпечення, яке дозволяє керувати транспортним засобом в межах міні-полігону. Розроблений комплекс дозволяє планувати та належно логістично обслуговувати транспортні системи малих полігонів.

### 3 РОЗРОБКА БЕЗПЛОТНОГО ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ НА ОСНОВІ МОДЕЛІ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ МІНІ-ПОЛІГОНУ

При побудові транспортного засобу першою проблемою, яка виникає, є реалізація підсистем, що відповідають за мобільність і керування дорожнім рухом [39]. Оскільки транспортний засіб планувалося працювати в межах полігону, для зміни напрямку руху було вирішено використовувати лише бічні повороти. Було вирішено реалізувати два способи керування платформою: проводове та дистанційне по радіоканалу.

Залежно від поставленої задачі розроблено два варіанти структурної схеми підсистеми «Рух», а також структуру елементів ППК. Незалежно від того, чи це дротова версія чи версія з дистанційним керуванням, структура пульта дистанційного керування залишається незмінною.

#### 3.1 Склад комплексу транспортного засобу

Перелік підсистем, необхідних для руху та керування транспортним засобом [40]:

1. Підсистема PDU-P (Remote Control Panel - Wired) - це дротова дистанційна панель керування, яка безпосередньо підключена до центрального контролера (СС) через кабель зв'язку. Він використовується для контролю руху транспорту, запису траєкторій і запуску платформи по заздалегідь записаній траєкторії.

2. Підсистема PDU-R (Remote Control - Radio) є бездротовим аналогом PDU-P і може виконувати всі функції PDU-P, але підключається до контролера через радіомодем, що дозволяє дистанційно керувати роботом.

3. Підсистема «Рух» використовує дротове управління для забезпечення руху керованого транспорту. Підсистема включає в себе привод моторного



Домінуюча підсистема «Рух» включає лівий і правий приводи. моторизоване колесо. Привід визначається швидкістю і "Скасувати". Сигнал «Швидкість» повинен розраховуватися з урахуванням значень керуючих впливів «Швидкість» і «Напрямок». Ці сигнали генеруються пристроєм дистанційного керування (RDC). При русі «прямо» сигнали з однаковою амплітудою напруги

«Швидкість», стосується обох дисків (лівого і правого). Ці аналогові сигнали генеруються ручкою ручного регулювання швидкості (RMU-S) з ручкою ручного керування напрямком (RMU-H) у середньому положенні ("0" градусів).

При повороті ліворуч потрібно зменшити швидкість двигуна лівого колеса, а при повороті праворуч – двигуна правого колеса. Ступінь уповільнення визначається положенням ручки.

«Напрямок» означає рівень напруги від RMU-N до СС. Для розрахунку значення сигналу швидкості використовується центральний контролер. У контролері також передбачена генерація сигналу «реверс». Якщо RMU-Z перевести в найнижче положення, моторні колеса повертаються, а положення ручки RMU-N визначає їх швидкісне співвідношення.

Робота підсистеми «рух» при радіоуправлінні аналогічна такій при проводовому управлінні. Але сигнал на центральний блок управління надходить не безпосередньо з ППК, а з проводового пульта управління, а також з радіомодему-приймача (RMD 2). У свою чергу, РМД 2 приймає сигнали від радіомодему-передавача (РМД 1), встановленого на пульта.

Пульт дистанційного керування працює так само, як і дротова панель керування, за винятком того, що сигнал передається на радіомодем-приймач, який виконує функцію телеметричного контролера. Список каналів і використання RMD 1 показано на рисунку 3.2. RMD 2 спілкується з центральним центром керування за допомогою каналу RS-232. Дискретні



радіомодему-приймача РМД 2. У свою чергу, РМД 2 приймає сигнал від радіомодему-передавача РМД 1, встановленого на ППК.

Пульт дистанційного керування працює так само, як і дротова панель керування, за винятком того, що сигнал передається на радіомодем-приймач, який виконує функцію телеметричного контролера. Список і використання каналів RMD 1 показано на рисунку 3.2. RMD 2 використовує канал RS-232 для зв'язку з центральним центром управління. Дискретні вихідні канали RMD 2 використовуються для управління сиреною. Режим телеметричного контролера RMD 1 використовується для передачі сигналів: «Хід», «Тривога», «Швидкість» та "напрямок". RMD 1 живиться від внутрішньої батареї 6 В.

### 3.3 Структура елементів пульта мануального управління

Панель керування розділена на дві основні панелі: управління рухом (рисунок 3.2) і керування пам'яттю треку (рисунок 3.3).

Пульт керування рухом має перемикач «Швидкість», який встановлює один із шести швидкісних режимів. У пульті також використовується «спрямований» джойстик, кут нахилу якого визначає співвідношення кутових швидкостей двигунів і коліс. Для активації колісного приводу на джойстику управління є кнопка «Go» [42].

Пульт керування рухом має перемикач «Швидкість», який встановлює один із шести швидкісних режимів. У пульті також використовується «спрямований» джойстик, кут нахилу якого визначає співвідношення кутових швидкостей двигунів і коліс. Для активації колісного приводу на джойстику управління є кнопка «Go».

Пульт керування доріжкою має цифровий перемикач доріжки та тумблер для включення запису доріжки або запуску передачі по записаній доріжці. Також є кнопки для скидання раніше записаних файлів треків.



впорасться сучасний центральний контролер з правильно написаною програмою. Для реалізації такої процедури необхідно створити її алгоритм [31].

Алгоритми керування рухом дистанційно керованих та автономних мобільних роботів не опубліковані в існуючій літературі. Тому необхідно розробити алгоритм керування напрямком руху бігової платформи.

Напрямок руху бічної бігової доріжки контролюється вибором співвідношення кутових швидкостей обертання лівого ( $\omega_{лмк}$ ) і правого ( $\omega_{рмк}$ ) мотор-колів - шляхом розрахунку коефіцієнта напрямку  $k_n$ , залежно від положення селектора напрямку (джойстика «напряму»).

При русі по «прямій»:

$$\omega_{лмк} = \omega_{рмк} = \omega_{зп}, k_n = \omega_{лмк} / \omega_{рмк} = +1. \quad (3.1)$$

Кутова швидкість обертання лівого і правого мотор-колів дорівнює заданій платформою кутовій швидкості (перемикач «швидкість» забезпечує алгоритм плавної зміни швидкості). При повороті ліворуч:

$$\omega_{рмк} = \omega_{зад}. \quad (3.2)$$

Кутова швидкість обертання правого моторного колеса така ж, як кутова швидкість обертання, задана платформою.

Кутова швидкість обертання лівого колеса двигуна визначається розрахунковим коефіцієнтом спрямованості:

$$k_{нл} = f_{нл}(\alpha_n), \quad (3.3)$$

де  $\alpha_n$  - кут нахилу джойстику «Напряму»:

$$\omega_{\text{ЛМК}} = k_{\text{НЛ}} \cdot \omega_{\text{ПМК}}, k_{\text{НЛ}} = -1, .. +1. \quad (3.4)$$

При обертанні «направо»:

$$\omega_{\text{ЛМК}} = \omega_{\text{зад}}. \quad (3.5)$$

Ліве колесо двигуна обертається з кутовою швидкістю, що дорівнює заданій швидкості платформи.

Кутова швидкість правого силового колеса визначається шляхом розрахунку коефіцієнта спрямованості:

$$k_{\text{НП}} = f_{\text{НП}}(\alpha_{\text{н}}), \quad (3.6)$$

де  $\alpha_{\text{н}}$  – кут нахилу джойстика «напрямок»:

$$\omega_{\text{рмк}} = k_{\text{нр}} \omega_{\text{лмк}}, k_{\text{нр}} = -1, .. +1.$$

Сигнал задавача кута повороту (джойстик «Напрямок» сигналу керування кутовою швидкістю лівого та правого мотор-колес керує центральний контролер робочої платформи.

Співвідношення кутових швидкостей двигуна і коліс визначає радіус повороту (рисунок 3.4).

Час, за який платформа переміщається на одне коло (360 градусів), можна визначити за такою формулою:

$$t_{\text{окр}} = 2\pi R_{\text{ЛМК}} / \omega_{\text{ЛМК}} \text{ (для лівого мотор-колеса),} \quad (3.7)$$

$$t_{\text{окр}} = 2\pi (R_{\text{ПМК}} + B_{\text{МК}}) / \omega_{\text{ПМК}} \text{ (для правого мотор -колеса).} \quad (3.8)$$

Отже:

$$2\pi R_{\text{ЛМК}} / \omega_{\text{ЛМК}} = 2\pi (R_{\text{ЛМК}} + B_{\text{МК}}) / \omega_{\text{ПМК}}; \quad (3.9)$$

$$\omega_{\text{ЛМК}} = \omega_{\text{ПМК}} \cdot R_{\text{ЛМК}} / (R_{\text{ЛМК}} + Y_{\text{МК}}). \quad (3.10)$$

При рухові «прямо»

$$\omega_{\text{ЛМК}} = \omega_{\text{ПМК}}, k_{\text{H}} = +1, \quad (3.11)$$

кут нахилу джойстику  $\alpha_{\text{H}} = 0$ .

Отримаємо:

$$R_{\text{ЛМК}} / (R_{\text{ЛМК}} + B_{\text{МК}}) = 1. \quad (3.12)$$

При  $B_{\mu} > 0$ ,  $R_{\text{ЛМК}} = \infty$ .

При обертанні лівого колеса  $\omega_{\text{ЛМК}} = 0$ .

З міркувань ергономіки припускаємо, що кут нахилу джойстика «напрямок» дорівнює половині максимального відхилення проти годинникової стрілки:

Отримуємо:  $R_{\text{ЛМК}} = 0$ , рисунок 3.4.

$$\alpha_{\text{H}} = -\alpha_{\text{Hmax}} / 2. \quad (3.13)$$

$$\omega_{\text{ПМК}} \cdot R_{\text{ЛМК}} / (R_{\text{ЛМК}} + B_{\text{МК}}) = 0;$$

$$R_{\text{ЛМК}} / (R_{\text{ЛМК}} + Y_{\text{МК}}) = 0; \quad (3.14)$$

При обертанні навколо осі платформи:

$$\omega_{\text{ЛМК}} = -\omega_{\text{ПМК}}. \quad (3.15)$$

Припустимо, що кут джойстика «напрямок» дорівнює максимальному відхиленню проти годинникової стрілки:

$$\alpha_n = -\alpha_{\text{нmax}}. \quad (3.16)$$

Отримаємо:

$$R_{\text{ЛМК}} / (R_{\text{ЛМК}} + B_{\text{МК}}) = -1, \quad (3.17)$$

$$R_{\text{ЛМК}} = -(R_{\text{ЛМК}} + B_{\text{МК}}), \quad (3.18)$$

$$2R_{\text{ЛМК}} = -B_{\text{МК}}, \quad (3.19)$$

$$R_{\text{ЛМК}} = -B_{\text{МК}} / 2, \quad (3.20)$$

Схеми руху ходовий платформи при розрахункове управління кутовими швидкостями мотор-колес показано на рисунку 3.4.

За контрольними точками залежності  $k_{\text{нл}} = f_{\text{нл}}(\alpha_n)$  (яку визначимо як лінійну) побудуємо графік, зображений на рисунку 3.5 а.

Залежність  $k_{\text{нл}} = f_{\text{нл}}(\alpha_n)$ , яку також задамо лінійною, рисунок 3.5, б. Для розрахунків були отримані такі залежності:

$$k_{\text{н}}=1, \text{ тоді } \alpha_n=0; \text{ при } \alpha_n < 0, k_{\text{н}} = f_{\text{нл}}(\alpha_n); k_{\text{н}} = f_{\text{нр}}(\alpha_n) \text{ при } \alpha_n > 0. \quad (3.21)$$

Визначаємо лінійні залежності  $k_{\text{нл}} = f_{\text{нл}}(\alpha_n)$  і  $k_{\text{нр}} = f_{\text{нр}}(\alpha_n)$  через контрольні точки побудованих залежностей:

$$k_{\text{нл}} = a_{\text{л}} \cdot \alpha_n + B_{\text{л}}; k_{\text{нр}} = a_{\text{п}} \cdot \alpha_n + B_{\text{п}}. \quad (3.22)$$

Рух «прямо»:

$$1 = a_{\text{л}} \cdot 0 + B_{\text{л}}; y_{\text{л}} = 1; 1 = a_{\text{п}} \cdot 0 + B_{\text{п}}; B_{\text{п}} = 1. \quad (3.22)$$

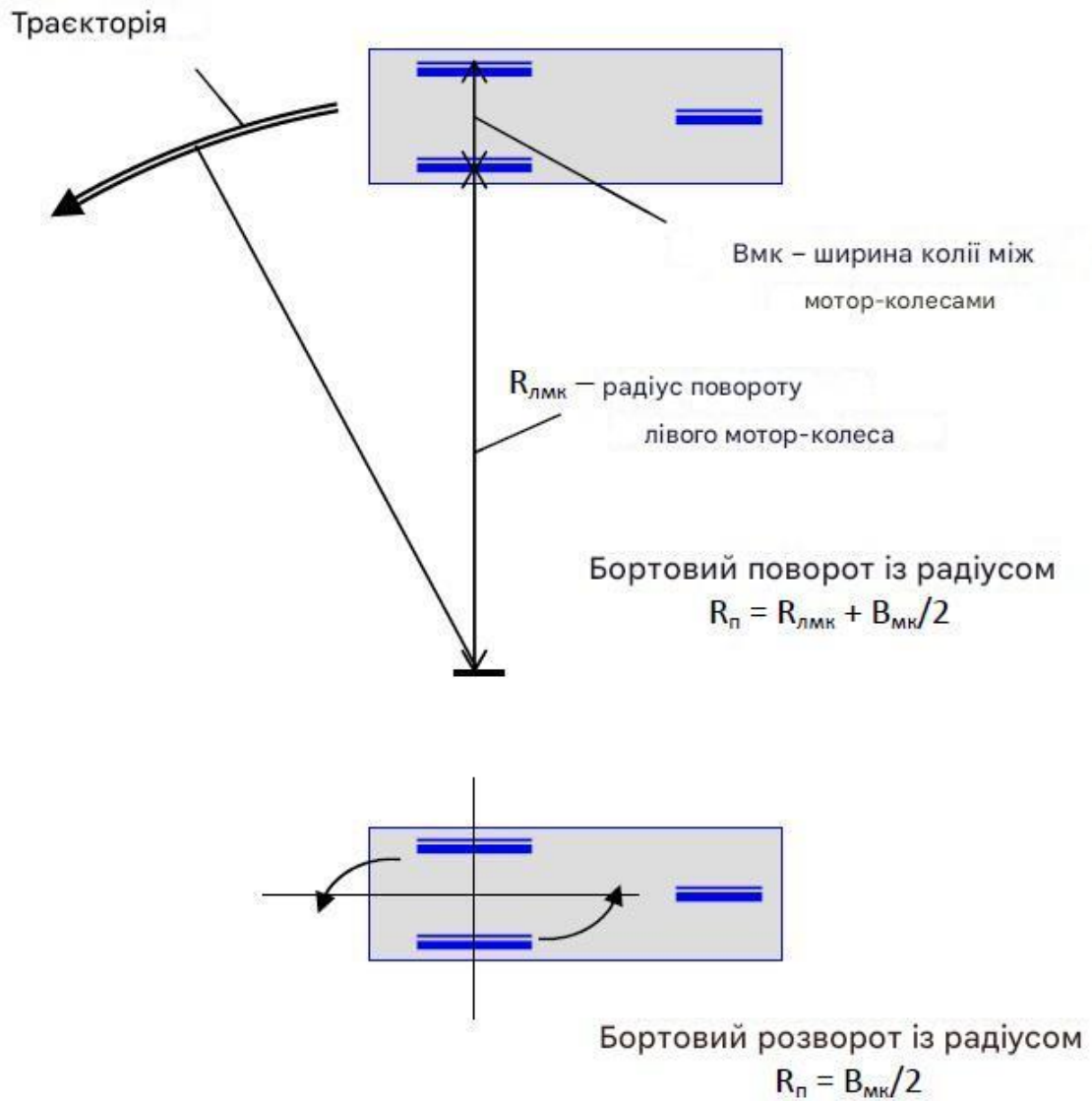


Рисунок 3.4 - Схеми руху ходовий платформи при розрахункове управління кутовими швидкостями мотор-колес

Бортовий розворот «ліворуч»:

$$-1 = a_{\text{Л}} \cdot (-\alpha_{\text{нмак}}) + 1; a_{\text{Л}} = 2 / \alpha_{\text{нмак}} . \quad (3.23)$$

Отримуємо залежність:

$$k_{\text{нл}} = (2 / \alpha_{\text{нмакс}}) \alpha_{\text{н}} + 1, \text{ при } \alpha_{\text{н}} < 0. \quad (3.24)$$

Бортовий розворот «направо»:

$$-1 = a_{\text{п}} \cdot (\alpha_{\text{нмакс}}) + 1; a_{\text{п}} = -2/\alpha_{\text{нмакс}}. \quad (3.25)$$

Отримуємо залежність:

$$k_{\text{нл}} = (-2 / \alpha_{\text{нмакс}}) \alpha_{\text{н}} + 1, \text{ при } \alpha_{\text{н}} > 0. \quad (3.26)$$

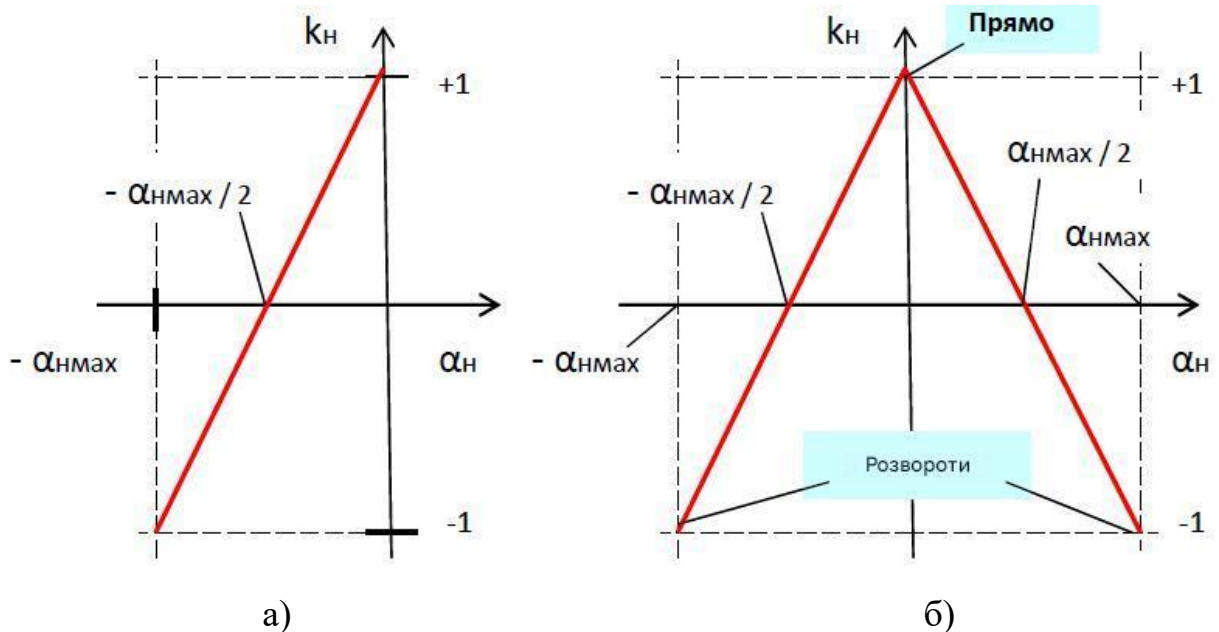


Рисунок 3.5 – Залежність коефіцієнта спрямованості, що визначає відношення кутової швидкості моторного колеса до кута нахилу джойстика

Схема руху пристрою спрямованого керування («дирекційного» джойстика) наведена на рисунку 3.6.

Відповідно до ергономічних вимог  $|\alpha_{\text{птах}}| =$  прийнято 50 градусів.

На рисунок 3.6 нижче показано відповідний алгоритм визначення частоти обертання колеса двигуна, який керує напрямком руху робочої платформи.



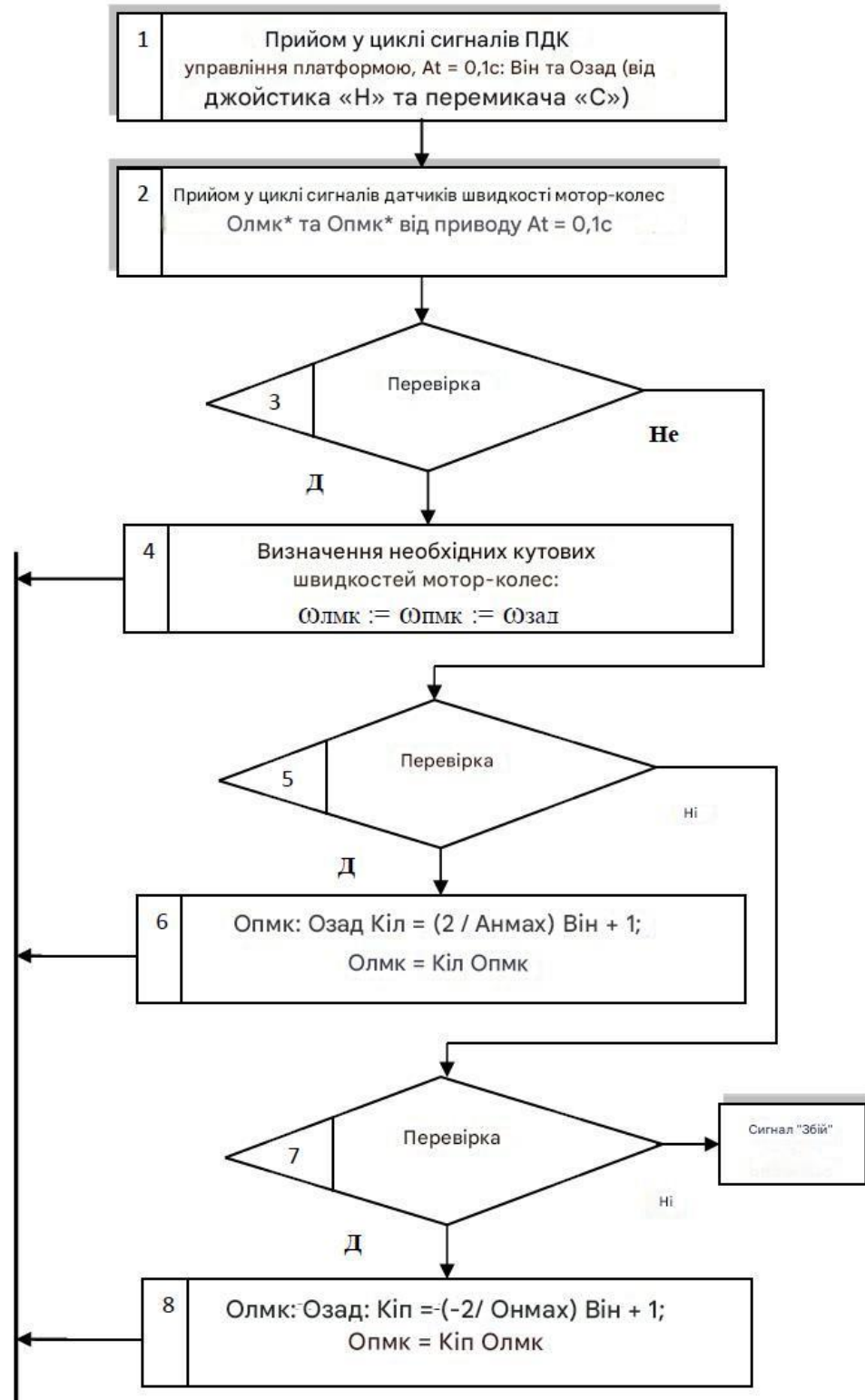


Рисунок 3.7 – Алгоритм формирования сигналов

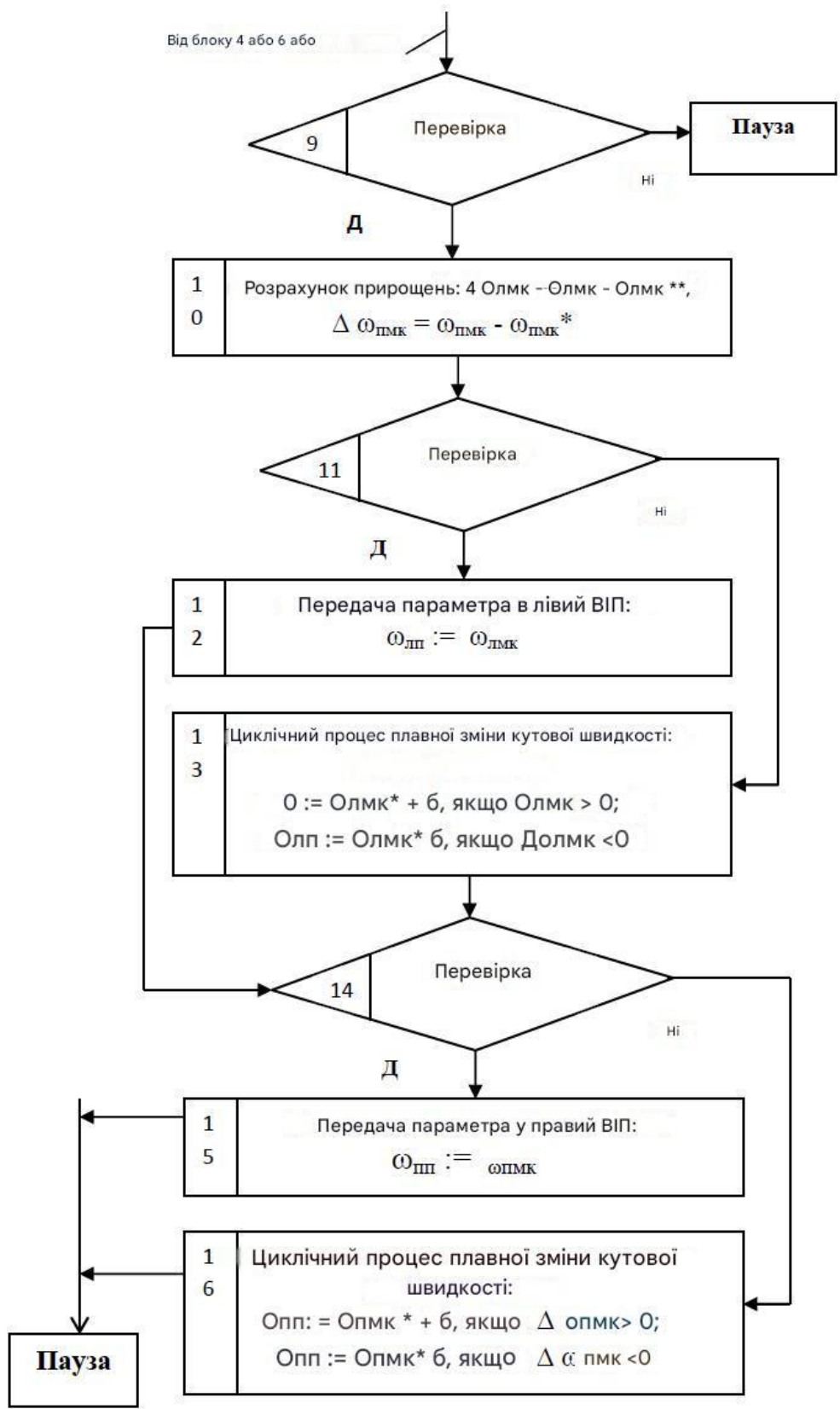


Рисунок 3.8 - Алгоритм формування сигналів (закінчення)

Для  $\Delta \omega_{lmk} \leq |\delta|$  (обмежує збільшення кутової швидкості під час розгону або гальмування), значення  $\omega_{lmk}$  подається на вхід лівого приводу колеса двигуна для виконання:

$$\omega_{лп} := \omega_{лмк} . \quad (3.28)$$

Якщо  $\Delta \omega_{lmk} > \delta$ , запускається підпрограма плавної зміни  $\omega_{lmk}$  (блок 13):

$$\omega_{лп} := \omega_{лмк}^* + \delta, \text{ якщо } \Delta \omega_{лмк} > 0, \quad (3.29)$$

$$\omega_{лп} := \omega_{лмк}^* - \delta, \text{ якщо } \Delta \omega_{лмк} < 0. \quad (3.30)$$

Коли  $\Delta \omega_{lmk} \leq |\delta|$ ,  $\omega_{лр} := \omega_{lmk}$ .

Регулювання лівої кутової швидкості завершено.

Таким же чином здійснюється регулювання кутової швидкості правого борту.

### 3.3 Структура пульта управління транспортним засобом

Напруги, показані на рисунку 3.9, мають такі значення:  $U_{start} = 1$  (сигнал ВМУ зареєстровано),  $U_{isp} = 1$  (сигнал ВМУ заблоковано),  $U_{start} = 1 \ \& \ U_{isp} = 1$ ,  $U_{isp} = 0$  (СС).

Контроль швидкості автомобіля відбувається за допомогою панелі управління рухом та містить перемикачі:

- задня передача (справа) - Контролер живиться 6 В від джерела живлення;
- повзуча задня (ПЗ) - подає напругу 4,8 на контролер через дільник напруги, що складається з рівнозначних резисторів;
- нуль (стоп) - дільник напруги, що складається з резисторів однакового значення, забезпечує напругу 3,6 на контролер;



- повзучий вперед (PP) - 2,4 В подається на контролер через дільник напруги, що складається з рівнозначних резисторів;
- вперед (P1) - забезпечує 12 В для контролера через дільник напруги, що складається з резисторів однакового розміру;
- другий спереду (P2) - подає 0 В на контролер через дільник напруги, що складається з резисторів однакового розміру.

Оригінальне колесо мало діаметр 14 дюймів (355,6 мм) і проходило 1,1 метра за один оберт колеса. Отже, при швидкості 10 км/год за одну годину колеса зроблять 9091 оберт. Кутова швидкість ( $n_2$ ) дорівнює 2,5 об/хв.

Індекси у позначеннях При розробці використовували такі умови: P1 – 5 км/год,  $\omega_{p1} = 1,25$  об/хв; PP – 0,5 км/год,  $\omega_{pp} = 0,125$  об/хв;

SW - 0,5 км/год,  $\omega_{sw} = 0,125$  об/сек; Z - 2,5 км/год,  $\omega_z = 0,625$  об/сек.

Кнопка «Go» використовується для запуску моторизованих коліс. Кнопка підключається до виходу дільника напруги 3,6. У відкритому стані цей сигнал передається на центральний блок управління і відповідає сигналу «стоп». Коли натиснута кнопка RUN, на СС подається напруга, встановлена перемикачем SPEED.

#### Контроль напрямку

На схемі (рисунок 3.9) зображено потенціометр джойстика «Напрямок». Середнє положення потенціометра відповідає значенню напрямного кута  $\alpha n = 0$ , тому СС розпізнає напругу, що дорівнює 3 В, як  $\alpha n = 0$ . Коли джойстик обертається, значення напруги менше 3 В відповідає  $\alpha n < 0$ . Коли джойстик обертається, значення напруги більше 3 В відповідає  $\alpha n > 0$ .

Кнопка «Сирена» безпосередньо запускає звуковий сигнал.

Програмний блок керування рухом містить цифровий перемикач трасування, який працює подібно до перемикача «швидкості»,

використовуючи резисторний дільник. Цей перемикач генерує сигнал  $Untr$  (номер треку).

Перемикач SA «Запис» дозволяє записувати сигнал.

Розмір кроку «швидкість» і «напрямок» у файлі, що відповідає номеру траєкторії, становить  $\Delta t = 0,1$  с.

Перемикач SA «Виконати» вимикає PDU-P і PDU-R і надає дані з файлу траєкторії для виконання. Моторне колесо слідує за раніше записаною траєкторією. Виконання траєкторії має починатися з позиції платформи, де починається запис.

Кнопка SA "Reset" продубльована для запобігання випадкового скидання записаних треків. Якщо запис чи зчитування не відбувається, ці кнопки використовуються для видалення записаних слідів.

Якщо обидва перемикачі «Запис» і «Виконати» увімкнені, СС блокуватиме обидва режими.

### 3.3 Висновки до третього розділу

Створено математичну модель контролю перекидання транспортної платформи, яка відображає залежність між швидкостями перекидання ліворуч і праворуч і нахилом джойстика дистанційного керування.

На основі математичної моделі складено блок-схему та алгоритм програми керування платформою центрального контролера;

Розроблено структуру дистанційного керування для керування швидкістю та напрямком руху автомобіля.

## ВИСНОВКИ

Дана робота присвячена проблемі забезпечення орієнтації платформи автономного автомобіля в межах міні-полігону.

Були отримані такі результати:

– розглянути різні варіанти визначення місцезнаходження об'єктів за допомогою gps;

– розглянуто методи визначення положення об'єктів за допомогою різних датчиків;

– розглянути систему розпізнавання місцезнаходження об'єкта за допомогою технічного зору;

– зроблено висновки щодо доцільності використання тегів для ідентифікації розташування об'єктів у просторі;

– розроблено апаратно-програмний комплекс для невеликого полігону;

– детально розглянуто конструкцію та принципи транспортного засобу;

– розроблено програмне забезпечення, яке дозволяє керувати транспортним засобом в межах міні-полігону;

– розроблений комплекс дозволяє планувати маршрути та раціональне логістичне забезпечення малих транспортних систем;

– створено математичну модель контролю перекидання транспортної платформи, яка відображає залежність між швидкостями перекидання ліворуч і праворуч і нахилом джойстика дистанційного керування.

На основі математичної моделі складено блок-схему та алгоритм програми керування платформою центрального контролера;

Розроблено структуру дистанційного керування для керування швидкістю та напрямком руху автомобіля.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Соловійов В. П. Інтеграція науково-технологічних викликів у систему освіти. Харків : ХНУ, 2020. 312 с.
2. Кармазіна І. М. Дитячі технопарки : досвід створення та розвитку. Львів : ЛНУ, 2021. 184 с.
3. Ivanov P., Petrov S. Design and Analysis of Small-Scale Test Ranges. London : Springer, 2015. 210 с.
4. Zhang Y. Educational Robotics Testbeds. New York : Routledge, 2017. 178 с.
5. Smith J. Miniature Autonomous Vehicle Platforms. Berlin : De Gruyter, 2016. 234 с.
6. Кравченко А. М. Проектування навчальних полігонів для робототехніки. Одеса : ОНУ ім. І. Мечникова, 2018. 192 с.
7. Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., Collins J. Global Positioning System : Theory and Practice. Vienna : Springer, 1992. 326 с.
8. Xu G. GPS : Theory, Algorithms and Applications. Boston : Artech House, 2007. 576 с.
9. Kaplan E., Hegarty C. Understanding GPS : Principles and Applications. Boston : Artech House, 2006. 448 с.
10. Sleewaegen J. GNSS Fundamentals. Paris : CNES, 2019. 312 с.
11. Gonzalez R. C., Woods R. E. Digital Image Processing. Upper Saddle River (NJ) : Prentice Hall, 2008. 954 с.
12. Szeliski R. Computer Vision : Algorithms and Applications. London : Springer, 2010. 812 с.
13. Forsyth D. A., Ponce J. Computer Vision : A Modern Approach. London : Pearson, 2012. 800 с.

14. Шевченко І. Г. Алгоритми комп'ютерного зору. Київ : КНУ ім. Т. Шевченка, 2019. 296 с.
15. Cormen T. H., Leiserson C. E., Rivest R. L., Stein C. Introduction to Algorithms. Cambridge (MA) : MIT Press, 2009. 1312 с.
16. Russell S., Norvig P. Artificial Intelligence : A Modern Approach. Upper Saddle River (NJ) : Prentice Hall, 2020. 1152 с.
17. LaValle S. Planning Algorithms. Cambridge (CA) : Cambridge Univ. Press, 2006. 800 с.
18. Кузьмін В. П. Алгоритми графового пошуку в робототехніці. Харків : ХНУРЕ, 2018. 224 с.
19. Sureka W. Summary of Positioning Technologies. IEEE Trans. Educ. 2019. Vol. 62, No. 3. 20 с.
20. Park J. Comparative Analysis of Localization Methods. Robotics Journal. 2020. Vol. 14, No. 2. 18 с.
21. Андрієнко П. С. Узагальнення методів локалізації. Робототехніка. 2021. № 5. 12 с.
22. Automotive Simulation Models : Hardware–Software Co-Design. Amsterdam : IOS Press, 2018. 256 с.
23. IM-TRS Vehicle Simulator User Manual. Autonet Corp., 2017. 48 с.
24. Карпенко М. Моделювання міських середовищ у динамічному макеті. Київ : КПІ, 2019. 140 с.
25. Schafer B. Real-Time Path Correction in Autonomous Systems. Berlin : Springer, 2016. 192 с.
26. GI Database TP-TRS : Software Reference. Autonet Corp., 2018. 64 с.
27. Литвиненко В. О. Алгоритми коригування в автономних транспортних системах. Львів : ЛНУ, 2020. 224 с.
28. Next-Gen Robotics Testbeds. IEEE Spectrum. 2021. Vol. 58, No. 7. 10 с.

29. KIAR C. Trends in Micro-Range Autonomous Testing. Robotics Today. 2022. № 4. 14 с.
30. Рибак П. О. Перспективи ультразвукових сенсорів у робототехніці // Сенсорні Технології. 2021. № 3. 16 с.
31. PCF8574 I2C I/O Expander Datasheet. NXP Semiconductors, 2016. 8 с.
32. SS441A Hall-Effect Sensor Datasheet. Honeywell, 2015. 4 с.
33. Блочник О. Протоколи I<sup>2</sup>C у вбудованих системах. Одеса : ОНУ, 2019. 128 с.
34. Monk S. Programming Arduino : Getting Started with Sketches. Sebastopol (CA) : O'Reilly, 2016. 312 с.
35. Banzi M., Shiloh M. Getting Started with Arduino. Sebastopol (CA) : Maker Media, 2014. 232 с.
36. LiquidCrystal\\_I2C Library Manual. Arduino.cc, 2020. 20 с.
37. Wire Library Reference. Arduino Foundation, 2019. 16 с.
38. Ziegler J. Embedded Systems Development Overview. IEEE Embedded Systems. 2020. Vol. 36, No. 2. 12 с.
39. Лазарчук І. В. Підсумки апаратно-програмних досліджень. Вбудовані Системи. 2021. № 6. 10 с.
40. Remote Control Panel (PDU-P) Technical Manual. Autonet Corp., 2018. 32 с.
41. Radio Control Subsystem (PDU-R) Manual. Autonet Corp., 2019. 28 с.
42. Бондаренко О. Г. Архітектура радіомодемів для робототехніки. Харків : ХНУРЕ, 2020. 176 с.
43. Joystick Interface Design. Embedded Magazine. 2018. № 4. 14 с.
44. O'Connor T. Human–Machine Interfaces in Robotics. London : IET, 2017. 256 с.

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Присяжнюк Максим Андрійович

Тема: Автоматизована система керування безпілотним транспортним засобом

Спеціальність: 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість сторінок записки 66

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою роботи є розробка системи локалізації для моделі транспортного робота з логістичними маршрутами за допомогою інтерфейсу HMI.
2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню
3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У першому розділі проведено аналіз стану загального компонування полігону, транспортного засобу та можливі принципи його орієнтації у просторі. У другому розділі проведено розробку апаратно-програмного комплексу міні-полігону. У третьому розділі проведено розробку безпілотного транспортного засобу на основі моделі транспортного засобу міні полігону.
4. Позитивні сторони роботи: висока практична цінність роботи.

5. Негативні сторони роботи: у роботі недостатньо розкрито питання обґрунтування вибору технічних засобів

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному науково-технічному рівні.

8. Інші зауваження: відсутні

9. Оцінка дипломної роботи: задовільно (3.50/D)

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) \_\_\_\_\_

Петрушик Володимир Степанович,  
доц. коор. ТМІТ

"19" 06 2025 р.

  
(підпис)

Завідувачу кафедри АКІТтаР  
д-ру техн.наук, проф. Мартинюку В.В.

Максим ПРИСЯЖНЮК

ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 4 курс, групи АКІТ-21-1

### ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений(а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність плагіату ознайомлений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (StrikePlagiarism та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

02.06.2023р.

дата



підпис

## Протокол аналізу звіту подібності експертом

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: Максим ПРИСЯЖНЮК

Співавтор:

Назва: Присжнюк антиплагіат

Експерт:

Підрозділ: Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

Коефіцієнт подібності 1:0.4%

Коефіцієнт подібності 2:0%

Мікропробіли: 0

Заміна букв: 107

Інтервали: 0

Білі знаки: 0

Дата створення звіту: 2025-06-19 06:17:28.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.

Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедурам. Таким чином робота не приймається.

Обґрунтування:

2025-06-19



Доцент Микола Федула

Дата

експерт

# Anti-Plagiarism (UA) v-15.281 Educational

**The maximum coincidence with one document 1.0%**

Dictionary check: en\_US, ru\_RU, ua\_UA. **Errors in the documents: 7%**

ID: 246839 Title: БКР Автоматизована система керування безпілотним транспортним засобом Added in a DB: 2025-06-19 Authors: Максим ПРИСЯЖНЮК Heads: Юрій ФОРКУН Consultants: Opponents:	Document		Sum coincidence on the DB	
	Symbols	Lexemes	Symbols	Lexemes
	47076	752	887 (2%)	14 (2%)

## Plagiarism sources

ID	Description	Plagiarism presence in the document	
		Symbols	Lexemes

**РІШЕННЯ ЕКСПЕРНОЇ КОМІСІЇ**  
**КАФЕДРИ АВТОМАТИЗАЦІЇ, КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА**  
**РОБОТОТЕХНІКИ**  
**ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ**

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Автоматизована система керування безпілотним транспортним засобом

Автор: Присяжнюк Максим Андрійович

Спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Освітня програма: Освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Науковий керівник: Форкун Юрій Вікторович, кандидат технічних наук, доцент

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	<b>відповідає</b>
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої й електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того, як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
5	Інше:	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

1) у тексті кваліфікаційної роботи системами перевірки на плагіат виявлено схожість з деякими документами в частині загальноживаних обов'язкових словосполучень у стандартних бланках (титулка, відомість документів), у структурі змісту, назвах розділів/підрозділів тощо, у назвах публікацій у переліку джерел посилання;

2) усі запозичення є фрагментарними або мають належним чином оформленні посилання;

3) виявлені модифікації тексту не впливають на відсоток схожості.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів ідентичності/схожості, складає 0,39% і адресується до 19 джерел, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру теми і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи



Валерій МАРТИНЮК

Юрій ФОРКУН

Юрій ФОРКУН