

Міністерство освіти і науки України  
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут»

Факультет систем управління літальними апаратами

Кафедра систем управління літальних апаратів

## Пояснювальна записка

до дипломної роботи

магістра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему «Розробка та дослідження системи управління колісного Омні-робота  
з системою технічного зору»

ХАІ.301.361.200.272.00153030 ПЗ

Виконав: студент 6 курсу, групи 361  
спеціальності  
272 “Авіаційний транспорт”  
Освітньо-професійна програма  
“Інтелектуальні транспортні системи”

Симанюк П.А.

(прізвище та ініціали студента)

Керівник Дергачов К.Ю.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Флерко С.М.

(прізвище та ініціали)

м. Харків – 2020 рік

## РЕФЕРАТ

Сторінок 110, рисунків 58, таблиць 9, джерел 25, додатків 3.

Мета роботи – розробка системи управління мобільного колісного Омні-робота для визначення перешкод з використанням технічного зору, розробка мобільного колісного робота.

Актуальність даної роботи полягає в розробці системи визначення перешкод при русі мобільного робота для вирішення завдань навігації.

У даній роботі проведена робота по розробці програмного продукту для системи планування траєкторії руху мобільного колісного робота, з визначенням перешкод за допомогою технічного зору.

Наведено графічні матеріали, розраховані передавальні функції за допомогою рівнянь руху мобільного колісного руху. Розраховані витрати на виробництво.

Ключові слова: ОПТИМАЛЬНИЙ ШЛЯХ, ТЕХНІЧНИЙ ЗІР, МОБІЛЬНИЙ КОЛІСНИЙ РОБОТ, Омні-РОБОТ, ВСЕ НАПРАВЛЕНІ КОЛЕСА, ОБ'ЇЗД ПЕРЕШКОД.

## ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ .....	5
СКОРОЧЕННЯ .....	6
ВЕДЕННЯ .....	7
1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ .....	8
1.1 Загальний стан проблеми.....	8
1.2 Аналіз літератури.....	10
1.3 Висновки до розділу .....	10
2 ОПИС ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ .....	11
2.1 Змістовна і графічна моделі об'єкта управління.....	11
2.3 Елементна база ОАУ .....	16
2.4 Висновки до розділу .....	22
3 МАТЕМАТИЧНЕ ОПИСАННЯ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ.....	23
3.1 Розробка моделей об'єкта автоматичного управління і елементів системи 23	
3.2 Кінематична модель .....	24
3.3 Динамічна модель .....	29
3.4 Загальна динамічна модель.....	33
3.5 Побудова лінеаризованої математичної моделі ОАУ.....	35
3.6 Висновки до розділу .....	38
4 СИНТЕЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ.....	39
4.1 Формування функціональної схеми системи та структурної схеми, визначення передавальних функцій системи по управляючому впливу .....	39
4.2 Визначення коефіцієнта передачі коригувального елемента з умови забезпечення заданої точності САУ .....	43
4.3 Синтез коригувального пристрою методом ЛАЧХ.....	43
4.4 Дослідження та аналіз функціональних властивостей скоригованої системи .....	45
4.5 Висновки до розділу .....	47
5 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА.....	49
5.1 Задачі контролера та визначення складу вхідної та вихідної інформації.....	49
5.2 Вибір елементної бази.....	51
5.3 Опис вибраного контролера .....	54
5.4 Розробка алгоритму роботи системи управління.....	59
5.5 Протоколи передачі даних та формати даних .....	62

5.6	Висновки до розділу .....	64
6	ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА .....	66
6.1	Задачі і методи проведення дослідження.....	66
6.2	Визначення перешкоди та розрахунок відстані від камери до об'єкта/перешкоди .....	66
6.3	Дослідження траєкторії об'їзду об'єкта з застосування інфра-червоних датчиків перешкод .....	70
6.4	Висновки до розділу.....	71
7	ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА.....	73
7.1	Підготування до експериментально-практичної частини .....	73
7.2	Опис експерименту.....	74
7.3	Висновки до розділу .....	78
8	ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОЗРОБКИ.....	79
8.1	Основні поняття і положення .....	79
8.2	Опис виробу .....	79
8.3	Сегментування ринку .....	79
8.4	Розрахунок собівартості і ціни розробки .....	81
8.5	Висновки до розділу .....	86
	ВИСНОВКИ.....	87
	СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	89
	ДОДАТОК А.....	91
	ДОДАТОК Б .....	99
	ДОДАТОК В.....	101

## АНОТАЦІЯ

В даній роботі було проведено дослідження методу визначення перешкод/об'єктів з використанням відео камери, та розглянуто методи об'їзду перешкод мобільним роботом. У якості об'єкта управління виступає колісний мобільний Omni-робот, також було розроблено та описано функціональну схему об'єкта управління.

Результати експериментального дослідження свідчать про те, що поставлені завдання повністю досягнуті – система функціонує, похибки у результатах вимірювання знаходяться в допустимих межах. В результаті, отримана система управління, є легкою і дешевою у виробництві, має малі габарити і зручна в експлуатації, що робить її конкурентоспроможною в галузі навігаційних систем.

## СКОРОЧЕННЯ

- МКР – мобільний колісний робот.  
ОАУ – об’єкт автоматичного управління.  
ПАУ – пристрій автоматичного управління.  
САУ – система автоматичного управління.  
ОУ – об’єкт управління.  
ШІМ – широтно-імпульсна модуляція.  
ІЧ – інфрo-червоні датчики перешкоди.  
ПЗ – програмне забезпечення.  
ТЗ – технічне завдання.  
ДЗП – додаткова заробітна платня.  
ЗП – заробітна плата.  
СТЗ – система технічного зору.  
ПК – персональний комп’ютер.  
ОС – операційна система.  
ОЗП – основна заробітна платня.

## ВЕДЕННЯ

Мобільні роботи, можуть функціонувати в найрізноманітніших умовах, які можуть бути як частково, так і повністю невизначеними. Побудову траєкторії руху мобільного робота при невизначених умовах можливо виконувати за допомогою відеокамери. Ефективність подолання середовища з невизначеними умовами залежить від якості визначення перешкод з отриманих відео зображень. Зв'язок між автономним роботом і навколишнім середовищем здійснюється за допомогою технічного зору.

Системами технічного зору називають сукупність апаратних і програмних засобів отримання, передачі, зберігання і обробки зображень, включаючи автоматичний аналіз зображень і формування рішень (наприклад, вимірювання параметрів об'єктів на зображенні) або вироблення сигналів управління, які подаються на виконавчі механізми (наприклад, при організації руху мобільних роботів).

Актуальність теми полягає у розробці та дослідженні системи управління для мобільного Omni-робота з використанням технічного зору, для визначення перешкоди, та виконання її об'їзду. Ціль даної роботи полягає у створенні мобільного колісного робота, який буде в автоматичному режимі визначати перешкоди та об'їжджати їх. Об'єктом автоматичного управління в цій роботі є мобільний колісний Omni-робот з вмонтованими все направленими колесами, які дозволяють виконувати розворот на 360 градусів на місці, а також виконувати переміщення в боки не змінюючи положення корпусу . Були поставлені задачі такі як вибір методу визначення об'єктів з відео-потоків, розробка та створення експериментальної моделі мобільного колісного робота, моделювання та обробка отриманих результатів щодо якості руху мобільного робота.

Поставлені задачі будуть виконуватися наступними етапами:

- 1) вербальне описання об'єкта управління, задачі які він виконує;
- 2) знаходження рівнянь математично описуючих рух мобільного Omni-робота;
- 3) виконання синтезу коригуючого елемента методом ЛАЧХ;
- 4) вибір мікроконтролера та інших виконавчих органів, побудова принципово-електричної схеми мобільного Omni-робота;
- 5) перевірка на реальному об'єкті відпрацювання поставлених задач;
- 6) розрахунок собівартості мобільного Omni-робота, сегментація ринку мобільних роботів
- 7) висновки.

# 1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ

## 1.1 Загальний стан проблеми

Автономні мобільні пристрої набувають все більшого значення в повсякденному житті людини. Серед таких пристроїв особливе місце займають мобільні роботи: прибиральники, санітари, екскурсоводи, помічники по будинку, транспортні пристрої і інші засоби, призначені для виконання різних функцій в побутових, виробничих, надзвичайних і інших умовах, оснащені розвиненим людино-машинним інтерфейсом.

Особливість експлуатації мобільних роботів - необхідність забезпечення їх роботи в складних, слабо детермінованих середовищах: різних приміщеннях і на відкритому просторі. Для забезпечення орієнтації в такому середовищі мобільний робот необхідно оснастити розвиненою навігаційною системою, однією зі складових якої є система технічного зору.

При реалізації систем технічного зору для мобільних роботів, що діють в невідомій або непередбачуваній середі, одна з найбільш важливих завдань - розпізнавання перешкод, тобто об'єктів, що знаходяться на шляху їх руху. Вирішення цього завдання - вельми складний процес, оскільки тісно пов'язаний з методами попередньої обробки зображення. Найчастіше якість розпізнавання залежить від ефективності безлічі процесів, починаючи від введення зображення перешкоди і закінчуючи формуванням його ознак. Найбільш важлива при розпізнаванні завдання опису ознак перешкоди для подальшої його ідентифікації.

Ідентифікація перешкод полягає в об'єднанні всієї отриманої інформації в єдине ціле для класифікації перешкоди. Більшість відомих методів не проводять чіткої межі між процесами розпізнавання та ідентифікації, оскільки виділення ознак відбувається за рахунок модифікації вихідного зображення.

Найбільш перспективна і багатообіцяюча область застосування систем технічного зору - зорове адаптування мобільних роботів. Необхідність вільного переміщення в певному середовищі значно підвищує вимоги до швидкісних характеристик систем технічного зору, оскільки вони повинні забезпечувати розпізнавання та ідентифікацію об'єктів навколишнього простору за мінімальний час і з мінімальними витратами енергії.

Для забезпечення орієнтації робота в середовищі в основному використовують різноманітні далекоміри: ультразвукові, оптичні та лазерні. Ультразвукові датчики характеризуються великим часом відгуку - порядку десятих часток секунди, і, якщо робот знаходиться на великому і відкритому просторі, це не дозволяє йому пересуватися швидко. Швидкість звуку в різних



умовах також може змінюватися, впливаючи на точність оцінки відстані, в результаті спотворюється загальна картина навколишнього середовища. За допомогою лазерних далекомірів можливо отримати образ середовища тільки в зоні прямої видимості. Крім того, на шляху променю часто виникають дрібні перешкоди, що вносять похибку в такий спосіб. Створення тривимірних карт за допомогою лазерів в масштабі реального часу ще більш важко і, як мінімум, вимагає істотних обчислювальних потужностей.

Відстань до перешкоди визначають також за допомогою двох відео камер (стерео зір), що дозволяє роботу побудувати 3D зображення перешкоди, але вимагає значного часу для аналізу отриманих даних. Щоб поєднати обидва зображення в одне, потрібно складний і енергоємний алгоритм. Якщо відеокамери закріплені жорстко, то, виходячи з відомої відстані між ними, можна поєднувати зображення воедино. Але якщо на шляху однієї з них буде одна перешкода, а друга одночасно буде реєструвати іншу перешкоду, то виникає проблема поєднання опорних точок. В цьому випадку знайти відповідність – завдання надзвичайно складна. Для її вирішення роботу знадобиться знайти не тільки відповідність опорних точок зображення, а й прямих ліній або фігур. Істотним недоліком такого підходу є висока вартість технічних засобів.

Існує алгоритм визначення відстані до перешкоди за допомогою однієї відеокамери на рівній поверхні, що дозволяє оцінити відстань до перешкод і напрямок на них по єдиному чорно-білому кадру, заснований на наступних припущеннях: проведена попередня калібрування камери, камера нерухомо закріплена, робот рухається по плоскій горизонтальній поверхні, в навколишньому середовищу немає нависаючих об'єктів.

Однак ці припущення не відповідають умовам завдання забезпечення автономного руху мобільного робота в частково або повністю недетермінованої середовищі, для вирішення якої необхідно:

- розпізнати і визначити параметри перешкод, які зустрічаються роботу на шляху його руху;
- прокласти маршрут (траєкторію) руху робота.

В першу чергу необхідно вирішити задачу розпізнавання, тому що від її рішення залежить ефективність прокладки маршруту.

Пропонується для розпізнавання та визначення параметрів перешкод використовувати одну відеокамеру та алгоритм розпізнавання перешкод, який входить до складу системи управління мобільного робота та здійснює контроль робочого простору перед роботом в напрямку його руху.

## 1.2 Аналіз літератури

Орієнтація мобільних роботів за допомогою відеокамери розглянуто у багатьох наукових виданнях, статтях і технічній літературі. В [1] розглядаються алгоритми орієнтації роботів в середі за допомогою різноманітних далекомірів: ультразвукових, оптичних та лазерних. Розробка системи технічного зору, алгоритми перетворення відео-зображення, обробка відео-послідовностей, розглянуті в джерелі [2]. У даних джерелах розглянуті принципи роботи з камерою.

Опис математичної моделі динаміки поведінки колісного робота з двома незалежними ведучими колесами представлено в [3]. Отримання передавальних функцій за управлінням та за збуренням розглянуті в [4]. Також в даній статті розглядається побудова схем: функціональна та структурна. Для побудови кінематичної та динамічної моделі руху мобільного робота було використано [5, 6]. В [7] описано методи тестування системи управління в середі Matlab/Simulink.

Також був проведений патентний аналіз наукових досліджень в області побудови системи технічного зору. Знайдені патенти можна розділити на: визначення координат об'єктів; відстеження об'єктів; засоби обробки зображень. Також була знайдена робота, в якій описуються методи калібрування відеокамери. Головним досягненням роботи є якісне калібрування камери. Ще одна робота відноситься до роботи з використанням камер. Результатом роботи є збільшення точності орієнтації мобільного робота у просторі. Розглядається винахід, який відноситься до засобів захоплення і обробки зображень. Технічним результатом є визначення перешкоди та відстані до перешкоди. Патентний аналіз, проведений для аналізу наявних методів орієнтації мобільного робота у невизначеній середі, визначення перешкод та розрахунок відстані від камери мобільного робота до перешкоди, наведено в додатку А

## 1.3 Висновки до розділу

В даному розділі, були розглянуті задачі які повинен вирішувати мобільний робот з Омні-колесами, розглянуті методи вирішування поставлених задач. Було проведені аналіз та основі патентного пошуку, порівняння з існуючими патенти мобільних колісних роботів. При проведені патентного пошуку, було визначено можливі недоліки та проблеми при побудові і використанні мобільного колісного робота. Також проведено аналіз літератури.

## 2 ОПИС ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ

### 2.1 Змістовна і графічна моделі об'єкта управління.

Об'єктом автоматичного управління в даній роботі є мобільний робот з отпі-колесами, оснащений камерою для визначення та об'їзду перешкод. Платформа оснащена чотирма отпі-колесами, що являють собою розміщені ролики по всій поверхні колеса під кутом  $45^\circ$ , що дозволяє при зміні напрямку обертання коліс змінювати напрямок руху мобільного робота не змінюючи кут положення мобільного робота. Завдяки застосуванню отпі-колес мобільний робот набув високу маневреність, що дозволяє проходити середовища складної геометричної форми без зайвих проблем.

На поверхні платформи розміщена WIFI камера, яка в реальному часі при русі мобільного робота фіксує відео-поток та через WIFI передає на персональний комп'ютер, де отримані дані оброблюються і далі з ПК поступає сигнал про наявність перешкод на контролер, який оснащений WIFI модулем, а вже контролер подає сигнал управління на двигуни.

На рис. 2.1 представлено вид спереду мобільного робота з отпі-колесами.

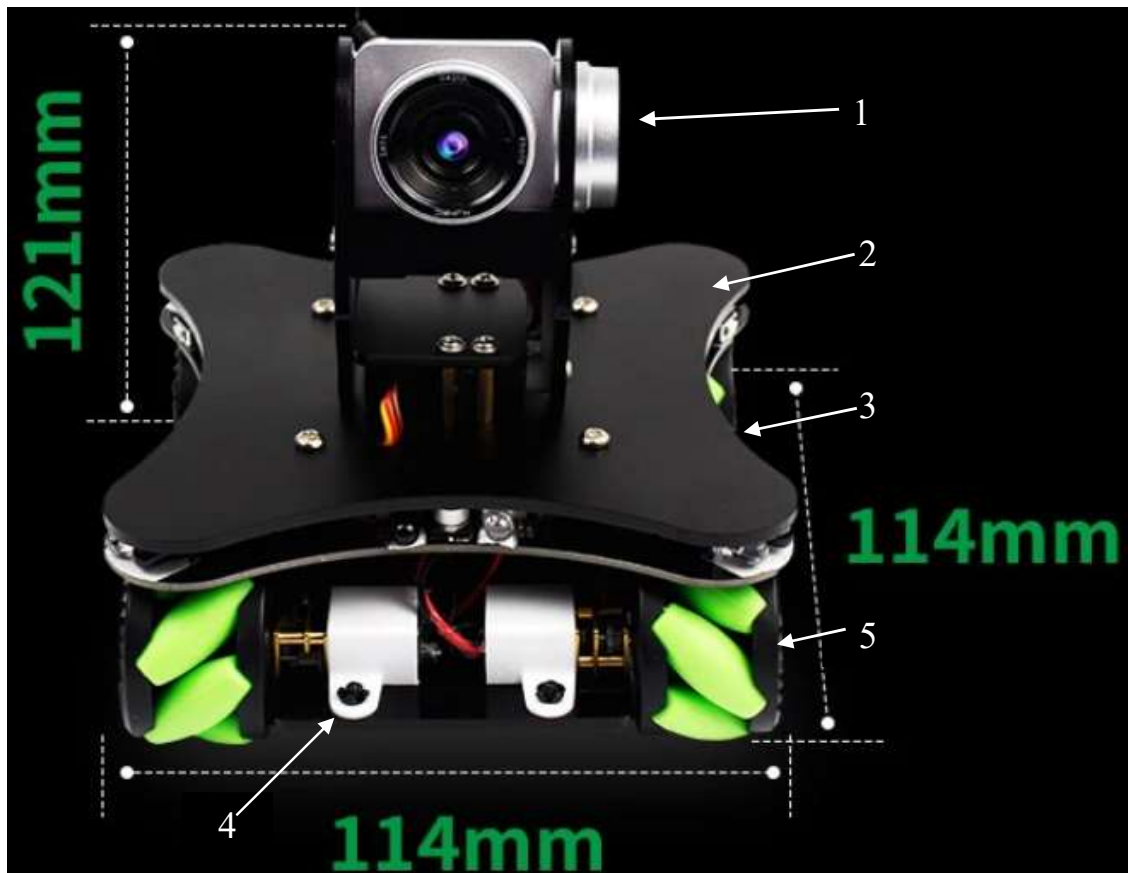


Рисунок 2.1 – Вид спереду мобільного робота з отпі-колесами

На рис. 2.1 приведені наступні позначення:

- 1 - WIFI камера;
- 2 - плата контролера Omniduino;
- 3 - блок акумулятору для живлення;
- 4 - двигуни;
- 5 - опні-колеса.

Після подачі живлення мобільний робот починає рух, напруга при якій робот повноцінно працює повинна бути від 2,2 до 5 В. Після початку руху, мобільний робот рухається прямо, якщо є перешкода на двигуни (на кожне колесо 1 двигун) мобільного робота поступають сигнали управління, про напрямок обертання колеса, від цього залежить напрямок руху мобільного робота. Робот працює в автоматичному режимі, до моменту вимкнення живлення.

Для розпізнавання і визначення параметрів перешкод будемо використовувати одну відеокамеру та алгоритм розпізнавання перешкод, який входить до складу системи управління мобільного робота та здійснює контроль робочого простору перед роботом в напрямку його руху.

Алгоритм складається з наступних кроків:

- отримання опису зображення середовища від відеокамери,
- обробка зображення,
- розпізнавання перешкоди,
- визначення параметрів і орієнтації перешкоди,
- формування даних для системи управління.

Спосіб визначення параметрів і орієнтації перешкоди полягає в наступному.

Відеокамера має два відомих параметра: ширину кадру  $L$  в пікселях,  $\rho_x$ , і кут огляду камери  $\Omega$ , град. При появі перешкоди робот визначає ширину перешкоди  $l$  в  $\rho_x$ . Кутовий розмір перешкоди  $\gamma$ , град. (рис. 2.2), визначається з співвідношень

$$\frac{\Omega}{L} = \frac{\gamma}{l}, \quad \gamma = \frac{\Omega l}{L}.$$

Виконавши це обчислення, робот просувається на певну відстань і повторює обчислення.

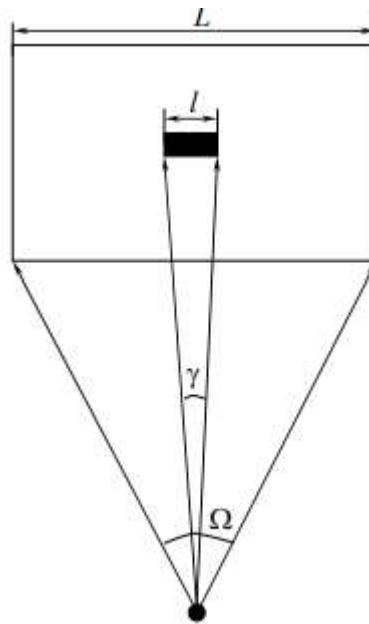


Рисунок 2.2 – Графічне зображення розрахунку кутового розміру об'єкта

Порівнявши отримані дані, можна визначити реальну відстань до перешкоди (рис. 2.3) з наступної системи рівнянь:

$$\begin{cases} \operatorname{tg}\alpha = \frac{x}{y+a}; \\ \operatorname{tg}\beta = \frac{x}{y}, \end{cases}$$

де  $x$  - половина ширини перешкоди;

$y$  - відстань до перешкоди;

$\alpha$  - половина кутового розміру перешкоди при першому вимірі;

$\beta$  - половина кутового розміру перешкоди при другому вимірі;

$a$  - відстань, пройдену роботом між обчисленнями.

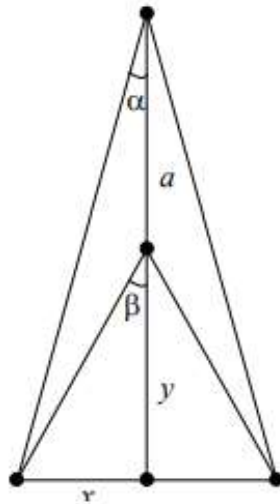


Рисунок 2.3 – Графічне відображення системи рівнянь

Рішення системи рівнянь:

$$x = \frac{y \operatorname{tg} \beta}{y + a}, \quad \operatorname{tg} \alpha (y + a) = y \operatorname{tg} \beta,$$

$$y \operatorname{tg} \alpha + a \operatorname{tg} \alpha = y \operatorname{tg} \beta, \quad a \operatorname{tg} \alpha = y \operatorname{tg} \beta - y \operatorname{tg} \alpha,$$

$$a \operatorname{tg} \alpha = y (\operatorname{tg} \beta - \operatorname{tg} \alpha), \quad y = \frac{a \operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \beta - \operatorname{tg} \alpha}.$$

Запропонований метод визначення відстані до перешкоди при русі мобільного робота на відміну від більшості існуючих не прив'язаний жорстко до конкретних умов руху і підвищує гнучкість і автономність системи управління в цілому.<sup>[8]</sup>

Розроблений алгоритм не вимагає істотних обчислювальних витрат і економічно більш вигідний. Він також володіє зниженим енергоспоживанням, що є не менш важливою характеристикою для системи навігації мобільного робота.

## 2.2 Вибір принципу управління

Вибір принципу управління – це, в першу чергу, вибір виду інформації, на основі якої буде здійснюватися управління системою. Від вибраного принципу управління, залежать технічні і експлуатаційні властивості автоматичної системи.

Принцип адаптації. Новий принцип управління, який застосовується в сучасних системах управління. До його складу входять пристрої аналізу, які

самостійно регулюють параметри системи, в залежності від поточної інформації про умови роботи системи.

Принцип управління по відхиленню. Управління таких систем засноване на інформації про відхилення керованої величини від заданого показника. Таким чином в системі створюється зворотній зв'язок, завдяки якому розраховується величина відхилення від заданого показника, таким чином система формує керуючу реакцію на показник відхилення. Цей принцип управління знайшов дуже широке застосування: він дозволяє керувати нестійкими системами, забезпечує точність управління.<sup>[9]</sup>

Принцип управління по обуренню. Здійснюється за величиною вимірюного збурення (зустрічний або бічний вітер, прослизання коліс, температура, високий тиск і тд.), що діє на об'єкт. Для реалізації цього принципу управління керуючі сигнали передаються по розімкненому ланцюгу. Основним недоліком такого принципу управління є вибірковість системи на різні види збурення, але система відпрацьовує миттєву реакцію на збурюючий сигнал.

З розглянутих вище принципів управління, для систему управління роботом з ОМНІ-колесами був обраний принцип управління по відхиленню. На рис. 2.4 представлено функціональну схему системі автоматичного управління.

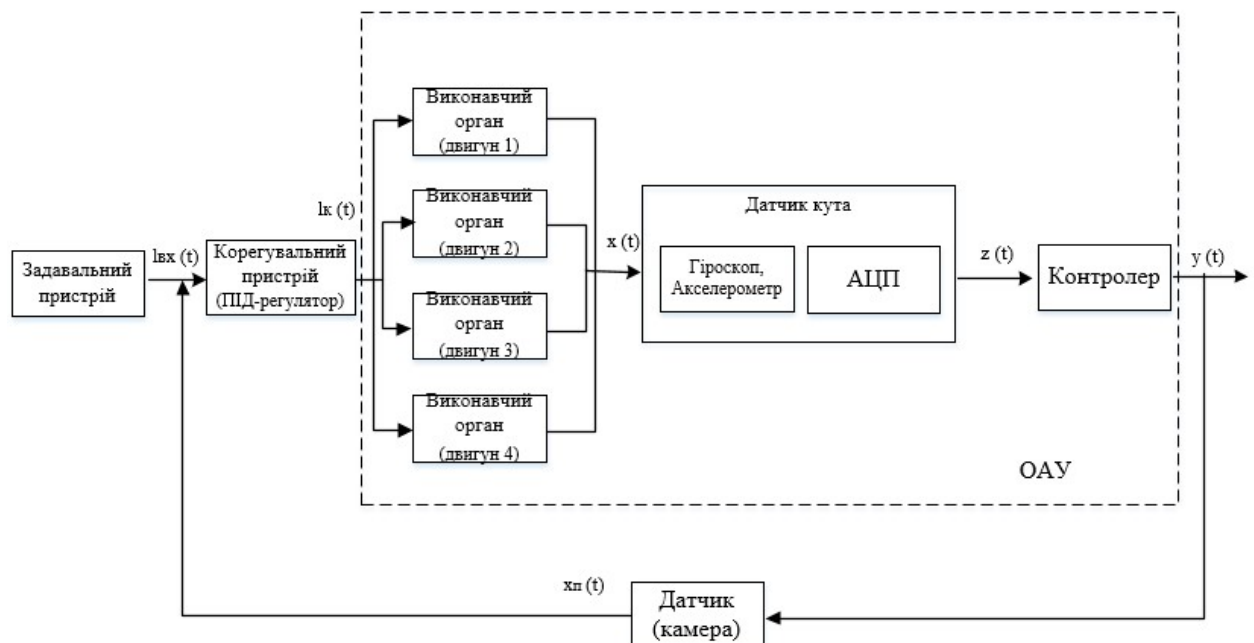


Рисунок 2.4 – Функціональна схема САУ

На рис. 2.4 прийняті наступні позначення:

$I_{вх}(t)$  – відстань на яку потрібно проїхати роботу;

$I_к(t)$  – скореговане значення вхідної величини, за допомогою ПІД-регулятора;

$x(t)$  – переміщення котре виконав колісний робот;  
 $z(t)$  – сигнал положення колісного робота;  
 $y(t)$  – вихідне значення переміщення колісного робота;  
 $x_n(t)$  – відстань до перешкоди.

В даній системі керуючим сигналом є відстань на яку потрібно проїхати колісному роботу, щоб об'їхати перешкоду. Через зворотній зв'язок до входу системи поступає сигнал з датчиків перешкод, а саме відстань до перешкоди. На вихід системи, поступає значення переміщення колісного робота після всіх корегувань.

### 2.3 Елементна база ОАУ

На рис. 2.5 представлено зовнішній вигляд робота з ОМНІ-колесами.



Рисунок 2.5 – Зовнішній вигляд робота з ОМНІ-колесами



Основна мета робота з ОМНІ-колесами – визначення перешкоди, об'їзд перешкоди не змінюючи кута положення робота. Дана задача вирішується за допомогою використання ОМНІ-коліс. На рис.2.6 представлено конструкція ОМНІ-коліс.



Рисунок 2.6 – Конструкція ОМНІ-колеса

ОМНІ-колесо складається з валиків, які приєднані до корпусів колеса під кутом 45 градусів, що дає змогу виконувати переміщення вперед, назад, а також вправо і вліво, без повороту корпусу робота, а також виконувати поворот на місці на 360 градусів.<sup>[10]</sup>

Для коректного руху мобільної платформи розглянемо як повинні рухатись колеса для різних напрямків руху:

1) рух «вперед/назад» - коли всі чотири колеса обертаються по напрямку руху вперед, колеса передні і колеса задні можуть нейтралізувати осьову швидкість один одного, залишивши тільки швидкість руху вперед, так що мобільний робот буде рухатися вперед. Рух назад має той же принцип, але всі колеса мають обертатись в зворотній бік. На рис. 2.7 показано схематичне зображення руху платформи (а) рух вперед, (б) рух назад.

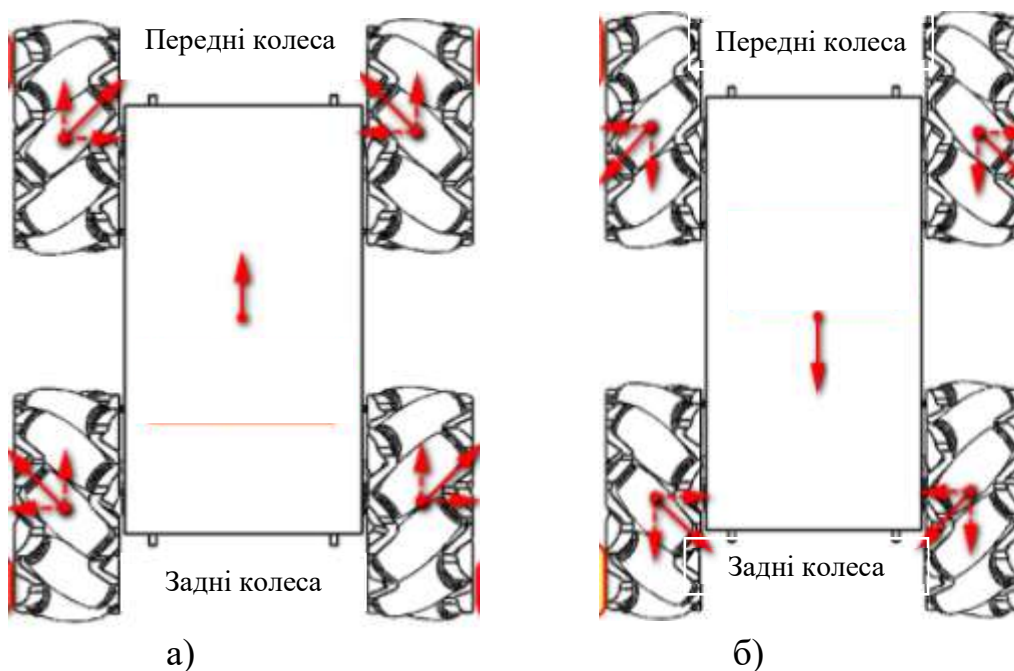


Рисунок 2.7 – Схематичне зображення руху платформи «вперед/назад»: а - рух вперед, б – рух назад

2) рух «вправо» - коли колесо А (переднє ліве колесо та заднє праве колесо) обертається вперед, а колесо В - назад, швидкості руху вперед і назад будуть зміщені, залишивши тільки швидкість вправо, а потім автомобіль буде переміщатися вправо, схематичне зображення на рис. 2.8.

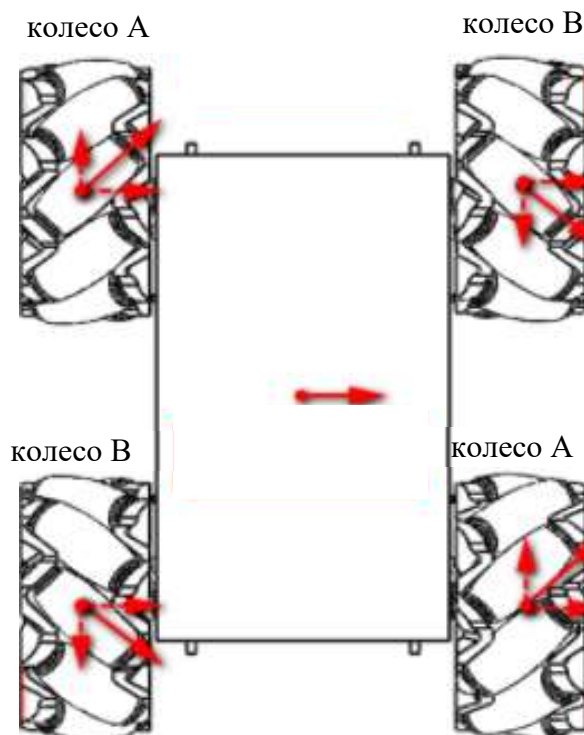


Рисунок 2.8 – Схематичне зображення руху платформи «вправо»

3) рух «вліво» - коли колесо А рухається назад, а колесо В - вперед, вектори швидкості руху вперед і назад будуть зміщені, залишаючи тільки швидкість вліво, мобільна платформа буде переміщатися вліво, рис.2.9.

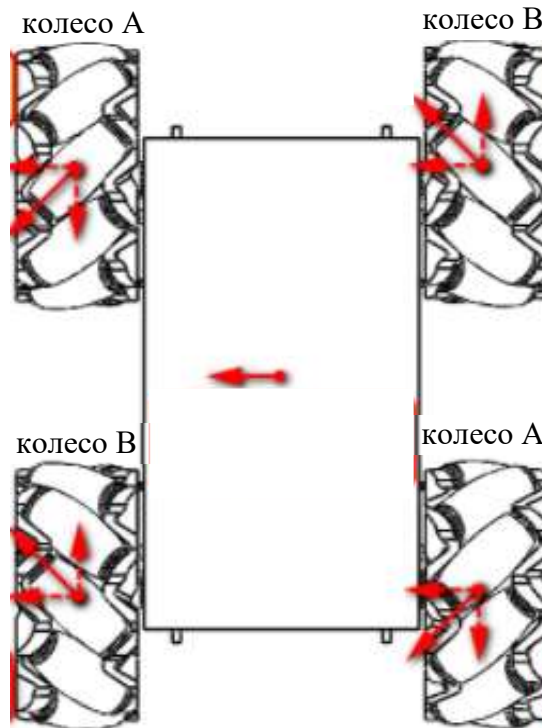


Рисунок 2.9 – Схематичне зображення руху платформи «вліво»

4) рух «під 45°» - коли колеса А будуть рухатись вперед, при цьому колеса В завмирає, платформа буде рухатись в праву сторону під кутом 45° (рис.2.10 (а)). Якщо рух потрібний в ліву сторону (рис.2.10 (б)), тоді повинні рухатись вперед колеса В, а колеса А – нерухомі. Рух назад має аналогічний характер.

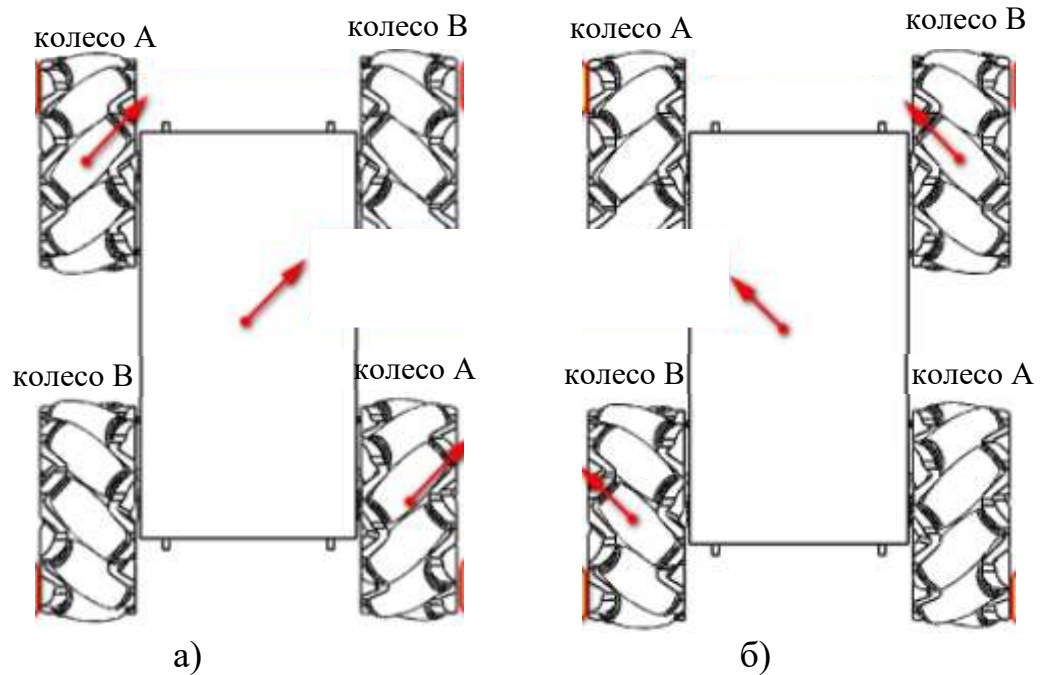


Рисунок 2.10 – Схематичне зображення руху платформи «під кутом 45°»: а - рух під кутом 45° вправо, б – рух вліво під кутом 45°

Для визначення кутів положення робота, використовується MPU6050 – це 6-осевий датчик положення, який інтегрує 3-осьовий гіроскоп, 3-осьовий акселерометр та цифровий процесор руху. Гіроскопи та акселерометр MPU6050 приймають три 16-бітні АЦП, щоб перетворити вимірювані аналогові величини у вивідні цифрові значення. Для того, щоб колісний робот не змінював свій кут положення при русі, на початку виконується калібрування датчика, значення виставляються нульовими, і якщо значення кутів при русі будуть змінюватись, то контролер буде корегувати положення робота, повертаючи так, щоб кути були нульовими.

Загалом контролер був створеним на основі процесора ATMEGA328P, який застосовується в Arduino Uno, з додаванням інших елементів, таким чином плата контролера отримала назву Omniduino. На рис. 2.11 представлена плата Omniduino.

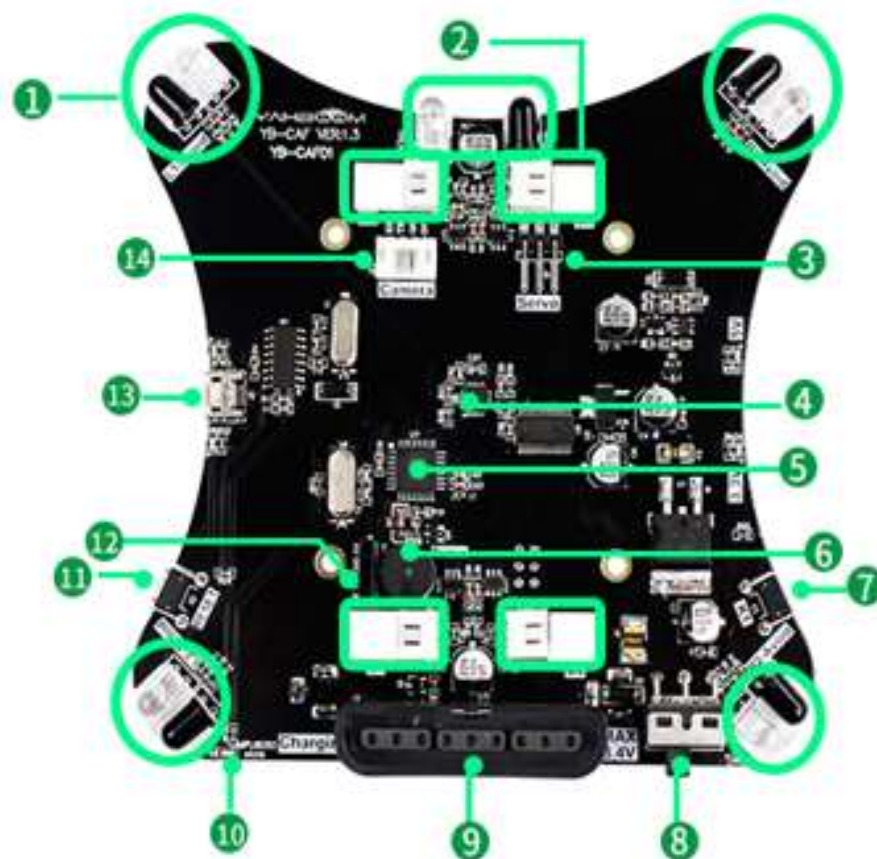


Рисунок 2.11 – Плата контролера Omniduino

На рис.2.6 прийняті наступні позначення:

- 1 – інфрачервоний датчик уникнення перешкод: візок Omniduino постачається з 5 парами інфрачервоних датчиків, які використовуються для виявлення чотирьох кутів та наявності перешкод спереду та відстані від перешкод, щоб робот міг уникати перешкод;
- 2 – інтерфейс приводу двигуна: використовується для підключення основної плати та двигуна;
- 3 – серво-інтерфейс: використовується для підключення основної плати та сервоприводу;
- 4 – плата Omniduino має в середині датчик MPU6050, який може надати поточні дані кута похилу колісного робота;
- 5 – основний процесор: ATMEG328P;
- 6 – пасивний зумер: використовується для сигналізації або відтворення пісень;
- 7 – функціональна кнопка;
- 8 – вимикач живлення;
- 9 – база прийому ручки PS2: використовується для вставлення приймача ручки PS2;

- 10 – світлодіод D9, можна настроїти функцію, наприклад: використовувати для вказівки стану MPU6050;
- 11 – кнопка RESET;
- 12 – інтерфейс приводу двигуна: використовується для підключення основної плати та двигуна;
- 13 – мікро USB інтерфейс: використовується для завантаження програми;
- 14 – інтерфейс камери WIFI: використовується для підключення головної плати та WIFI камери.

Основним контролером роботи робочого автомобіля Omniduino є ATMEG328P-AU, 8-бітовий високоефективний чіп AVR на основі RISC, який поєднує 32-кілобайтний ISP-спалах із можливістю читання і запису, 1024 b EEPROM, 2 Кб SRAM мікросхема має 32 штирі, з яких є 23 регістри загального призначення (штифти вводу / виводу).

ATMEG328P-AU підтримує таймер / лічильник і режим порівняння (вихід ШІМ), підтримує встановлення внутрішніх і зовнішніх переривань, підтримує послідовне програмування USART, підтримує зв'язок I2C, підтримує зв'язок SPI і має 8-канальний 10-бітний A/D перетворювач програмований сторожовий таймер та внутрішній генератор. Пристрій працює від 1,8-5,5 вольт.

## 2.4 Висновки до розділу

У даному розділі було розглянуто роботу мобільного робота, задачі які поставлені та яким чином він їх вирішує. Описано елементну базу мобільного робота, та розглянуто структуру та принци роботи ОМНІ-колеса, та принцип роботи самого мобільного робота. Була приведена принципова схема збірки мобільного колісного робота, та описано алгоритм роботи мобільного робота після подачі живлення. Також було описано вибір методу управління.

### 3 МАТЕМАТИЧНЕ ОПИСАННЯ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ

#### 3.1 Розробка моделей об'єкта автоматичного управління і елементів системи

Виведення математичної моделі робота необхідна для побудови регулятора, а також перевірки роботи системи управління в відсутності безпосередньо мобільної платформи. Для повноцінного моделювання необхідно вивести кінематичну і динамічну модель.

Розглянемо модель чотириколісного омні-колесного мобільного робота, конструктивна схема якого представлена на рис. 3.1.

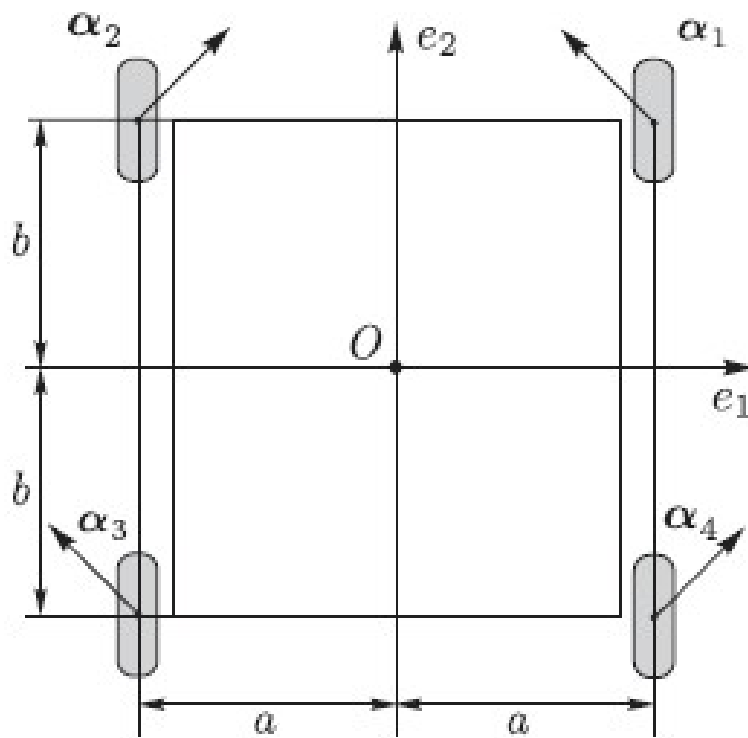


Рисунок 3.1 – Конструктивна схема чотириколісного омні-колесного мобільного робота

Схема розташування омні-колес мобільного робота приведена на рис.3.2.

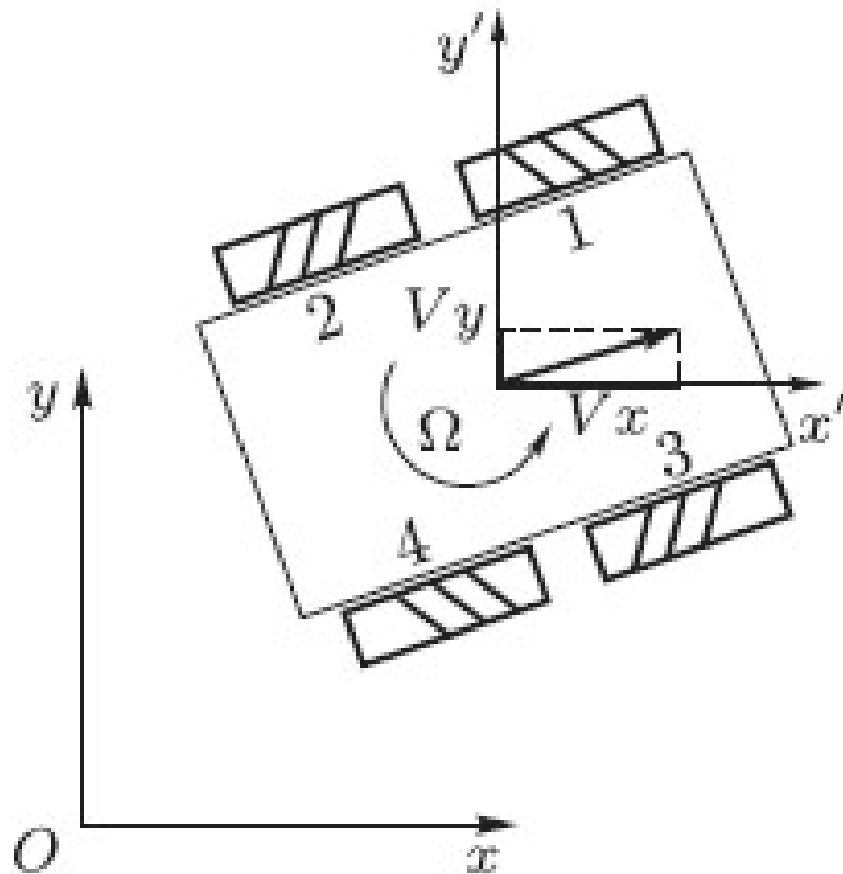


Рисунок 3.2 – Схема розташування omni -колiс мобiльного робота

Похилими вiдрiзками показанi напрямки розташування роликiв кожного omni -колеса. Ось кожного ролика закрiплена пiд кутом  $45^\circ$  до площини колеса. Для управлiння рухом omni -робота по траєкторiї в нерухомiй системi координат  $xO_y$  використовуємо змiнний стан, пов'язанi з геометричним центром платформи:  $V_x$  – проекцiя швидкостi руху робота по траєкторiї на вiсь  $O_x$ ,  $V_y$  – проекцiя швидкостi руху робота по траєкторiї на вiсь  $O_y$ ,  $\Omega$  – кутова швидкiсть обертання робота щодо осi, перпендикулярної площинi. <sup>[11]</sup>

### 3.2 Кiнематична модель

Кiнематична модель мобiльної робото технічної платформи є рiшення прямої i оберненої задачi кiнематики, тобто висновок залежностей положення платформи вiд положення її рушiїв, i навпаки. Для мобiльної платформи Omniduino кiнематична модель являє собою зв'язок мiж швидкiстю руху платформи i швидкiстю обертання кожного з її колiс.

Ми розглядаємо транспортний засiб, що рухається по рiвнiй поверхнi i оснащене omni-колесами. Проаналiзуємо ситуацiю для одного з колiс в певний



момент  $t$  (рис. 3.3). Беруть участь чотири системи: місцевість  $\Sigma_0$ , транспортний засіб  $\Sigma_1$ , колесо  $\Sigma_2$  і валик  $\Sigma_3$ , який в цей момент стосується землі в певній точці  $C$  (точці контакту). Зверніть увагу, що ця точка завжди знаходиться нижче осі колеса  $\Sigma_2$ : це точка перетину ортогональних проєкцій осі колеса і осі крену  $b$  в  $\Sigma_0$ . Тільки в тому випадку, якщо  $b$  знаходиться в горизонтальному положенні,  $C$  знаходиться нижче центру колеса  $A$ .<sup>[10]</sup>

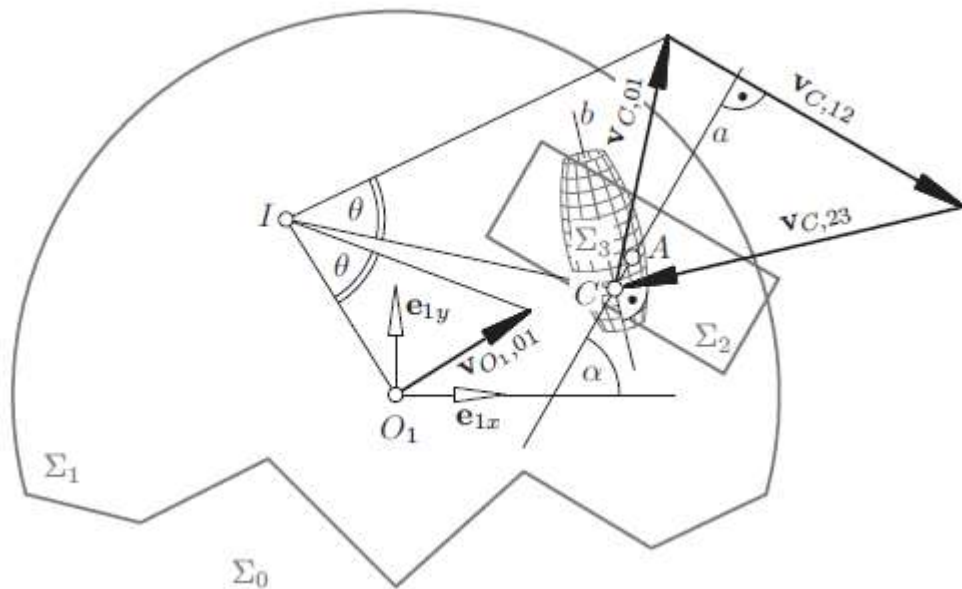


Рисунок 3.3 – Швидкості для робота з опні -колесами

Для аналітичного опису виберемо довільну точку  $O_1$  («центр транспортного засобу») в  $\Sigma_1$  як початок системи координат  $S_1 := \{O_1; e_{1x}; e_{1y}; e_{1z}\}$  з'єднаний з транспортним засобом  $\Sigma_1$ , причому осі  $x$  і  $y$  паралельні землі. Центр колеса  $A$  може мати  $x$  і  $y$  координати  $a_x$  і  $a_y$  відносно  $S_1$  і  $\alpha$  може позначати кут між  $e_{1x}$  і віссю колеса.

$$a = \begin{pmatrix} \cos\alpha \\ \sin\alpha \\ 0 \end{pmatrix},$$

вектор напрямку  $a$ . Вектор напрямку осі крену  $b$  залежить від кута повороту колеса  $u$  наступним чином:

$$b = \begin{pmatrix} \cos\alpha \cdot \cos\delta - \sin\alpha \cdot \sin\delta \cdot \cos u \\ \sin\alpha \cdot \cos\delta + \cos\alpha \cdot \sin\delta \cdot \cos u \\ \sin\delta \cdot \sin u \end{pmatrix} =: \begin{pmatrix} b_x \\ b_y \\ b_z \end{pmatrix} \quad (3.1)$$

Координати зіткнення в точці  $C$

$$\begin{cases} c_x = a_x - d \cos \alpha \cdot \cos \delta \cdot t g u \\ c_y = a_y - d \sin \alpha \cdot \cos \delta \cdot t g u \end{cases} \quad (3.2)$$

У наступних міркуваннях ми можемо знехтувати z-координатами, оскільки всі виникаючі вектори швидкості паралельні площині ху.

Нехай  $\omega$  - кутова швидкість руху  $\Sigma_1 / \Sigma_0$  (автомобіль / земля) і  $V_{O_1,01} = (V_x, V_y)^T$  – вектор швидкості  $O_1$  для цього руху в момент  $t$ . Тоді векторна швидкість точки контакту  $C$  ( $c_x; c_y$ ) щодо руху  $\Sigma_1/\Sigma_0$  дорівнює

$$V_{C,01} = \begin{pmatrix} V_x - \omega c_y \\ V_y + \omega c_x \end{pmatrix}. \quad (3.3)$$

Рух  $\Sigma_2/\Sigma_1$  (колесо / транспортний засіб) – це просте обертання навколо осі  $a$ , отже, вектор швидкості  $C$  для цього руху дорівнює

$$V_{C,12} = \dot{u} r \begin{pmatrix} -\sin \alpha \\ \cos \alpha \end{pmatrix}, \quad (3.4)$$

де  $\dot{u} = \frac{du}{dt}$  кутова швидкість  $\Sigma_2/\Sigma_1$ .

Рух  $\Sigma_3/\Sigma_2$  (крен / колесо) – це обертання навколо  $b$ . Таким чином, миттєва векторна швидкість  $V_{C,23}$  кривої  $C$  перпендикулярна  $b$ :

$$V_{C,23} = \lambda \begin{pmatrix} -b_y \\ b_x \end{pmatrix}. \quad (3.5)$$

Вектор швидкості  $V_{C,03}$  для руху  $\Sigma_3/\Sigma_0$  (котіться/земля) повинен дорівнювати нулю, оскільки (пасивний) перекаат рухається по землі без ковзання. Використовуючи правило адитивності для швидкостей складових рухів, отримуємо умову:

$$V_{C,01} + V_{C,12} + V_{C,23} = V_{C,03} = (0,0)^T$$

що при підстановці (3.3), (3.4), (3.5) дає

$$\begin{cases} r \cdot \sin \alpha \cdot \dot{u} + b_y \lambda = V_x - \omega c_y \\ r \cdot \cos \alpha \cdot \dot{u} + b_x \lambda = -V_y - \omega c_x \end{cases} \quad (3.6)$$

Виключаючи  $\lambda$ , отримуємо диференціальне рівняння

$$r(b_x \sin \alpha - b_y \cos \alpha) \dot{u} - b_x (V_x - \omega c_y) - b_y (V_y + \omega c_x) = 0. \quad (3.7)$$

Визначення зв'язку між рухом транспортного засобу і обертанням колеса. умови  $b_x$ ,  $b_y$ ,  $c_x$ ,  $c_y$  в цьому рівнянні є функціями від  $u$  відповідно до рівнянь (3.1), (3.2), а саме  $u$ , звичайно, залежить від часу  $t$ .

Якщо розглядати рух глобально, ситуація досить складна. Поки один ролик колеса стосується землі, точка контакту  $C$  переміщується з першого боку колеса на другу. Коли настає черга, наступна точка дотику  $C$  знову стрибає на першу сторону. Звідси слідує що  $b_x(u)$ ;  $b_y(u)$ ;  $c_x(u)$ ;  $c_y(u)$  – функції з розривами стрибка, відповідними зміні валків.

З цієї причини для практичних цілей передбачається, що точка контакту  $C$  в середньому знаходиться нижче центру колеса  $A$ . Таким спрощенням ми можемо покласти  $b_x = \cos(\alpha + \delta)$ ,  $b_y = \sin(\alpha + \delta)$ ,  $c_x = a_x$ ,  $c_y = a_y$  в рівнянні (3.7). тоді отримуємо

$$\dot{u} = \frac{1}{r \cdot \sin \delta} [\sin(\alpha + \delta)(V_y + \omega c_x) + \cos(\alpha + \delta)(V_x - \omega c_y)], \quad (3.8)$$

де  $\dot{u}$  – кутова швидкість  $n$ -ного опні-колеса мобільної платформи, рад / с;  
 $r$  – радіус колеса, м;  
 $\delta$  – кут нахилу ролика опні-колеса, градуси;  
 $\alpha$  – кут нахилу колеса щодо платформи, градуси;  
 $c_x$ ,  $c_y$  – координати центру колеса щодо геометричного центру платформи, м;  
 $V_x$ ,  $V_y$  – лінійні швидкості мобільної платформи, м / с;  
 $\omega$  – кутова швидкість мобільної платформи, рад / с.

Відповідно до параметром нахилу колеса мобільного робота, а саме  $\alpha = 0$ , рівняння (3.8) перетворюється в рівняння (3.9) за рахунок внесення  $\sin(\delta)$  в загальну дужку.

$$\begin{aligned} \dot{u} &= \frac{1}{r} [V_y + \omega c_x + \operatorname{ctg}(\delta)(V_x - \omega c_y)] \\ &= \frac{1}{r} [\operatorname{ctg} \delta \cdot V_x + V_y + (c_x - \operatorname{ctg}(\delta) \cdot c_y) \cdot \omega] \end{aligned} \quad (3.9)$$

Уявімо мобільну платформу таким чином, який наведено на рис.3.4. На даному малюнку вказані половини габаритних розмірів платформи, позначені відповідно  $L$  і  $l$ , а також на колесах зображені нахили роликів, що контактують з поверхнею.

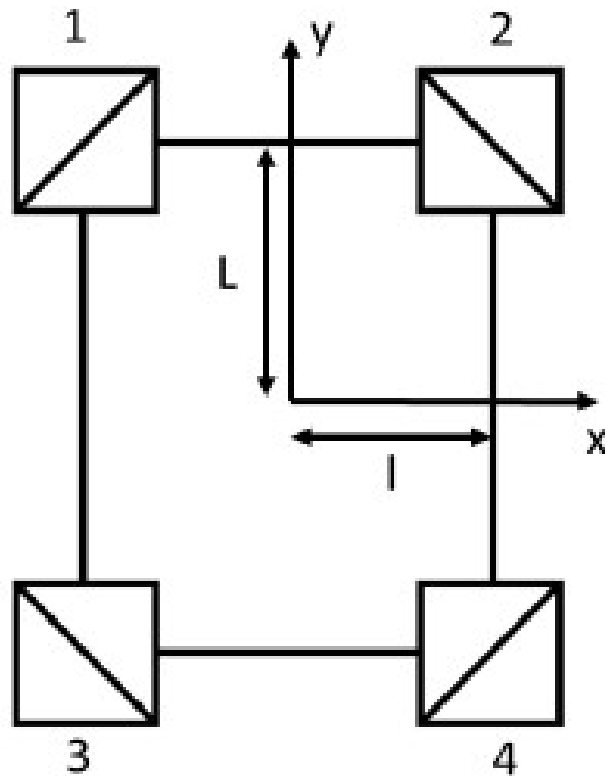


Рисунок 3.4 – Схематичне зображення мобільної платформи

Зазначимо координати центру кожного з опп-коліс, а також кут нахилу його роликів:

- 1 колесо:  $ax=-l, ay=L, \delta=45^\circ$ ;
- 2 колесо:  $ax=l, ay=L, \delta=-45^\circ$ ;
- 3 колесо:  $ax=-l, ay=-L, \delta=-45^\circ$ ;
- 4 колесо:  $ax=l, ay=-L, \delta=45^\circ$ .

Підставивши наведені значення в рівняння (3.9), отримаємо систему рівнянь з кутових швидкостей кожного колеса (3.10).

$$\begin{cases} \dot{u}_1 = \frac{1}{r} (V_x + V_y + (-L - l) \cdot \omega) \\ \dot{u}_2 = \frac{1}{r} (-V_x + V_y + (L + l) \cdot \omega) \\ \dot{u}_3 = \frac{1}{r} (V_x + V_y + (-L - l) \cdot \omega) \\ \dot{u}_4 = \frac{1}{r} (V_x + V_y + (L + l) \cdot \omega) \end{cases} \quad (3.10)$$

Запишемо отримані рівняння в матричній формі, де  $K$  - матриця коефіцієнтів, рядки якої є коефіцієнтами з системи (3.10) для кожного колеса, а стовпці - відповідні швидкості  $V_x$ ,  $V_y$  та  $\omega$ .

$$\dot{u} = \frac{1}{r} \cdot K \cdot \begin{pmatrix} V_x \\ V_y \\ \omega \end{pmatrix} \quad (3.11)$$

Таким чином маємо матрицю  $K$

$$K = \begin{pmatrix} 1 & 1 & -L - l \\ -1 & 1 & L + l \\ -1 & 1 & -L - l \\ 1 & 1 & L + l \end{pmatrix} \quad (3.12)$$

Підсумувавши всі рівняння системи (3.10) і згрупувавши по відповідним змінним, запишемо систему (3.13), яка є рішенням прямої задачі кінематики для даної мобільної платформи.

$$\begin{cases} V_x = \frac{r}{4} \cdot (\dot{u}_1 - \dot{u}_2 - \dot{u}_3 + \dot{u}_4) \\ V_y = \frac{r}{4} \cdot (\dot{u}_1 + \dot{u}_2 + \dot{u}_3 + \dot{u}_4) \\ \omega = \frac{r}{4(L+l)} \cdot (\dot{u}_1 + \dot{u}_2 - \dot{u}_3 + \dot{u}_4) \end{cases} \quad (3.13)$$

Підставивши відомі числові дані про габарити мобільної платформи і радіусі колеса, отримаємо чисельну залежність швидкості руху мобільної платформи від кутової швидкості обертання кожного колеса:

$$R = 0.03 \text{ м};$$

$$L = 0,057 \text{ м};$$

$$l = 0,057 \text{ м}.$$

$$\begin{cases} V_x = 0,0075 \cdot (\dot{u}_1 - \dot{u}_2 - \dot{u}_3 + \dot{u}_4) \\ V_y = 0,0075 \cdot (\dot{u}_1 + \dot{u}_2 + \dot{u}_3 + \dot{u}_4) \\ \omega = 0,066 \cdot (\dot{u}_1 + \dot{u}_2 - \dot{u}_3 + \dot{u}_4) \end{cases} \quad (3.14)$$

### 3.3 Динамічна модель

Динамічна модель робота являє собою оцінку впливу зовнішніх силових факторів на рух мобільної платформи, а також дозволяє розрахувати необхідну

силу тяги і момент двигуна, щоб забезпечити необхідний рух мобільної платформи.

Спираючись на виведену раніше кінематичну модель, розглянемо рух мобільної платформи уздовж осі  $OY$ . Згідно системам (3.13) і (3.14), для того, щоб платформа рухалася вздовж осі  $OY$ , напрямку обертання всіх чотирьох коліс повинні бути в одну сторону і за годинниковою стрілкою. Для побудови спрощеної динамічної моделі будуть розглянуті наступні сили, що діють на кожне колесо: сила тяги, сила тертя кочення колеса, сила тертя кочення ролика. Розстановка векторів зазначених сил приведена на малюнку 3.5.<sup>[12]</sup>

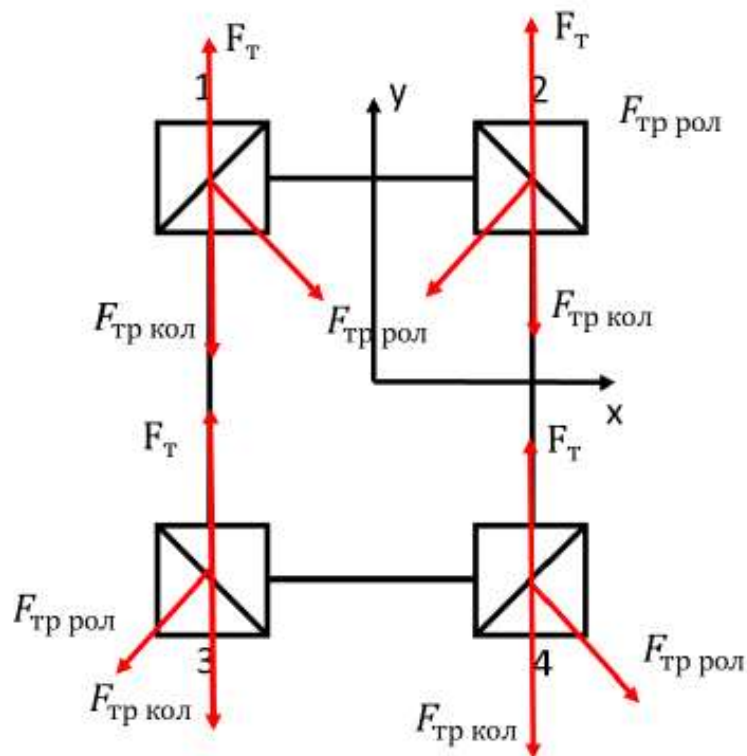


Рисунок 3.5 – Розстановка сил, що діють на колеса мобільної платформи

На рис. 3.5 використані наступні позначення:

$F_T$  – сила тяги двигуна;

$F_{\text{тр кол}}$  – сила тертя кочення колеса;

$F_{\text{тр рол}}$  – сила тертя кочення ролика.

Сила тяги спрямована у напрямку руху мобільної платформи, сила тертя кочення колеса – в протилежну їй сторону. Сила тертя кочення ролика спрямована перпендикулярно йому в бік, протилежний напрямку обертання.

На основі рис. 3.5 складемо рівняння, згідно з другим законом Ньютона в проєкціях на вісь  $OY$ .

$$\begin{aligned}
F = & F_{T1} + F_{T2} + F_{T3} + F_{T4} - F_T \text{ р кол1} - F_{\text{тркол2}} - F_{\text{тркол3}} - F_{\text{тркол4}} \\
& - F_{\text{тррол1}} \cdot \cos(\delta) - F_{\text{тррол2}} \cdot \cos \delta - F_{\text{тррол3}} \cdot \cos(\delta) - \\
& - F_{\text{тррол4}} \cdot \cos(\delta)
\end{aligned} \quad (3.15)$$

Так як, згідно (3.13) і (3.14), для руху уздовж осі ОУ швидкості обертання коліс повинні бути однакові, а також допустити, що розподіл маси всієї мобільної платформи відбувається рівномірно на кожне колесо, можна стверджувати, що всі взяті до уваги сили рівні для кожного колеса, тобто:

$$\begin{aligned}
F_{T1} = F_{T2} = F_{T3} = F_{T4} = F_T \\
F_{\text{тр кол1}} = F_{\text{тр кол2}} = F_{\text{тр кол3}} = F_{\text{тр кол4}} = F_{\text{тр кол}} \\
F_{\text{тр рол1}} = F_{\text{тр рол2}} = F_{\text{тр рол3}} = F_{\text{тр рол4}} = F_{\text{тр рол}}
\end{aligned} \quad (3.16)$$

Таким чином другий закон Ньютона набуває вигляду:

$$F = 4 \cdot F_T - 4 \cdot F_{\text{тр колл}} - 4 \cdot F_{\text{тр колл}} \cdot \cos(\delta) \quad (3.17)$$

Запишемо рівняння для знаходження сил

$$\begin{aligned}
F &= m \cdot a \\
F_{\text{тр}} &= \frac{k}{R} \cdot N
\end{aligned} \quad (3.18)$$

де  $m$  – маса мобільної платформи, кг;  
 $a$  – прискорення руху платформи, м / с<sup>2</sup>;  
 $k$  – коефіцієнт тертя кочення;  
 $N$  – сила реакції опори.

Сила реакції опори визначається виразом:

$$N = m_1 \cdot g \quad (3.19)$$

де  $m_1$  - маса платформи, яка припадає на одне колесо, кг;  
 $g$  - прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>.

Так як було прийнято, що маса платформи рівномірно розподілена між колесами, можна вважати, що:  $m_1 = \frac{m}{4}$ , тоді рівняння сили тертя кочення перетвориться з (3.18) в (3.20).

$$F_{\text{тр}} = \frac{k}{R} \cdot \frac{m}{4} \cdot N \quad (3.20)$$

З урахуванням всіх вищезгаданих рівнянь запишемо повне рівняння другого закону Ньютона (3.21).

$$m \cdot a = 4 \cdot F_{\text{тр}} - 4 \cdot \frac{k}{R} \cdot \frac{m}{4} \cdot g - 4 \cdot \frac{k}{r} \cdot \frac{m}{4} \cdot g \cdot \cos(\delta) \quad (3.21)$$

де  $r$  – радіус ролика, м.

Шляхом перенесення доданків, висловимо з рівняння (3.21) силу тяги двигуна.

$$F_{\text{тр}} = \frac{1}{4} \cdot (M \cdot a + 4 \cdot \frac{k}{R} \cdot \frac{m}{4} \cdot g + 4 \cdot \frac{k}{r} \cdot \frac{m}{4} \cdot g \cdot \cos(\delta)) \quad (3.22)$$

Наведемо числові значення змінних для рівняння (3.22):

$$m = 0.422 \text{ кг};$$

$$a = 1,0 \text{ м/с}^2;$$

$$g = 9.8 \text{ м/с}^2;$$

$$k = 0,010 \text{ м (для тертя резини по бетону);}$$

$$R = 0,030 \text{ м};$$

$$r = 0,01 \text{ м};$$

$$\delta = 45^\circ.$$

Підставивши числові значення, знайдемо силу тяги для кожного колеса.

$$F_{\text{тр}} = \frac{1}{4} \cdot \left( 0,422 \cdot 1 + 4 \cdot \frac{0.01}{0.03} \cdot \frac{0,422}{4} \cdot 9.8 + 4 \cdot \frac{0.01}{0.01} \cdot \frac{0,422}{4} \cdot 9.8 \cdot 0.7 \right) = 1,17 \text{ Н} \quad (3.23)$$

Тепер розрахуємо момент на валу кожного двигуна за рівнянням (3.24)

$$M_{\text{вр}} = F_{\text{тр}} \cdot R \quad (3.24)$$



Підставивши числове значення, отримаємо:

$$M_{вр} = 1,17 \cdot 0,03 = 0,0351 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.25)$$

### 3.4 Загальна динамічна модель

Для виведення залежності між моментами обертання коліс і швидкістю руху робота, виведемо рівняння для узагальненої сили тяги мобільної платформи під час руху вздовж осі X і Y. Для цього висловимо значення сили тяги з рівняння (3.25), а сумарний момент приймемо пропорційним швидкості обертання коліс з рівняння (3.13) кінематичної моделі. В результаті маємо:

$$\begin{aligned} F_{TX} &= \frac{1}{R} \cdot (M_1 - M_2 - M_3 + M_4) \\ F_{TY} &= \frac{1}{R} \cdot (M_1 + M_2 + M_3 + M_4), \end{aligned} \quad (3.26)$$

де  $M_i$  – момент обертання  $i$ -того колеса платформи, Н \* м.

Отримане значення узагальненої сили тяги при русі вздовж осі OY підставимо в рівняння (3.21), перетворивши її. В результаті маємо:

$$m \cdot a = F_{TY} - 4 \cdot \frac{k}{R} \cdot \frac{m}{4} \cdot g - 4 \cdot \frac{k}{r} \cdot \frac{m}{4} \cdot g \cdot \cos(\delta) \quad (3.27)$$

Перетворимо отримане рівняння, прийнявши прискорення як похідну від швидкості руху вздовж осі OY.

$$m \cdot \dot{V}_y = \frac{1}{R} \cdot (M_1 + M_2 + M_3 + M_4) - 4 \cdot \frac{k}{R} \cdot \frac{m}{4} \cdot g - 4 \cdot \frac{k}{r} \cdot \frac{m}{4} \cdot g \cdot \cos(\delta) \quad (3.28)$$

Позначивши вплив сил тертя кочення постійним коефіцієнтом  $\mu_1$ , отримаємо залежність швидкості мобільної платформи від моментів обертання коліс з рівняння (3.29):

$$\dot{V}_y = \frac{1}{m \cdot R} \cdot (M_1 + M_2 + M_3 + M_4) - \frac{1}{m} \cdot \mu_1 \quad (3.29)$$

Аналогічно висловимо залежність для руху уздовж осі ОХ. Розподіл сил при даному русі продемонстровано на рисунку 3.6.

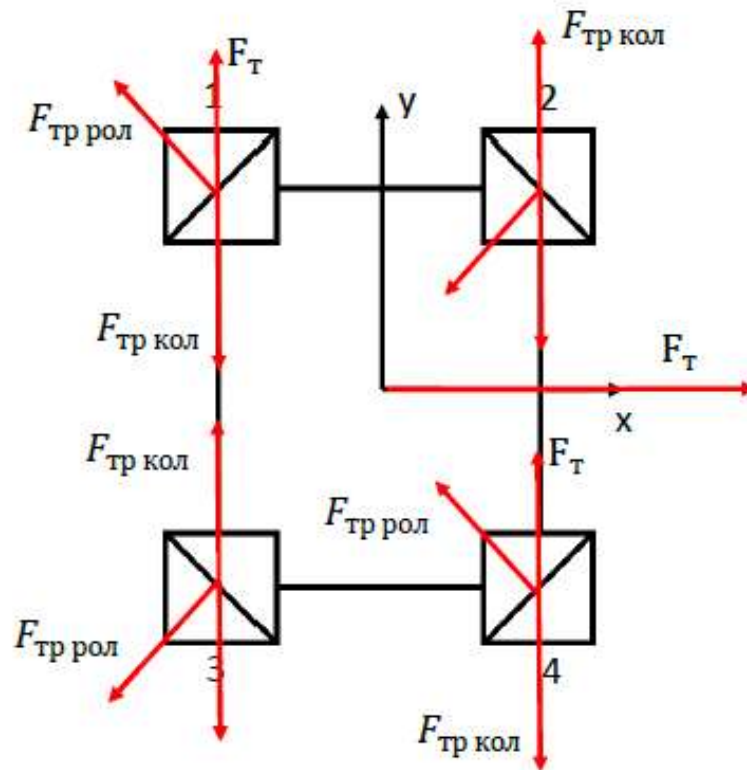


Рисунок 3.6 – Розстановка сил при русі вздовж осі ОХ

Як видно з рис. 3.6, сили тертя коліс не впливають на рух уздовж осі ОХ, таким чином, для даного руху рівняння (3.21) приймає вигляд (3.30).

$$m \cdot a = F_{T x} - 4 \cdot \frac{k}{r} \cdot \frac{m}{4} \cdot g \cdot \cos(\delta) \quad (3.30)$$

Перетворимо отримане рівняння (3.30), прийнявши прискорення як похідну від швидкості руху вздовж осі ОХ.

$$m \cdot \dot{V}_x = \frac{1}{R} \cdot (M_1 - M_2 - M_3 + M_4) - 4 \cdot \frac{k}{r} \cdot \frac{m}{4} \cdot g \cdot \cos(\delta) \quad (3.31)$$

Позначивши вплив сили тертя кочення постійним коефіцієнтом  $\mu_2$ , отримаємо залежність швидкості мобільної платформи від моментів обертання коліс.

$$\dot{V}_x = \frac{1}{m \cdot R} \cdot (M_1 - M_2 - M_3 + M_4) - \frac{1}{m} \cdot \mu_2 \quad (3.32)$$

Таким чином, загальна динамічна модель приймає вигляд (3.33).

$$\begin{aligned} \dot{V}_y &= \frac{1}{m \cdot R} \cdot (M_1 + M_2 + M_3 + M_4) - \frac{1}{m} \cdot \mu_1 \\ \dot{V}_x &= \frac{1}{m \cdot R} \cdot (M_1 - M_2 - M_3 + M_4) - \frac{1}{m} \cdot \mu_2 \end{aligned} \quad (3.33)$$

Коефіцієнти  $\mu_1$  і  $\mu_2$  визначаються за рівняннями (3.34).

$$\begin{aligned} \mu_1 &= 4 \cdot \frac{k}{R} \cdot \frac{m}{4} \cdot g + 4 \cdot \frac{k}{r} \cdot \frac{m}{4} \cdot g \cdot \cos(\delta) \\ \mu_2 &= 4 \cdot \frac{k}{r} \cdot \frac{m}{4} \cdot g \cdot \cos(\delta), \end{aligned} \quad (3.34)$$

де  $m = 0,422$  кг;

$g = 9,8$  м/с<sup>2</sup>;

$k = 0,010$  м;

$R = 0,030$  м;

$r = 0,01$  м;

$\delta = 45^\circ$ .

Враховуючи характеристики об'єкта маємо наступні значення:

$$\begin{aligned} \mu_1 &= 4 \cdot \frac{0,01}{0,03} \cdot \frac{0,422}{4} \cdot 9,8 + 4 \cdot \frac{0,01}{0,01} \cdot \frac{0,422}{4} \cdot 9,8 \cdot 0,7 = 4,27 \\ \mu_2 &= 4 \cdot \frac{0,01}{0,01} \cdot \frac{0,422}{4} \cdot 9,8 \cdot 0,7 = 2,895 \end{aligned}$$

### 3.5 Побудова лінеаризованої математичної моделі ОАУ

Для того, щоб вивести повне рівняння руху мобільного робота необхідно привести всі рівняння до лінійного виду. Так як, перше та друге рівняння мають нелінійний характер, то виникає потреба провести лінеаризацію, для цього використовується метод розкладу рівнянь у ряд Тейлора. Розклад рівняння, яке характеризує поступальний рух приведений нижче.

$$\begin{aligned}
F_1 &= m \cdot \dot{V}_y - \frac{1}{R} \cdot (M_1 + M_2 + M_3 + M_4) + \mu_1 \\
\Delta F_1 &= \left( \frac{dF_1}{d\dot{V}_y} \right) \Delta \dot{V}_y - \left( \frac{dF_1}{dM_1} \right) \Delta M_1 - \left( \frac{dF_1}{dM_2} \right) \Delta M_2 - \left( \frac{dF_1}{dM_3} \right) \Delta M_3 \\
&\quad - \left( \frac{dF_1}{dM_4} \right) \Delta M_4 - \left( \frac{dF_1}{d\mu_1} \right)
\end{aligned} \tag{3.35}$$

$$\frac{dF_1}{d\dot{V}_y} = m = a_{11};$$

$$\frac{dF_1}{dM_1} = -\frac{1}{R} = a_{12};$$

$$\frac{dF_1}{dM_2} = -\frac{1}{R} = a_{13};$$

$$\frac{dF_1}{dM_3} = -\frac{1}{R} = a_{14};$$

$$\frac{dF_1}{dM_4} = -\frac{1}{R} = a_{15};$$

$$\frac{dF_1}{d\mu_1} = -a_{11} \Delta \dot{V}_y + a_{12} \Delta M_1 + a_{13} \Delta M_2 + a_{14} \Delta M_3 + a_{15} \Delta M_4 + a_{16} = 0.$$

$$a_{11} \Delta \dot{V}_y + a_{12} \Delta M_1 + a_{13} \Delta M_2 + a_{14} \Delta M_3 + a_{15} \Delta M_4 + a_{16} = 0.$$

Розклад рівняння, яке характеризує повздовжній рух приведений нижче.

$$\begin{aligned}
F_2 &= m \cdot \dot{V}_x - \frac{1}{R} \cdot (M_1 - M_2 - M_3 + M_4) + \mu_2 \\
\Delta F_2 &= \left( \frac{dF_2}{d\dot{V}_x} \right) \Delta \dot{V}_x - \left( \frac{dF_2}{dM_1} \right) \Delta M_1 + \left( \frac{dF_2}{dM_2} \right) \Delta M_2 + \left( \frac{dF_2}{dM_3} \right) \Delta M_3 \\
&\quad - \left( \frac{dF_2}{dM_4} \right) \Delta M_4 - \left( \frac{dF_2}{d\mu_2} \right)
\end{aligned} \tag{3.36}$$

$$\frac{dF_2}{d\dot{V}_x} = m = a_{21};$$

$$\frac{dF_2}{dM_1} = -\frac{1}{R} = a_{22};$$

$$\frac{dF_2}{dM_2} = \frac{1}{R} = a_{23};$$

$$\frac{dF_2}{dM_3} = \frac{1}{R} = a_{24};$$

$$\frac{dF_2}{dM_4} = -\frac{1}{R} = a_{25};$$

$$\frac{dF_2}{d\mu_1} = -a_{21} \Delta \dot{V}_x + a_{22} \Delta M_1 + a_{23} \Delta M_2 + a_{24} \Delta M_3 + a_{25} \Delta M_4 + a_{26} = 0.$$

$$a_{21}\Delta\dot{V}_x + a_{22}\Delta M_1 + a_{23}\Delta M_2 + a_{24}\Delta M_3 + a_{25}\Delta M_4 + a_{26} = 0.$$

$$\Delta\dot{V}_x + \frac{a_{22}}{a_{21}}\Delta M_1 + \frac{a_{23}}{a_{21}}\Delta M_2 + \frac{a_{24}}{a_{21}}\Delta M_3 + \frac{a_{25}}{a_{21}}\Delta M_4 + \frac{a_{26}}{a_{21}} = 0.$$

Нижче приведені вирази для коефіцієнтів першого рівняння.

$$\Delta\dot{V}_y + \frac{a_{12}}{a_{11}}\Delta M_1 + \frac{a_{13}}{a_{11}}\Delta M_2 + \frac{a_{14}}{a_{11}}\Delta M_3 + \frac{a_{15}}{a_{11}}\Delta M_4 + \frac{a_{16}}{a_{11}} = 0.$$

$$\Delta\dot{V}_y = 1;$$

$$\Delta M_1 = \frac{a_{12}}{a_{11}} = a_{01};$$

$$\Delta M_2 = \frac{a_{13}}{a_{11}} = a_{02};$$

$$\Delta M_3 = \frac{a_{14}}{a_{11}} = a_{03};$$

$$\Delta M_4 = \frac{a_{15}}{a_{11}} = a_{04};$$

$$\frac{a_{16}}{a_{11}} = a_{05}.$$

$$\dot{V}_y + a_{01}M_1 + a_{02}M_2 + a_{03}M_3 + a_{04}M_4 + a_{05} = 0.$$

Нижче приведені вирази для коефіцієнтів другого рівняння.

$$\Delta\dot{V}_x + \frac{a_{22}}{a_{21}}\Delta M_1 + \frac{a_{23}}{a_{21}}\Delta M_2 + \frac{a_{24}}{a_{21}}\Delta M_3 + \frac{a_{25}}{a_{21}}\Delta M_4 + \frac{a_{26}}{a_{21}} = 0.$$

$$\Delta\dot{V}_x = 1;$$

$$\Delta M_1 = \frac{a_{22}}{a_{21}} = a_{06};$$

$$\Delta M_2 = \frac{a_{23}}{a_{21}} = a_{07};$$

$$\Delta M_3 = \frac{a_{24}}{a_{21}} = a_{08};$$

$$\Delta M_4 = \frac{a_{25}}{a_{21}} = a_{09};$$

$$\frac{a_{26}}{a_{21}} = a_{10}.$$

$$\dot{V}_x + a_{06}M_1 + a_{07}M_2 + a_{08}M_3 + a_{09}M_4 + a_{10} = 0.$$

Нижче представлені два рівняння, записані за допомогою перетворення Лапласа.

$$\begin{cases} sV_y(s) + \frac{a_{05}}{s} = 0 \\ sV_x(s) + \frac{a_{10}}{s} = 0. \end{cases} \quad (3.37)$$

Для отримання повного рівняння руху мобільного робота необхідно виразити  $V_i(s)$  з рівняння:

$$W_y(s) = -\frac{a_{05}}{s^2} = \frac{a_{16}}{a_{11}} \cdot \frac{1}{s^2} = -\frac{\mu_1}{m} \cdot \frac{1}{s^2} = -\frac{4,27}{0,422} \cdot \frac{1}{s^2} = -\frac{11,12}{s^2}, \quad (3.38)$$

де  $W_y(s)$  – передавальна функція ОАУ для розвороту.

$$W_x(s) = -\frac{a_{10}}{s^2} = \frac{a_{26}}{a_{21}} \cdot \frac{1}{s^2} = -\frac{\mu_1}{m} \cdot \frac{1}{s^2} = -\frac{2,895}{0,422} \cdot \frac{1}{s^2} = -\frac{6,86}{s^2}, \quad (3.39)$$

де  $W_x(s)$  - передавальна функція ОАУ для поздовжнього руху.

### 3.6 Висновки до розділу

На даному етапі, було виконано опис об'єкта ( вербальна та графічна модель), отримана нелінійна модель руху мобільного колісного робота за допомогою другого закону Ньютона, з отриманої моделі зроблено лінеаризовану модель ОУ за допомогою розкладу в ряди Тейлора і в результаті отримали передаточну функцію ОАУ при поздовжньому русі та при розвороті. Були розраховані числові значення коефіцієнтів і підставлені у передавальні функції ОУ.

## 4 СИНТЕЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ

4.1 Формування функціональної схеми системи та структурної схеми, визначення передавальних функцій системи по управляючому впливу

На рис. 4.1 представлена функціональна схема САУ мобільного колісного робота з omni-колесами.

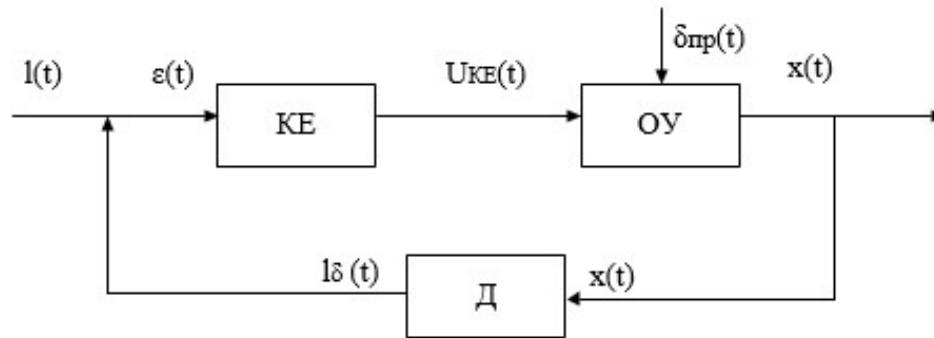


Рисунок 4.1 – Функціональна схема САУ мобільного колісного робота з omni-колесами

На рис.4.1 зображені наступні позначення:

КЕ – коригувальний елемент;

ОУ<sup>а</sup> – об'єкт управління при задаючому впливі;

Д – датчик, камера;

$l(t)$  – вхідна величина, відстань від камери до перешкоди;

$\delta_{пр}(t)$  – вхідна величина збурюючого впливу, прослизання коліс;

$U_{ке}(t)$  – напруга з коригувального елемента;

$x(t)$  – вихідна величина, переміщення виконане мобільним роботом;

$l_{\delta}(t)$  – сигнал зворотного зв'язку;

$\varepsilon(t)$  – різниця між вхідним та сигналом зворотного зв'язку.

На рис. 4.2 представлена структурна схема САУ мобільного колісного робота з omni-колесами.

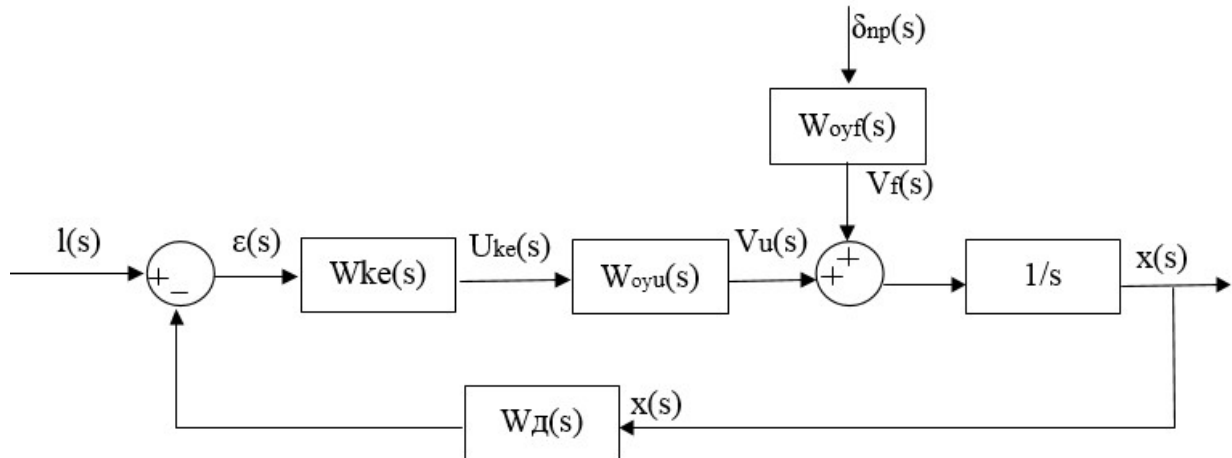


Рисунок 4.2 – Структурна схема САУ мобільного колісного робота з опні-колесами

На рис.4.2 зображені наступні позначення:

$$W_{ke}(s) = \frac{U_{ke}(s)}{\varepsilon(s)} = K_p - \text{передаточна функція коригувального елемента};$$

$$W_{oy}(s) = \frac{x(s)}{l(s)} = -\frac{s + 6.86}{s^2};$$

$$W_{oy}^f(s) = \frac{x(s)}{\delta_{np}(s)} = \frac{-11.12}{s^2};$$

$$W_{д}(s) = \frac{\varepsilon(s)}{x(s)} = K_{д} = 1.$$

Передавальна функція розімкненої системи по керуючому впливу має вигляд:

$$W_n^u(s) = \frac{x(s)}{l(s)} = W_{ke}(s)W_{oy}^u(s) \cdot \frac{1}{s} = -\frac{K_p(s + 6.86)}{s^2}.$$

Передавальна функція розімкненої системи при збурюючому впливі:

$$W_n^f(s) = \frac{x(s)}{\delta_{np}(s)} = W_{ke}(s)W_{oy}^f(s) \cdot \frac{1}{s} = \frac{-11.12K_p}{s^2}.$$

Передавальна функція замкнутої системи за керуючим впливом:



$$\phi_n(s) = \frac{x(s)}{l(s)} = \frac{W_n^u(s)}{1 + W_n^u(s) \cdot W_d(s)} = \frac{-K_p(s + 6.86)}{s^2 - K_p s - 6.86K_p}.$$

Передавальна функція замкнутої системи за збурюючим впливом:

$$\phi_n(s) = \frac{x(s)}{\delta_{np}(s)} = \frac{W_n^f(s)}{1 + W_n^f(s)W_d(s)} = \frac{-K_p(s + 6.86)}{s^2 - 11.12K_p}.$$

На рис. 4.3 представлено схему моделювання нескоригованої системи в середі Matlab/Simulink для отримання перехідних характеристик системи.

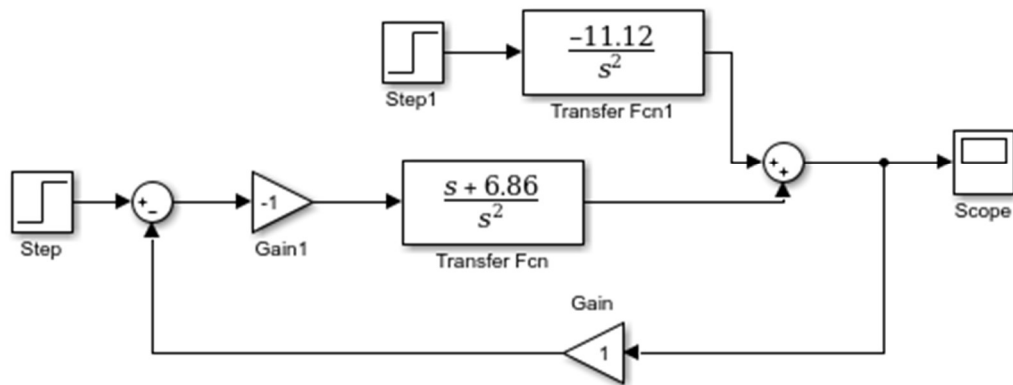


Рисунок 4.3 – Схема моделювання САУ мобільного колісного робота з опні-колесами

На рис. 4.4 та 4.5 зображені перехідні характеристики нескоригованої системи по управляючому та збурюючому впливах.

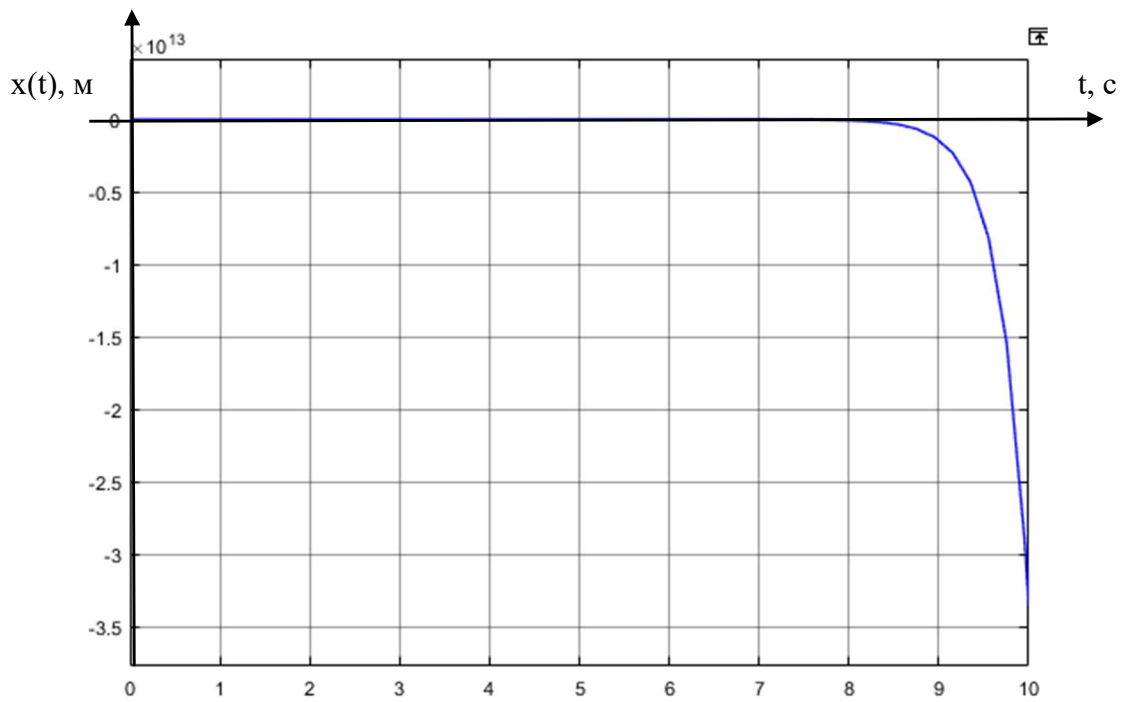


Рисунок 4.4 – Перехідна характеристика нескоригованої системи по управлінню

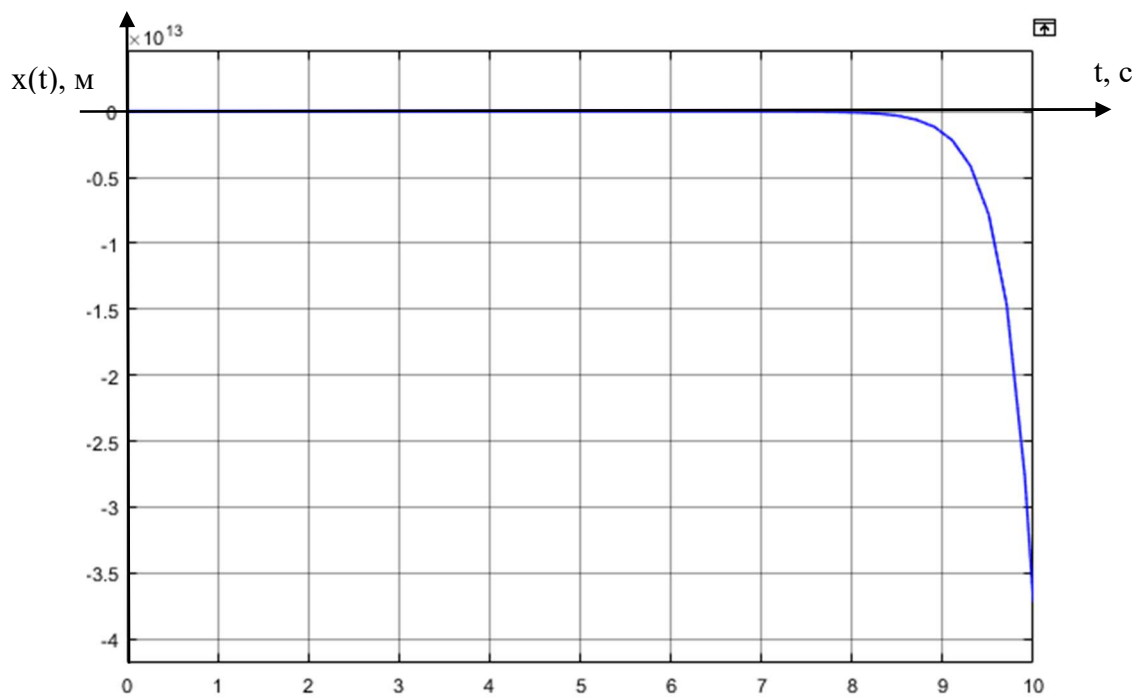


Рисунок 4.5 – Перехідна характеристика нескоригованої системи при збурюючому впливі

Із отриманих перехідних характеристик у середі Matlab, можемо зробити висновок що система нестійка і потребує додавання до системи коригувального елемента.

## 4.2 Визначення коефіцієнта передачі коригувального елемента з умови забезпечення заданої точності САУ

Вимоги до якості перехідних процесів: допустима стала похибка  $\varepsilon_{\text{доп}}=0,2$  В; час перехідного процесу  $t_{\text{пп}}=4$  с; максимальне перерегулювання  $\sigma_{\text{max}}=20\%$ , обмеження по амплітуді  $L_3=[-25\text{дБ}; +25\text{дБ}]$ .

Визначимо потрібне значення коефіцієнта передачі розімкненої системи за задавальним впливом, виходячи з вимоги забезпечення точності системи в сталому режимі роботи.

Передаточна функція замкненої системи за похибкою:

$$\phi_\varepsilon(s) = \frac{\varepsilon(s)}{l(s)} = \frac{1}{1 + W_u(s)W_{KE}(s)W_o(s)} = \frac{s^2}{s^2 - (s + 6.86)K_p}$$

Використовуючи теорему про кінцеве значення оригіналу, отримуємо рівняння для розрахунку сталої похибки:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{gcm} &= \lim_{t \rightarrow \infty} \varepsilon_g(t) = \lim_{s \rightarrow 0} \varepsilon_g(s) \cdot s = \lim_{s \rightarrow 0} \phi_\varepsilon(s) \cdot U_l(s) \cdot s = \\ &= \lim_{s \rightarrow 0} \frac{s^2}{s^2 - (s + 6.86)K_p} \cdot \frac{1}{s} \cdot s = \frac{1}{-6.86 \cdot K_p} \leq \varepsilon_{\text{доп}} \\ K_p &\geq \frac{1}{-6.86 \cdot \varepsilon_{\text{доп}}} = 2.239 \end{aligned}$$

Знаходимо коефіцієнт передачі послідовного коректувального елемента:

$$K_{nke} = \frac{K_p}{K_{роз}} = \frac{2.239}{-6.86} = -0.326$$

## 4.3 Синтез коригувального пристрою методом ЛАЧХ

Будуємо ЛАЧХ за передавальною функцією розімкненої системи з урахуванням потрібного значення коефіцієнта передачі:

$$W_n^u(s) = \frac{x(s)}{l(s)} = \frac{0.326 \cdot (s + 6.86)}{s^2};$$

Нижче представлені дані необхідні для побудови ЛАЧХ розрахованої:

$$20 \lg(0.326) = -9.74;$$

$$\frac{1}{T_q} = 6.86; \log\left(\frac{1}{T_q}\right) = 0.838.$$

Далі будуюмо бажану ЛАЧХ. Спочатку знаходимо бажану частоту зрізу, використовуючи показники якості:

- бажані показники якості:

$$\sigma = 20\%,$$

$$t_{\text{пп}} = 4 \text{ с},$$

$$L_3 = 25 \text{ дБ},$$

- знаходимо  $\omega_{\text{зр}}$  із номограм Солодовнікова для перерегулювання рівному 20%:

$$t_{\text{пп}} = \frac{3.2 \pi i}{\omega_{\text{зр}}},$$

$$\omega_{\text{зр}} = \frac{3.2 \pi i}{t_{\text{пп}}} = \frac{3.2 \cdot 3.14}{4} = 25.12 \text{ рад / с},$$

$$\lg(\omega_{\text{зр}}) = 1.4 \text{ дек}$$

ЛАЧХ корегувальну отримуємо відніманням від ЛАЧХ бажаної ЛАЧХ розраховану. На рис. 4.6 представлено графік бажаної, корегувальної та розрахованої ЛАЧХ.<sup>[13]</sup>

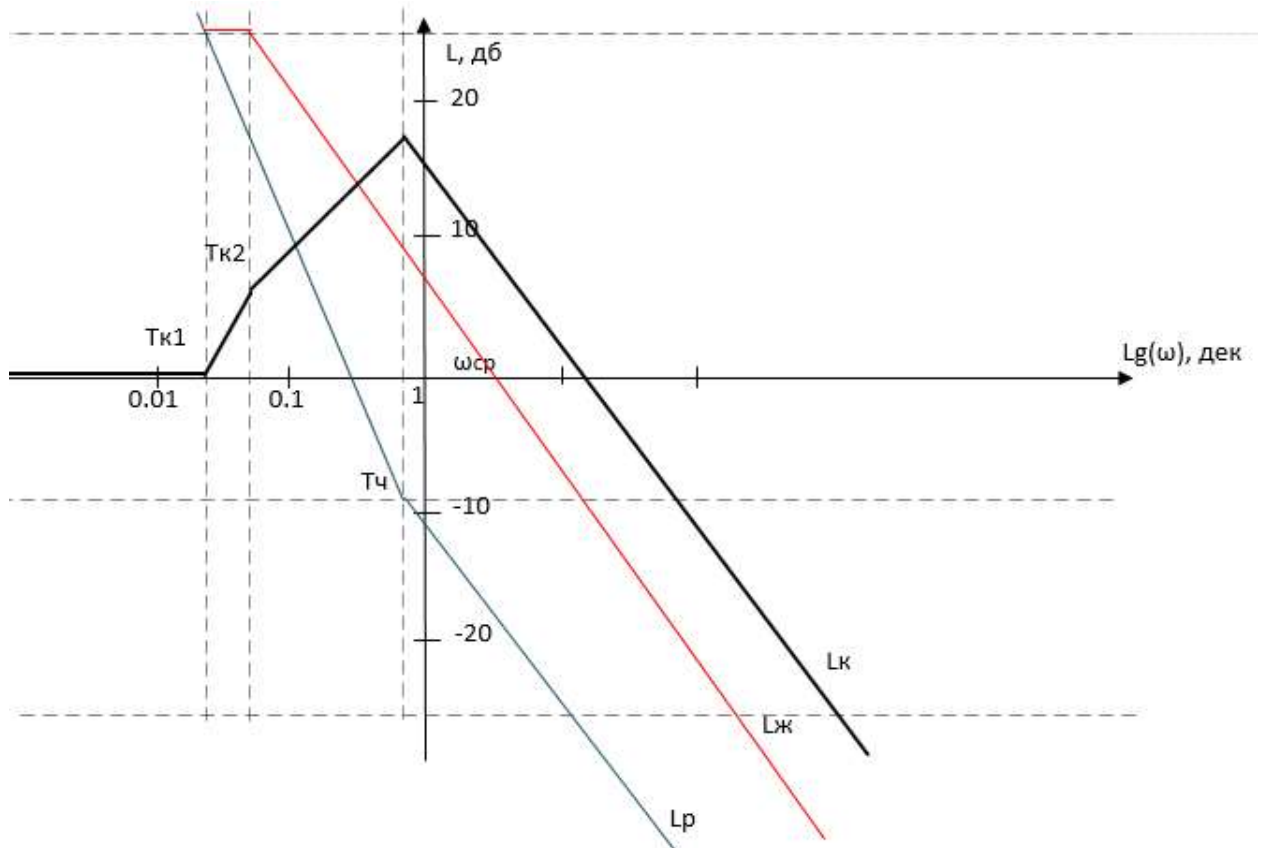


Рисунок 4.6 – Розрахована, бажана та корегувальна ЛАЧХ системи

#### 4.4 Дослідження та аналіз функціональних властивостей скоригованої системи

За ЛАЧХ корегувальною визначаємо сталі часу та записуємо передавальну функцію послідовного коректувального пристрою:

$$W_{nke}(s) = \frac{U_{nke}(s)}{\varepsilon(s)} = \frac{s^2(s + T_{к1})}{(s + T_{к2})(s + T_{ч})^2} = \frac{s^2(s + 1.096)}{(s + 1.188)(s + 6.86)^2}$$

Розрахуємо перехідні характеристики замкненої скоректованої системи та визначаємо показники якості.

Передавальна функція розімкненої скоректованої системи по управлінню:

$$W_{розб}(s) = \frac{x(s)}{l(s)} = W_{nke}(s) \cdot W_n(s) = \frac{0.326(s + 1.096)(s + 6.86)s^2}{s^2(s + 1.88)(s + 6.86)^2} = \frac{0.326(s + 1.096)}{(s + 1.88)(s + 6.86)}$$

За допомогою середи Matlab було побудовано перехідну характеристику скоригованої САУ по управляючому впливу (рис.4.7).

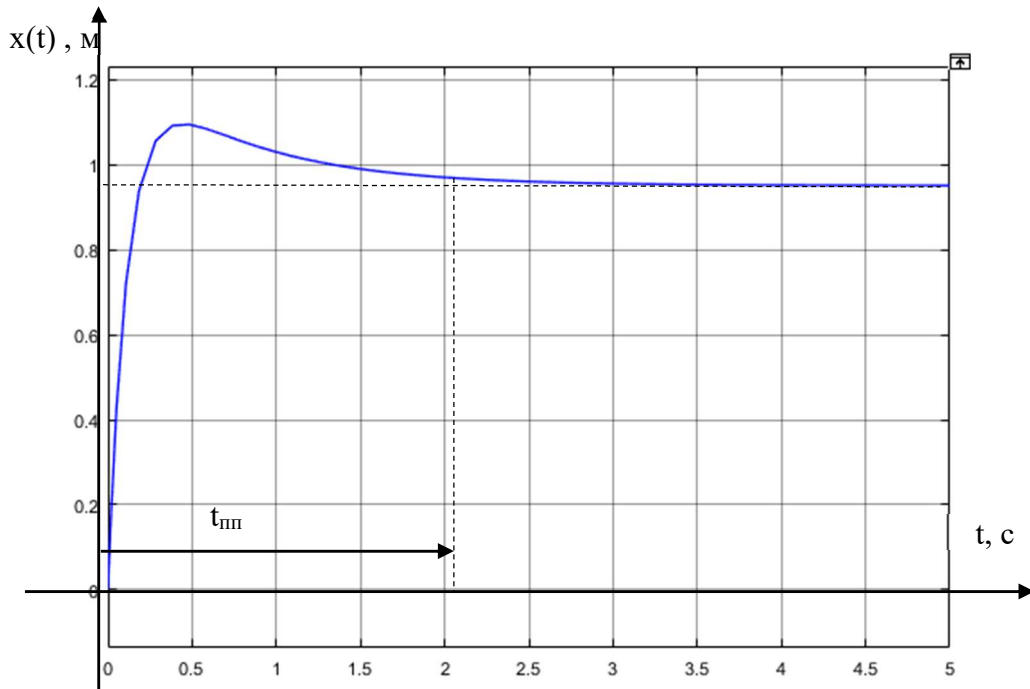


Рисунок 4.7 – Перехідна характеристика скоригованої САУ при управляючому впливі

Показники якості перехідної характеристики скоригованої САУ при управляючому впливі:

$$t_{пп} = 2.15 \text{ c};$$

$$\sigma = 15,7\%;$$

$$\varepsilon_{уст} = 0,05 \text{ В};$$

$$M=1.$$

На рис. 4.8 представлено отриману перехідну характеристику скоригованої САУ при збурюючому впливі.

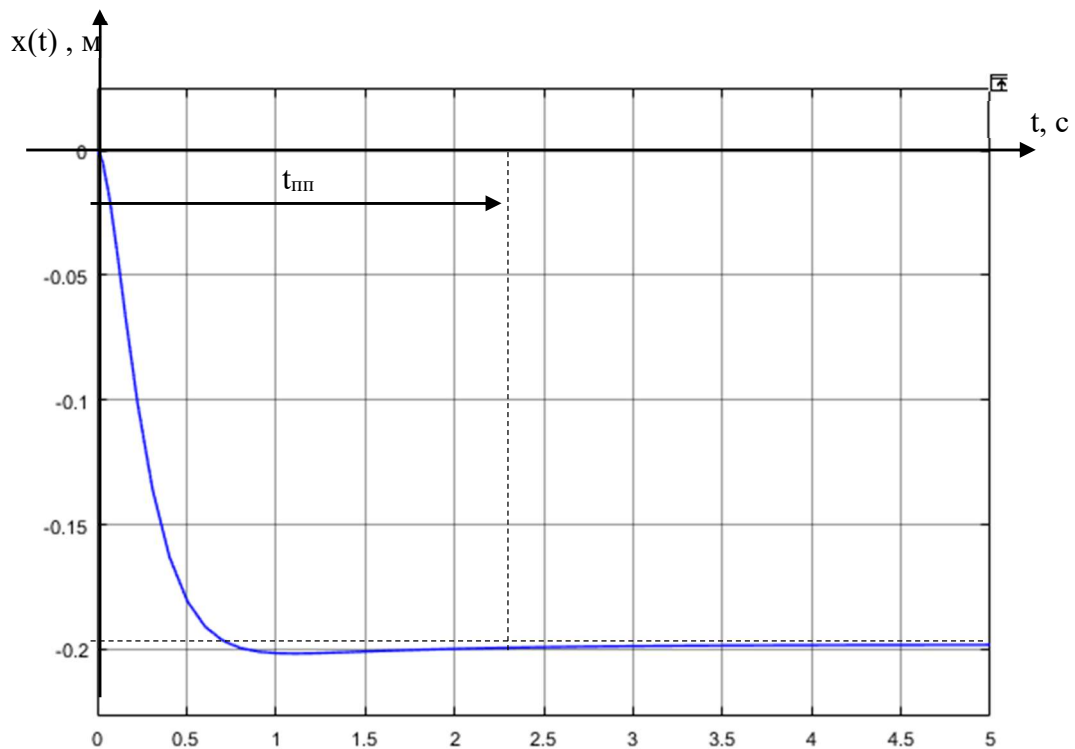


Рисунок 4.8 – Перехідна характеристика скоригованої САУ при збурюючому впливі

Показники якості перехідної характеристики скоригованої САУ при збурюючому впливі:

$$t_{mn}=2,4 \text{ с};$$

$$\sigma = 15,8\%;$$

$$\varepsilon_{уст}=0,01 \text{ В};$$

$$M=1.$$

#### 4.5 Висновки до розділу

В ході виконання даного пункту, було виконано синтез методом ЛАЧХ, за допомогою чого було отримано передавальну функцію коректувального елемента, який зменшив коливання системи та покращив показники якості.

Спочатку було розраховано коефіцієнт потребуєчий, використовуючи теорему про кінцеве значення оригіналу, враховуючи отримане значення будували по передавальній функції ЛАЧХ розраховану, далі ЛАЧХ бажану и отримали ЛАЧХ коректувального елемента методом віднімання від ЛАЧХ бажаної ЛАЧХ розраховану. З отриманої ЛАЧХ коректувальної отримали передавальну функцію корегувального елемента. З урахуванням передавальної функції корегувального елемента отримали передавальні функції розімкненої та замкненої системи по збурюючому та управляючому впливах, для них побудували перехідні характеристики та розраховали показники якості. Порівнюючи показники якості САУ по управлінню та збурюючому впливі,

можна сказати, що час перехідного процесу при збурюючому впливі більший на 0,25 с, перерегулювання майже однакове, а стала похибка по управлінню дорівнює 0.05, а при збурюючому впливі – 0.01. Таким чином усі отримані показники якості задовольняють початкові умови.



## 5 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

### 5.1 Задачі контролера та визначення складу вхідної та вихідної інформації

Контролер для мобільного робота з ОМНІ-колесами, представляє собою міні-комп'ютер, який керує всіма системами мобільного робота. Саме він передає сигнал швидкості та напрямок обертання двигунів. Відео-поток потрапляє на ноутбук через WI-FI модуль, де програмно визначаються перешкоди і йде сигнал управління на контролер. Також другий варіант управління платформою за допомогою датчиків перешкод, які знаходяться на корпусі мобільного робота. Отримані сигнали з інфра-червоних датчиків перешкоди, контролер аналізує отриманий сигнал, і розраховує напрям і швидкість руху.

Контролер для мобільного робота з ОМНІ-колесами професійного класу зазвичай оснащується додатковими вбудованими датчиками або має входи для їх підключення. Завдяки цьому робот може працювати в автономному режимі, здійснюючи управління двигунами, стабілізацію робота. Гіроскоп дозволяє фіксувати зміну кутового положення робота, а акселерометр контролює швидкість лінійного переміщення мобільного робота.

Крім того, об'єкт оснащений камерою, що дає можливість фіксувати наявність перешкод, та відстані від неї до мобільного робота. Завдяки цьому, робот в автоматичному режимі об'їздить усі перешкоди.

Також керування мобільним роботом можливо з телефону, за допомогою мобільного додатку. Підключення відбувається за допомогою Wi-fi модулю, але такий вид управління не є автоматичним, а відбувається за допомогою оператора. Під час ручного управління, усі датчики, які використовуються в автоматичному режимі, вимикаються.

На рис. 5.1 представлено функціональну схему обчислювального пристрою з виконавчими органами.

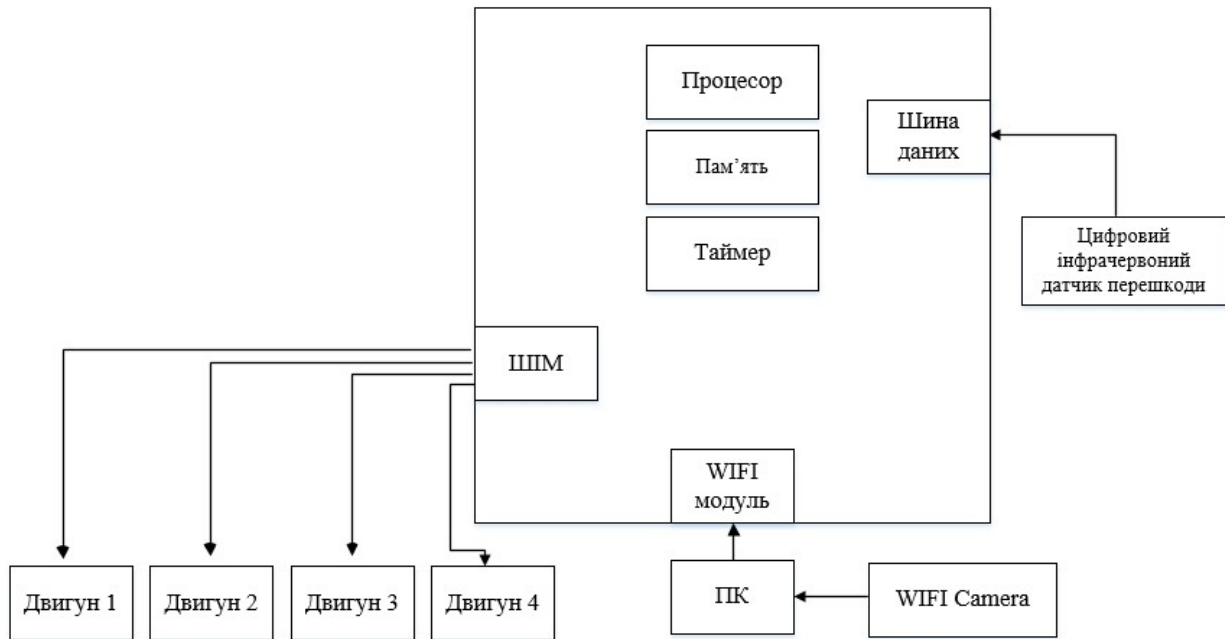


Рисунок 5.1 – Функціональна схема обчислювального пристрою з виконавчими органами

На функціональній схемі обчислювального пристрою з виконавчими органами, показано взаємодію контролера з виконавчими органами. Зі схеми видно, що рух мобільного робота відбувається за допомогою чотирьох двигунів (один двигун на одне ОМНІ-колесо), управління швидкістю руху мобільного робота здійснюється за допомогою ШПМ сигналу, який поступає на драйвер мотора, а після на двигуни. На персональний комп'ютер через WIFI поступає відео у реальному часі, програмно відбувається пошук перешкод і на контролер подається сигнал управління через WIFI модуль, який знаходиться на платі контролеру.<sup>[14]</sup>

На рис.5.2 представлено схему плати контролера Omniduino.

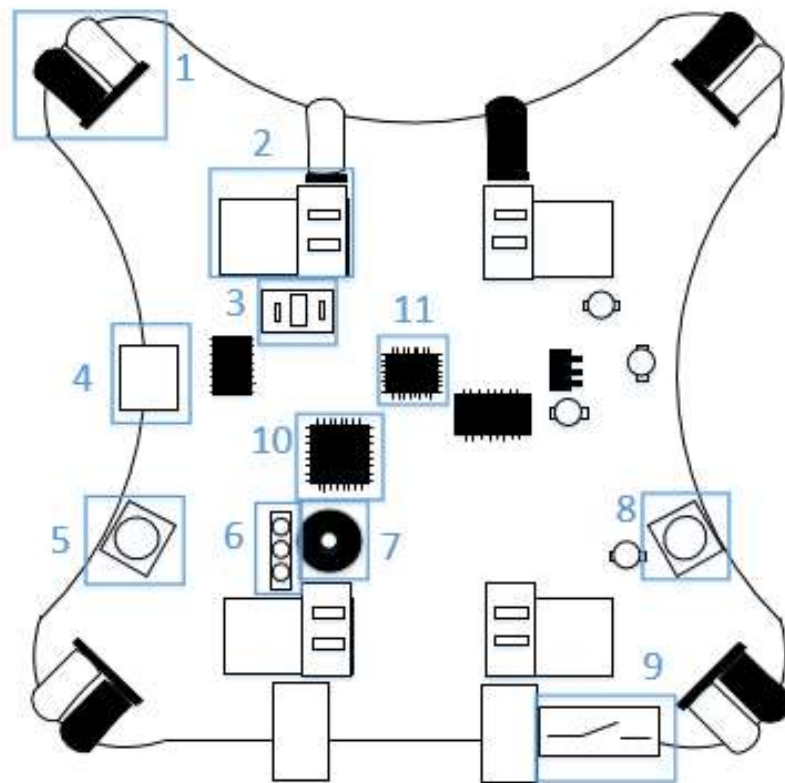


Рисунок 5.2 – Схема плати контролера Omniduino

На рис.5.2 прийняті наступні позначення:

- 1 – інфрачервоні датчики уникнення перешкод;
- 2 – інтерфейс приводу двигуна;
- 3 – інтерфейс камери WIFI;
- 4 – мікро USB інтерфейс;
- 5 – кнопка RESET;
- 6 – інтерфейс послідовного порту;
- 7 – пасивний зумер;
- 8 – функціональна кнопка;
- 9 – вимикач живлення;
- 10 – основний процесор: ATMEG328P;
- 11 – MPU6050.

## 5.2 Вибір елементної бази

Основним завданням проектування було побудова системи кутової стабілізації. З цього отримуємо, що для її функціонування необхідний прилад для вимірювання основних кутів. Такими приладами є 3-ступеневий гіроскоп і акселерометр. Гіроскоп – пристрій, здатний реагувати на зміну кутів орієнтації об'єкта, на якому він встановлений, щодо системи відліку. Акселерометр – прилад, що вимірює проекцію удаваного прискорення (різниця між істинним

прискоренням об'єкта та гравітаційним прискоренням). Ця властивість використовується для створення інерційних навігаційних систем, де отримані за допомогою акселерометра вимірювання інтегрують, отримуючи інерційну швидкість і координати об'єкта.

Для реалізації поставлених задач, був обраний акселерометр і гіроскоп MPU6050. MPU6050 - це 6-осевий датчик положення, який інтегрує 3-осьовий гіроскоп, 3-осьовий акселерометр та цифровий процесор руху. Зовнішні штифти розширення AUX\_DA та AUX\_CL можуть бути підключені до сторонніх цифрових датчиків, таких як зовнішній магнітометр, який можна розглядати як датчик, що видає 9-осі сигнали для зв'язку I2C. На рис. 5.3 зображено структура MPU6050.

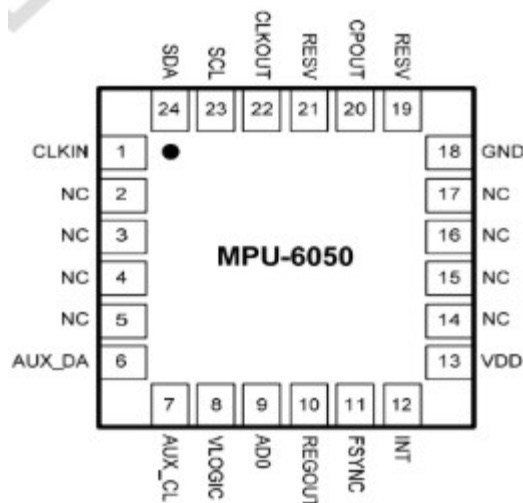


Рисунок 5.3 – Структура гіроскопа і акселерометра MPU6050

Гіроскопи та акселерометр MPU6050 приймають три 16-бітні АЦП, щоб перетворити вимірювані аналогові величини у вивідні цифрові значення. Гіроскоп може вимірювати  $\pm 250, \pm 500, \pm 1000, \pm 2000$  ° / с (дпс), а акселерометр може вимірювати  $\pm 2, \pm 4, \pm 8, \pm 16$ г.

MPU6050 постачається з 1024 байтами пам'яті FIFO, щоб зменшити енергоспоживання системи. Напряг живлення становить  $3,3 \text{ В} \pm 5\%$ . Він використовує зв'язок I2C і швидкості до 400 кГц. Вбудований DMP (Digital Motion Processor) може безпосередньо виводити інформацію, таку як кути Ейлера, виключаючи необхідність у великій кількості етапів фільтрації та обчислення процесора, економлячи ресурси основної мікросхеми управління.

Для реалізації автоматичної роботи робота, використовують інфрачервоні датчики перешкоди YL-63.

Цифровий інфрачервоний датчик обходу перешкод YL-63 (або FC-51) (рис.5.4) застосовується тоді, коли потрібно визначити наявність об'єкта, а точну відстань до об'єкта знати необов'язково. Датчик складається з інфрачервоного випромінювача, і фотоприймача. ІК джерело випромінює

інфрачервоні хвилі, які відбиваються від перешкоди і фіксуються фотоприймачем. Датчик виявляє перешкоди в діапазоні відстаней від нуля до встановленої граничної межі. Він побудований на основі компаратора LM393, який видає напругу на вихід за принципом: виявлена перешкода логічний рівень HIGH, не виявлено - логічний рівень LOW, даний стан показує і знаходиться на датчику червоний світлодіод. Граничне значення залежить від настройки датчика і регулюється за допомогою встановленого на модулі потенціометра. Для індикації живлення на датчику встановлений зелений світлодіод.

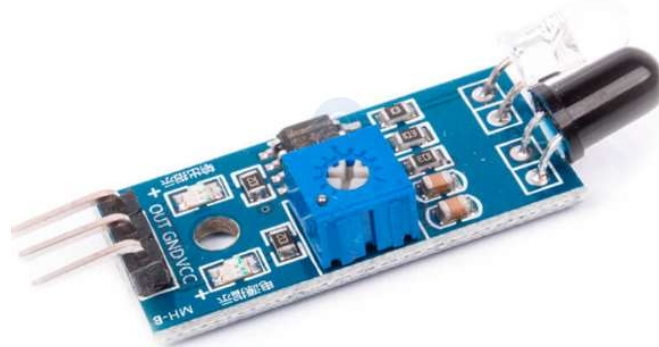


Рисунок 5.4 – Цифровий інфрачервоний датчик обходу перешкод YL-63

Характеристики:

- 1) модель: YL-63 (або FC-51);
- 2) напруга живлення: 3.3-5 В;
- 3) тип датчика: дифузний;
- 4) компаратор: LM393;
- 5) відстань виявлення перешкод: 2 - 30 см;
- 6) ефективний кут виявлення перешкод: 35 °;
- 7) потенціометр для зміни чутливості;
- 8) світлодіод індикації живлення;
- 9) світлодіод індикації спрацьовування;
- 10) розміри: 43 x 16 x 7 мм.

Також, ще одним важливим приладом для створення системи технічного зору є камера. В даній системі використовується WiFi камера, яка передає сигнал на ноутбук и далі програмні отриманий відео-поток оброблюється. На рис.5.5 приведено зображення WiFi камери.



Рисунок 5.5 – WiFi Camera

### 5.3 Опис вибраного контролера

Для визначення обчислювального пристрою було розглянуто три види контролерів: Omniduino, Orange Pi Lite, Raspberry Pi 2 Model B. В табл. 5.1 представлені порівнювальні характеристики обчислювальних пристроїв.

Таблиця 5.1 – Порівнювальні характеристики обчислювальних пристроїв

Модель Характеристики	Omniduidino	Raspberry Pi 2 Model B	Orange Pi Lite
Процесор	8-бітний високопродуктивний AVR-чіп на основі RISC	4-ядерний процесор ARM Cortex-A7 с частотою 0,9 ГГц	4-ядерний процесор Allwinner H3 з частотою 1.2 ГГц
GPU процесор (графічний)		2-х ядерний мультимедійний співпроцесор VideoCoreIV.	Mali400 MP2 600MHz підтримує OpenGL ES 2.0 OpenCL 1x, DX9_3, OpenVG, 1080p45 H.264
Оперативна пам'ять (ОЗУ)	1024 Мб (спільно з GPU)	1024 Мб (спільно з GPU)	512 Мб (спільно з GPU)
Карти пам'яті (ПЗУ)	microSD до 32 Гб	microSD до 64 Гб	microSD до 64 Гб
Вбудована пам'ять (EMMC)	-	-	-
Аудіо/відео вхід	Підтримує зв'язок I2C, підтримує зв'язок SPI і має 8-канальний 10-розрядний аналого-цифровий перетворювач	I <sup>2</sup> S (стандарт інтерфейсу електричної послідовної шини)	Мікрофон
Живлення	Від 1,8-5,5, живлення від акумулятора	Micro USB роз'єм 5В, 2А	5 В, 2 А, живлення плати через OTG не підтримує
USB	2 порти USB 2.0	4 порту USB 2.0	2 порти USB 2.0 і один USB 2.0 OTG
GPIO (Інтерфейс введення / виводу загального призначення)	Мікросхема має в цілому 32 контакту, з яких 23 регістра загального призначення (контакти введення-виведення)	40-контактний роз'єм	40-контактний роз'єм сумісний з Raspberry Pi B + / 2/3
Розмір	18.5 мм x 42 мм	85 x 56 x 17 мм	69 × 48 мм
Вага	65 г	45 г	36 г

В якості обчислювача був обраний контролер Omniduino на основі мікроконтролера ATmega328p. Зовнішній вигляд представлений на рис. 5.6.



Рисунок 5.6 – ATmega328p

ATmega328 / P - мікроконтролер сімейства AVR, як і всі інші має 8-бітний процесор і дозволяє виконувати більшість команд за один такт.

Пам'ять:

- 1) 32 kB Flash (пам'ять програм, що має можливість само програмування);
- 2) 2 kB ОЗУ;
- 3) 1 kB EEPROM (постійна пам'ять даних).

Периферійні пристрої:

- 1) два 8-бітних таймера / лічильника з модулів порівняння і дільникам частоти;
- 2) 16-бітний таймер / лічильник з модулем порівняння і дільником частоти, а також з режимом запису;
- 3) лічильник реального часу з окремим генератором;
- 4) шість каналів PWM (аналог цап);
- 5) 6-канальний цап з вбудованим датчиком температури;
- 6) програмований послідовний порт USART;
- 7) послідовний інтерфейс SPI;
- 8) інтерфейс I2C;
- 9) програмований сторожовий таймер з окремим внутрішнім генератором;
- 10) внутрішня схема порівняння напруги;
- 11) блок обробки переривань і пробудження при зміні напруги на висновках мікроконтролера.

Спеціальні функції мікроконтролера ATmega328:



- 1) скидання при включенні харчування і програмне розпізнавання зниження напруги харчування;
- 2) внутрішній калібруємий тактовий генератор;
- 3) обробка внутрішніх і зовнішніх переривань;
- 4) 6 режимів сну (знижене енергоспоживання і зниження шумів для більш точного перетворення АЦП).

Напруги харчування і швидкість процесора:

- 1) 1.8 - 5.5 В при частоті до 4 МГц;
- 2) 2.7 - 5.5 В при частоті до 10 МГц;
- 3) 4.5 - 5.5 В при частоті до 20 МГц.

На рис. 5.7 представлено структурну схему процесора АТмега328р.

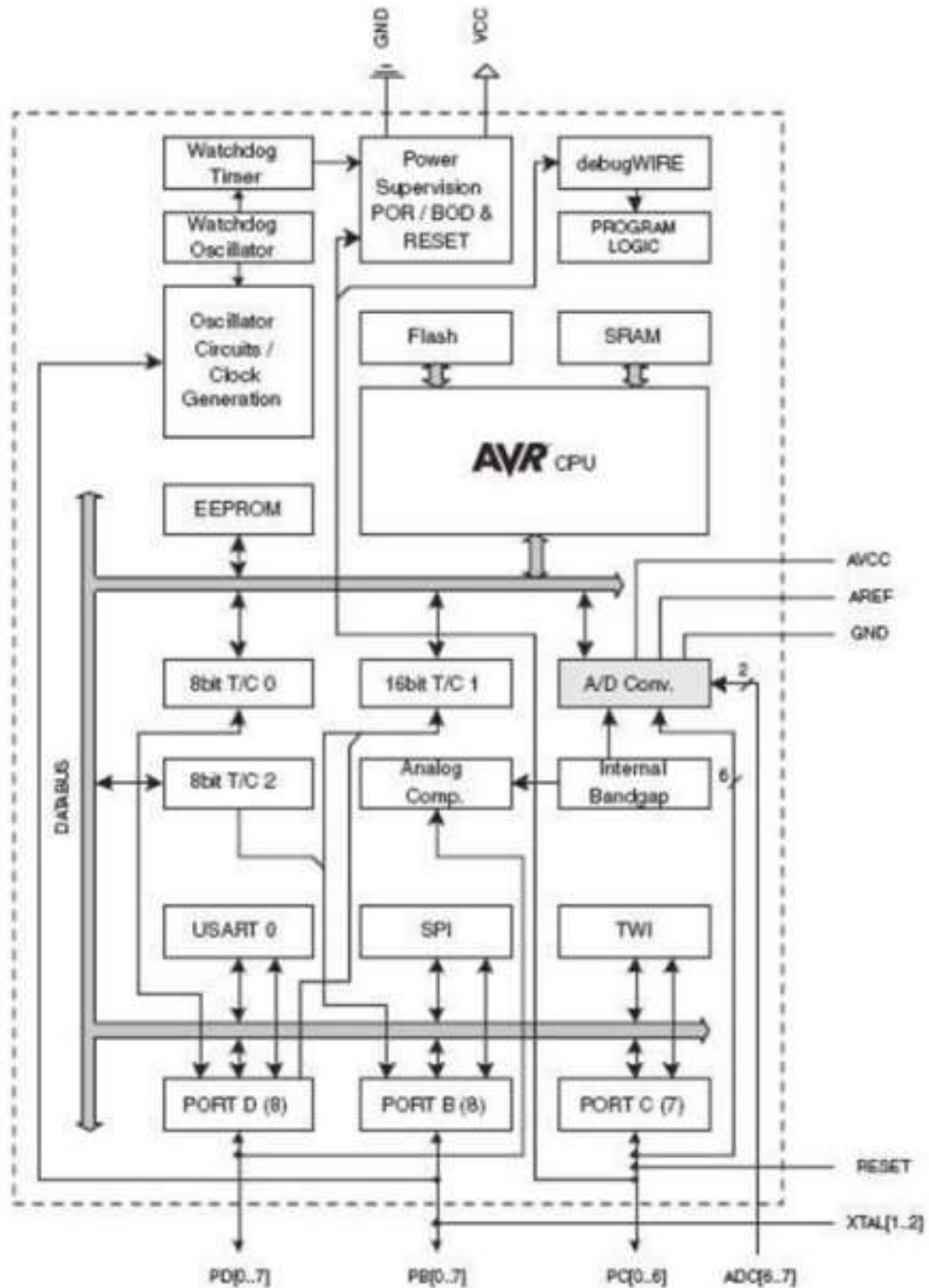


Рисунок 5.7 – Структурна схема процесора АТмега328р

На рис. 5.8 приведено монтажна схема обладнання системи мобільного робота з ОМНІ-колесами.

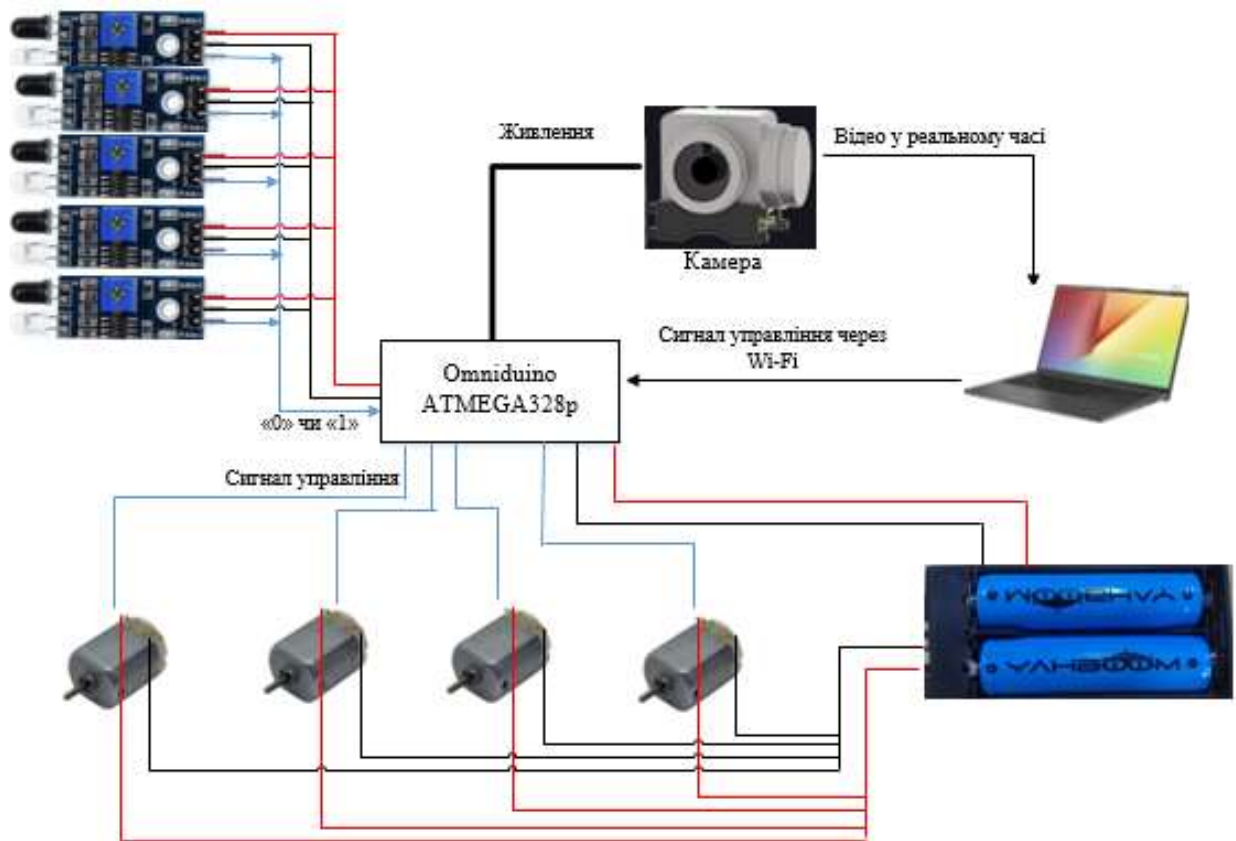


Рисунок 5.8 – Монтажна схема обладнання системи

Живлення від акумулятора поступає до плати контролера, а також на двигуни. З контролера живлення поступає до інфрачервоних датчиків перешкод, з датчиків на контролер поступає цифровий сигнал про наявність перешкод. Також з контролера на двигуни поступає сигнал управління швидкістю руху, та напрямом переміщення. Також показано підключення камери, завдяки якій можливо визначати положення перешкод та виконувати об'їзд перешкод.

У Додатку Б на рис. 5.9 приведено принципово-електричну схему обчислювального приладу та виконавчих органів.

#### 5.4 Розробка алгоритму роботи системи управління

Задача мобільного робота з ОМНІ-колесами, в автоматичному режимі проїхати середу з перешкодами (лабіринт, кімнату з речами і тд.). Для визначення перешкоди використовуємо відеокамеру, за допомогою якої визначаємо відстань від мобільного робота до перешкоди, а для об'їзду перешкоди використовується п'ять інфрачервоних датчиків виявлення перешкод, які розташовані в наступному порядку:

- 1) датчик №1 – спереду по центру;
- 2) датчик №2 – спереду з права від центру;

- 3) датчик №3 – позаду з права від центру;
- 4) датчик №4 – позаду з ліва від центру;
- 5) датчик №5 – спереду з ліва від центру.

Таке положення датчиків дає змогу визначати перешкоди з усіх сторін, а також прискорити процес визначення перешкод, так як на вхід контролера приходять масив даних з усіх датчиків, і якщо перешкода є, то контролер перевіряє наявність перешкод по кожному датчику окремо.<sup>[15]</sup>

На рис. 5.10 представлено алгоритм роботи програми, для проходження перешкод.

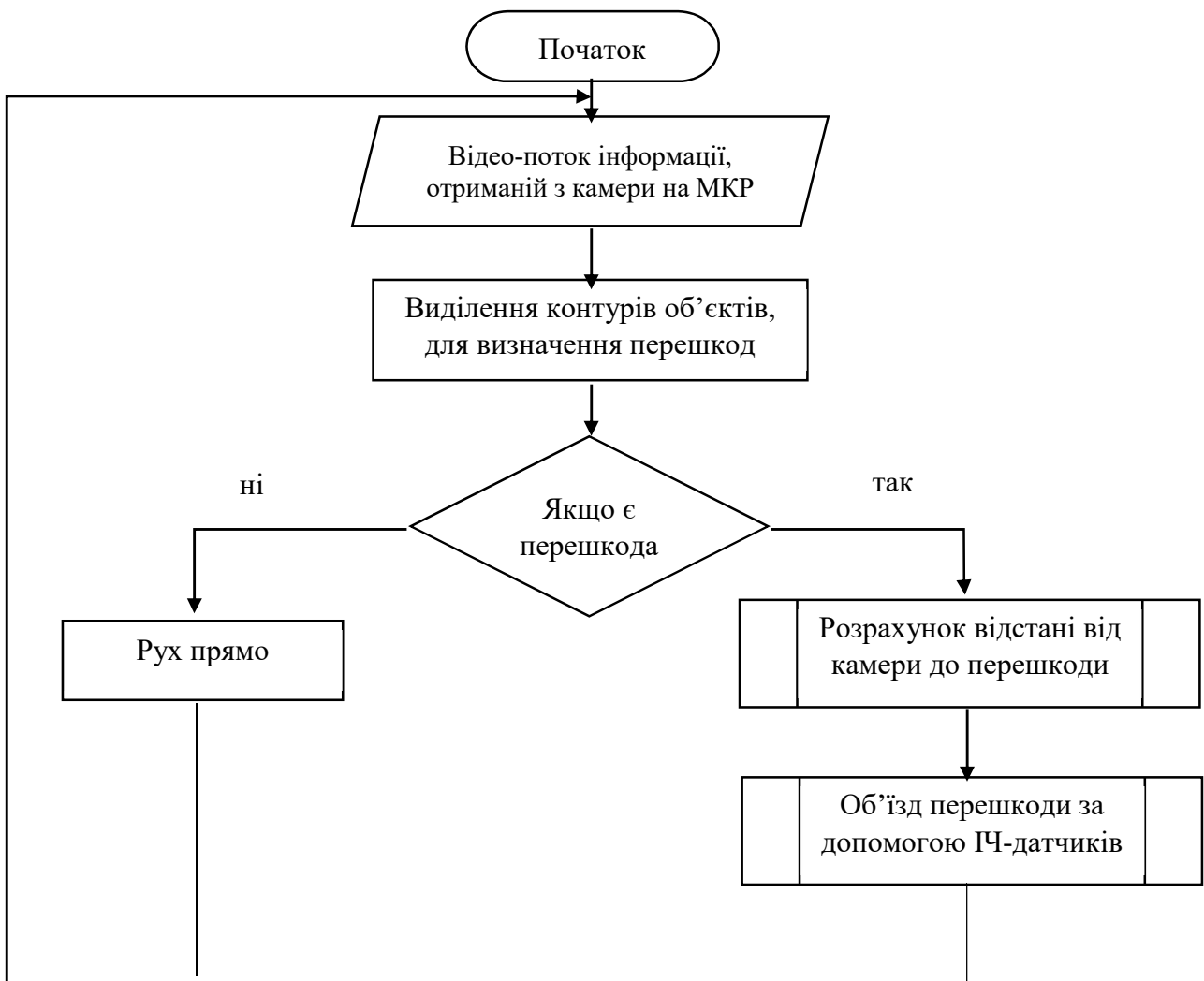


Рисунок 5.10 – Алгоритм роботи основної програми, для проходження середовища з перешкодами

Нижче на рис. 5.11 приведено алгоритм підпрограми для розрахунку відстані від камери до перешкоди. Алгоритм підпрограми об'їзду перешкод приведено на рис. 5.12.

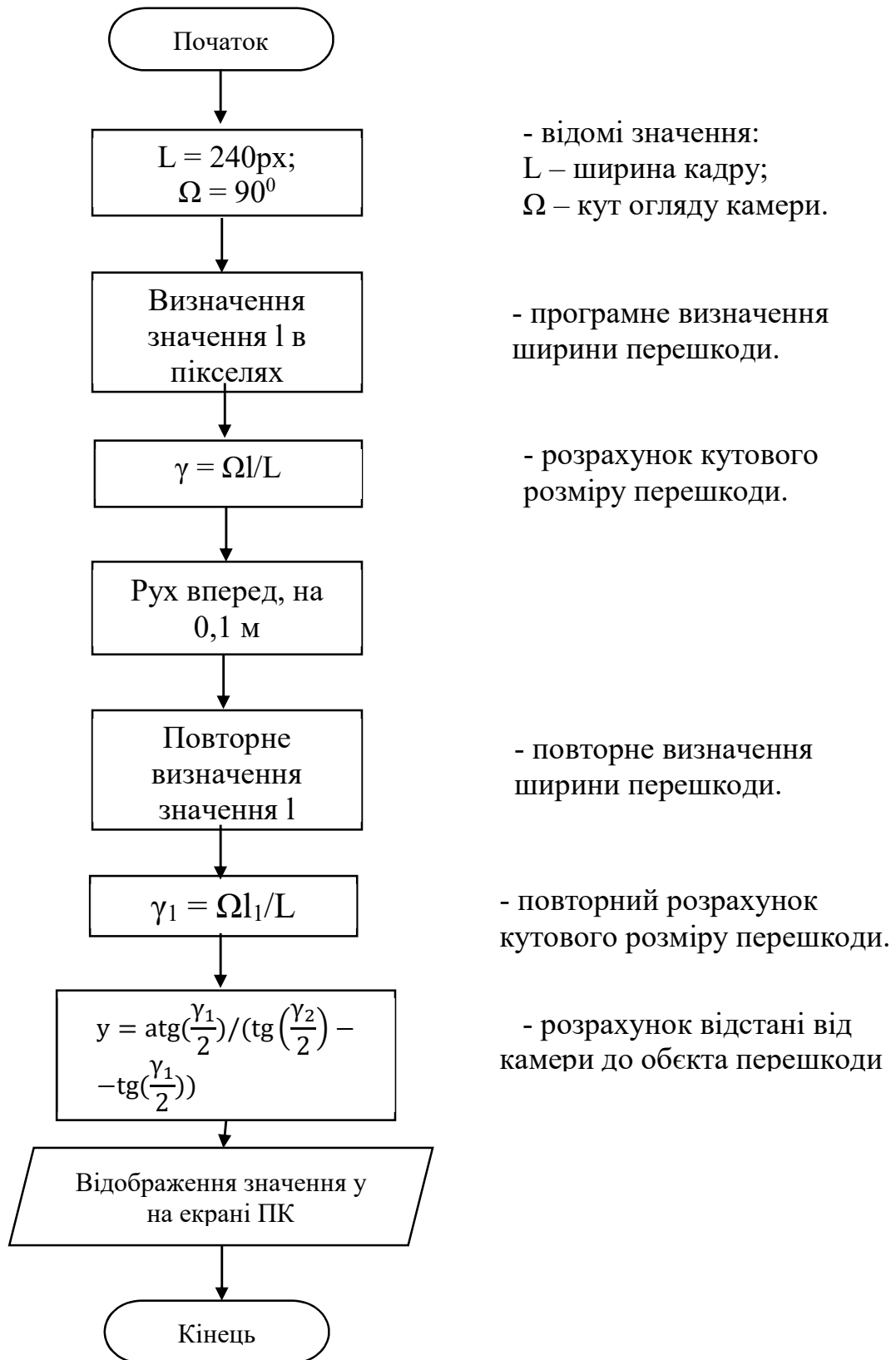


Рисунок 5.11 – Алгоритм підпрограми розрахунку відстані від камери до перешкоди

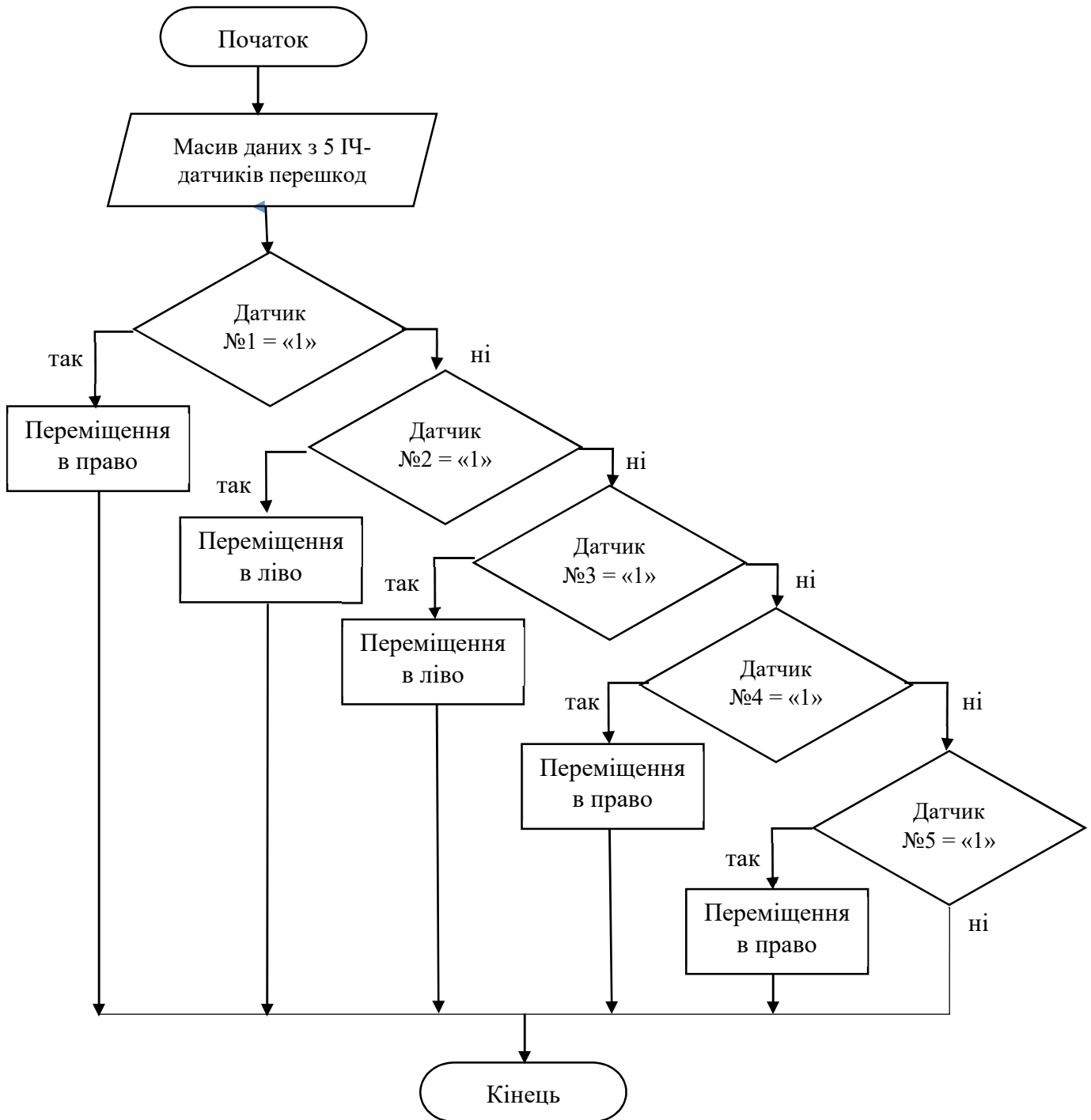


Рисунок 5.12 – Алгоритм підпрограми об’їзду перешкод

## 5.5 Протоколи передачі даних та формати даних

Мікроконтролер ATmega328P є 8 розрядним мікроконтролером, призначеним для вбудованих додатків. Він виготовляється за мало потребуючої КМОП (комплементарна структура метал-оксид-напівпровідник) технології, яка в поєднанні з удосконаленою RISC (архітектура процесорів зі скороченим

набором команд) архітектурою дозволяє досягти найкращого співвідношення швидкодія/енергоспоживання. мікроконтролер побудований по двох-шинної (гарвардської) архітектурі і має роздільні шини пам'яті програм і пам'яті даних(рис. 5.13).

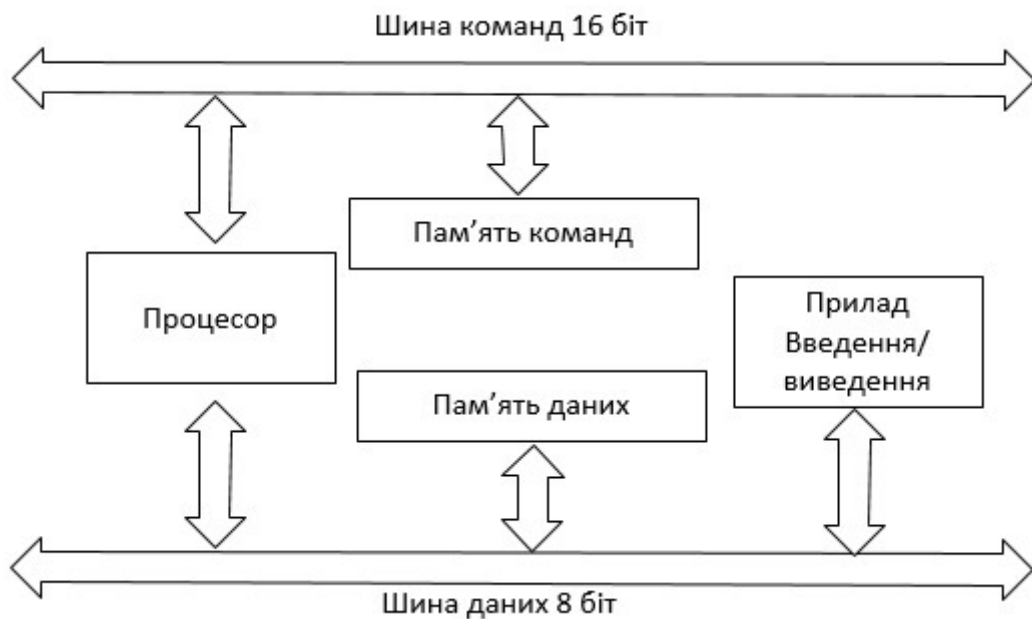


Рисунок 5.13 – Структура двох-шинної архітектури

Кожен порт мікроконтролерів складається з певного числа висновків, через які мікроконтролер може здійснювати прийом і пере дачу цифрових сигналів. Завдання напряду передачі даних через будь-який контакт введення виведення може бути вироблено програмно в будь-який момент часу.

Мікроконтролер АТmega328р має три порти введення/виведення:

- порт В (8 розрядний),
- порт С (7 розрядний),
- порт D (8 розрядний).

Всього контактів введення/виведення.

Звернення до портів проводиться через регістри введення/виводу. Під кожен порт в адресному просторі введення/виводу зарезервовано по 3 адреси, за якими розміщені такі регістри:

- регістр даних порту PORTx,
- регістр напряду даних DDRx,
- регістр висновків порту PINx.

Регістр PINx доступний тільки для читання, а PORTx і DDRx доступні як для читання, так і для запису.

В табл. 5.2 приведено характеристики апаратних комунікацій для мобільного робота з ОМНІ-колесами.

Таблиця 5.2 – Характеристики апаратних комунікацій

Комунікація	Призначення, протокол	Фізичні рівні, стандарт	Кількість з'єднань
Інфрачервоні датчики перешкоди - Контролер	Сигнали від датчиків до контролера	Цифровий сигнал 0 чи 1	5 (1 з'єднання на кожний датчик)
Камера - Контролер	Через I2C	Цифровий відеосигнал	4 1 контакт на VCC 1 контакт на GND SDA на A4 SDL на A5
Контролер - Двигуни	ШИМ -сигнал керування двигунами (4) $U_n$	Прямокутні імпульси (05...5 В)	4 (1 з'єднання на кожний двигун)
Контролер - Інфрачервоні датчики перешкоди	Подача напруги живлення на датчики	(3.5...5.5 В)	5 контактів на VCC, 5 контактів на GND
Джерело живлення - Контролер	Подача напруги живлення на контролер	5.5 В	1 контакт – VCC 1 контакт – GND
Камера - ПК	WIFI	Цифровий відеосигнал	
Джерело живлення - Двигуни	Подача напруги живлення на двигуни	+7.5 В	4 контакти - VCC 4 контакти - GND
ПК - Контролер	Завантаження програми на контролер		UART

## 5.6 Висновки до розділу

В даному розділі, було розроблено алгоритмічне та програмне забезпечення для системи управління. Було розроблено алгоритм роботи системи мобільного робота з OMNI-колесами. Було описано протоколи передачі даних, та описано формати даних. На даному етапі було розроблено структуру програмного забезпечення, а саме інтерфейс окремих програмних



модулів. Також в розділі було наведено монтажну схему мобільного колісного робота, принципово-електричну схему.

## 6 ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА

### 6.1 Задачі і методи проведення дослідження

Основною задачею мобільного робота – є визначення перешкоди, а також відстані від мобільного робота до об'єкта і виконання об'їзду перешкоди. Наявність перешкоди визначається завдяки камери, яка нерухомо зафіксована на мобільному роботі. Після визначення положення перешкоди, мобільний робот повинен об'їхати перешкоду, але тільки з використанням камери це не можливо, так як вона фіксовано закріплена, а мобільний робот виконує переміщення вправо та вліво не виконуючи оберту корпусу. Тому при об'їзді перешкод використовувались 5 інфрочервоних датчиків перешкод. Датчики – є цифровими, тому ми можемо бачити тільки наявність або відсутність перешкоди, але не бачити відстань до неї.

Задачею дослідницької частини є визначення перешкоди та розрахунок відстані від мобільного колісного робота до об'єкта/перешкоди з використанням відеокамери, а також дослідити точність об'їзду об'єкта/перешкоди з використанням ПЧ-датчиків перешкод.

### 6.2 Визначення перешкоди та розрахунок відстані від камери до об'єкта/перешкоди

Для розпізнавання і визначення параметрів перешкод використовується одна відеокамера та алгоритм розпізнавання перешкод, який входить до складу системи управління мобільного робота та здійснює контроль робочого простору перед роботом в напрямку його руху.

Алгоритм складається з наступних кроків:

- отримання опису зображення середовища від відеокамери,
- обробка зображення,
- розпізнавання перешкоди,
- визначення параметрів і орієнтації перешкоди,
- формування даних для системи управління.

Спосіб визначення параметрів і орієнтації перешкоди полягає в наступному.

Відеокамера має два відомих параметра: ширину кадру  $L$  в пікселях,  $px$ , і кут огляду камери  $\Omega$ , град (рис.6.1). При появі перешкоди робот визначає ширину перешкоди  $l$  в  $px$ .

$$\frac{\Omega}{L} = \frac{\gamma}{l}, \quad \gamma = \frac{\Omega l}{L}.$$

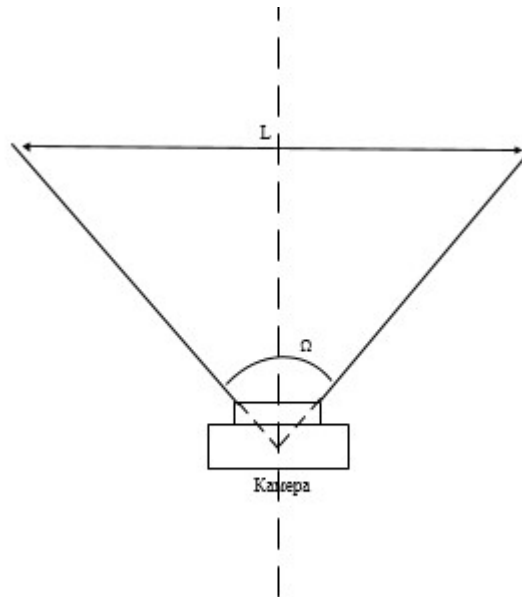


Рисунок 6.1 – Схематичне зображення відомих параметрів камери

Кутовий розмір перешкоди  $\gamma$ , град. (рис. 6.2), визначається з співвідношень

$$\frac{\Omega}{L} = \frac{\gamma}{l}, \quad \gamma = \frac{\Omega l}{L}.$$

Виконавши це обчислення, робот просувається на відстань 0.1 м і повторює обчислення (рис. 6.2).

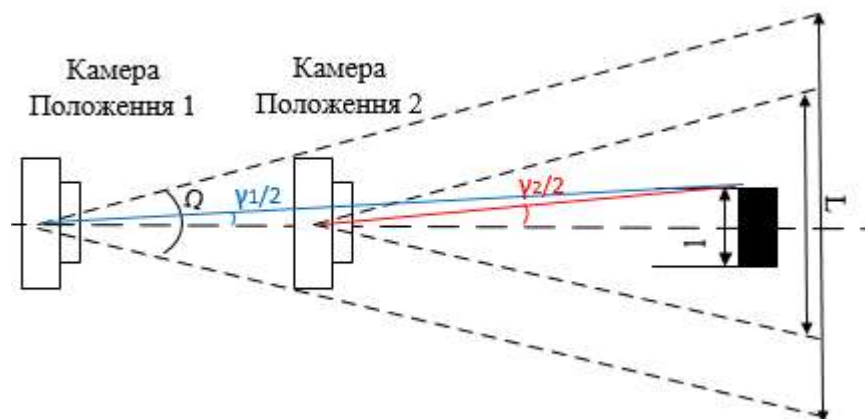


Рисунок 6.2 – Графічне зображення розрахунку ширини об'єкта відносно ширини кадру

Порівнявши отримані дані, можна визначити реальну відстань до перешкоди (рис.6.3) з наступної системи рівнянь:

$$\begin{cases} \operatorname{tg}\left(\frac{\gamma_1}{2}\right) = \frac{x}{y+a}; \\ \operatorname{tg}\left(\frac{\gamma_2}{2}\right) = \frac{x}{y}. \end{cases}$$

де  $x$  - половина ширини перешкоди;

$y$  - відстань до перешкоди, від другого положення камери;

$\frac{\gamma_1}{2}$  - половина кутового розміру перешкоди при першому вимірі;

$\frac{\gamma_2}{2}$  - половина кутового розміру перешкоди при другому вимірі;

$a$  - відстань, пройдену роботом між обчисленнями = 0.1.

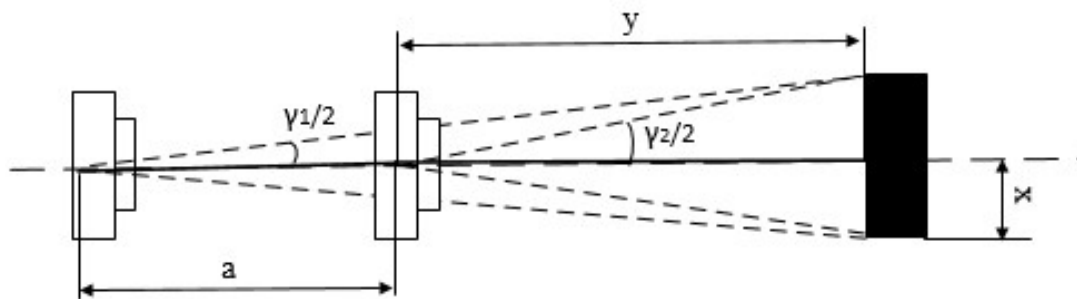


Рисунок 6.3 – Графічне відображення системи рівнянь

Рішення системи рівнянь:

$$x = \frac{a \operatorname{tg}\left(\frac{\gamma_2}{2}\right)}{y+a}.$$

Після виконання розрахунків отримаємо рівняння для знаходження відстані від мобільного колісного робота до перешкоди:

$$y = \frac{a \operatorname{tg}\left(\frac{\gamma_1}{2}\right)}{\operatorname{tg}\left(\frac{\gamma_2}{2}\right) - \operatorname{tg}\left(\frac{\gamma_1}{2}\right)}.$$

Для виділення об'єкта в відео-поточці виконуємо обробку відео зображення, а саме виконуємо перетворення зображень у півтонове, та потім виділяємо фільтром контур об'єктів на відео. На рис. 6.4 зображено початкове зображення перешкоди отримане з камери. На рис. 6.5 приведено зображення перешкоди після проведення перетворень.



Рисунок 6.4 – Початкове зображення об'єкта отримане з камери

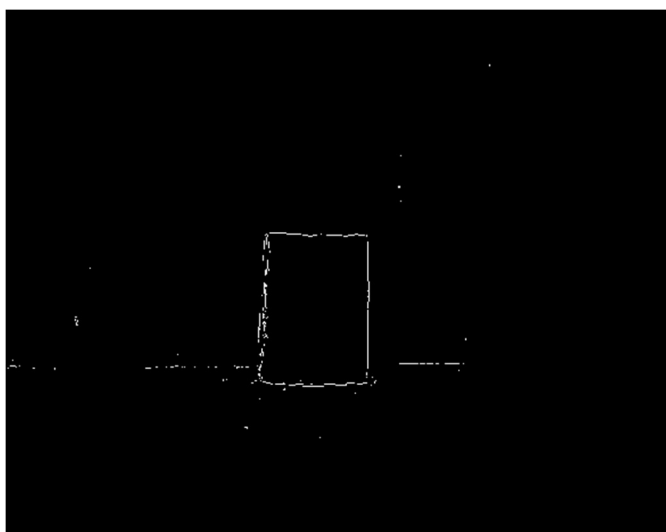


Рисунок 6.5 – Зображення після проведення перетворень та виділення контурів зображення

Наступним етапом є виділення на зображенні перешкоди/об'єкта. На рис. 6.6 приведено зображення з виділеною областю де знаходиться перешкода.

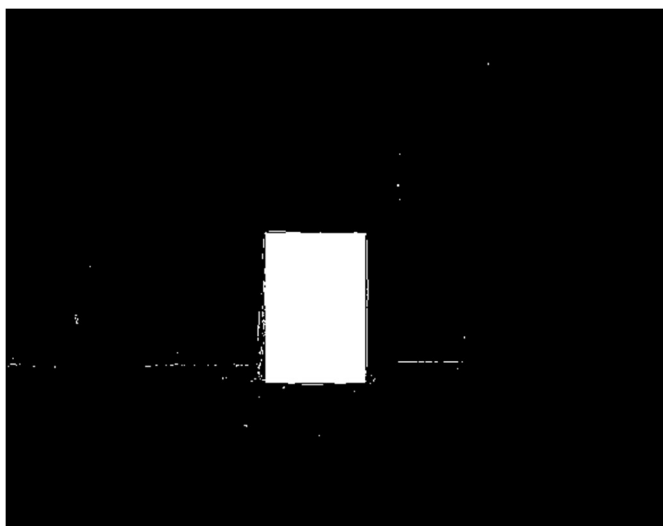


Рисунок 6.6 – Зображення з виділеною областю об'єкта

Таким чином, після визначення перешкоди виконуються розрахунки відстані від мобільного колісного робота до перешкоди, далі починається об'їзд.

### 6.3 Дослідження траєкторії об'їзду об'єкта з застосування інфра-червоних датчиків перешкод

Так як камера зафіксована нерухомо і напрямлена прямо, при об'їзді перешкоди (рух вправо або вліво) застосовується інфра-червоні датчики перешкод. ІЧ –датчики являються цифровими, тобто на контролер поступає два види сигналу «1» якщо перешкода є, та «0» - перешкоди немає.

На рис. 6.7 приведено траєкторію об'їзду перешкоди, якщо з бокових сторін інші перешкоди відсутні.

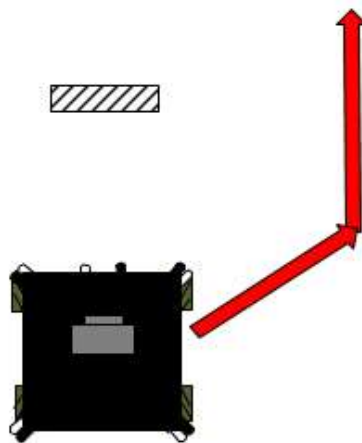


Рисунок 6.7 – Траєкторія об'їзду перешкоди, якщо з бокових сторін інші перешкоди відсутні

Але потрібно розуміти, що така ситуація буде не завжди, при об'їзді з бокових сторін можуть знаходитись різноманітні об'єкти, які не потрапляють в об'єкти камери. Тому при об'їзді використовуємо датчики перешкод які розташовані з усіх сторін мобільного робота. На рис. 6.8 приведено схематичне зображення роботи датчиків перешкод.

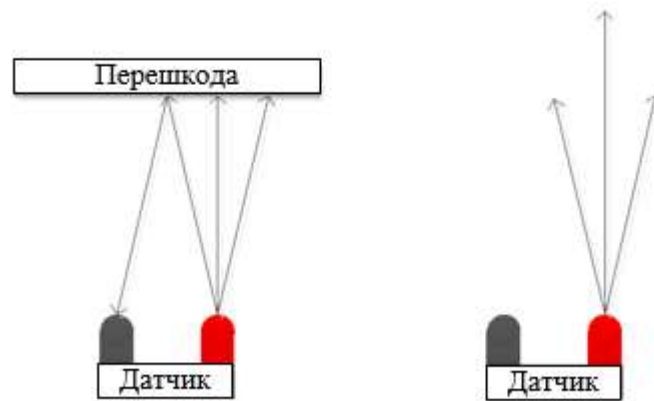


Рисунок 6.8 – Схематичне зображення роботи датчиків перешкод

Датчик перешкоди складається з випромінювача та приймача. Випромінювач подає інфра-червоний промінь і якщо перешкода є, то промінь відображається і потрапляє до приймача тоді сигнал до контролера у вигляді «1» - тобто є перешкода. Якщо перешкоди немає, тобі на приймач промінь не повертається й поступає сигнал на контролер у вигляді «0». Розглянемо приклад траєкторії об'їзду перешкоді, якщо є інші перешкоди, які не потрапляють в об'єктив камери (рис.6.9).

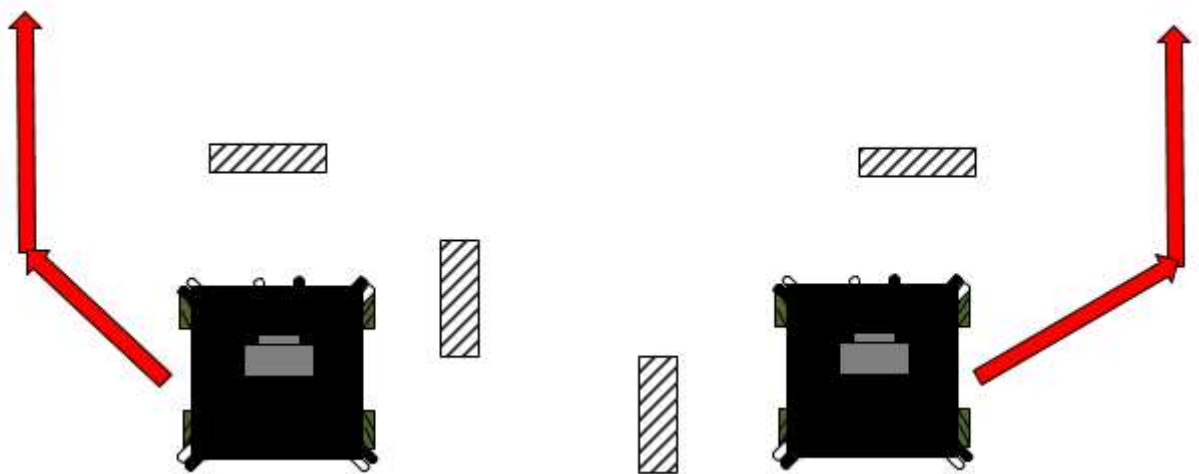


Рисунок 6.9 – Схематичне зображення траєкторії об'їзду об'єкта, при наявності інших перешкод

#### 6.4 Висновки до розділу

В даному розділі було проведено дослідження методу визначення об'єктів/перешкод на відео, дослідження проводилось з використання фрейму з відео. Було виявлено, що об'єкти/перешкоди повинні відрізнятись за кольором

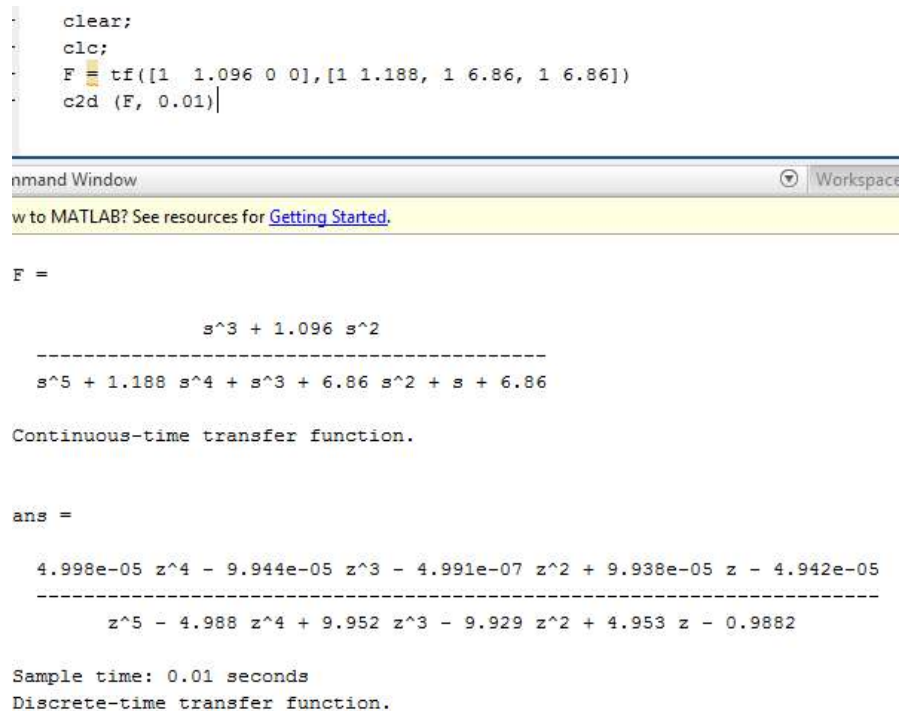
бід заднього фону, також задній фон повинен бути однотонний. Також було досліджено метод розрахунку відстані від мобільного робота до об'єкта, було приведено усі розрахунки та виведено рівняння для отримання відстані.



## 7 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

### 7.1 Підготування до експериментально-практичної частини

Для отримання періоду дискретизації треба виконати перетворення коригувальної передавальної функції у цифровий вид. Перетворення було виконано у середовищі Matlab. На рис. 7.1 представлено командне вікно та отримана передавальна функція коригувального елемента у цифровому виді.



```

clear;
clc;
F = tf([1 1.096 0 0],[1 1.188, 1 6.86, 1 6.86])
c2d (F, 0.01)

```

Command Window Workspace

How to MATLAB? See resources for [Getting Started](#).

```

F =

          s^3 + 1.096 s^2
-----
s^5 + 1.188 s^4 + s^3 + 6.86 s^2 + s + 6.86

Continuous-time transfer function.

ans =

4.998e-05 z^4 - 9.944e-05 z^3 - 4.991e-07 z^2 + 9.938e-05 z - 4.942e-05
-----
z^5 - 4.988 z^4 + 9.952 z^3 - 9.929 z^2 + 4.953 z - 0.9882

Sample time: 0.01 seconds
Discrete-time transfer function.

```

Рисунок 7.1 – Командне вікно перетворення передавальної коригувальної функції у цифровий вид у середовищі Matlab

Із командного вікна можемо побачити, що період дискретизації дорівнює 0.01, це означає що за допомогою перерахунку ЛАЧХ у ПД-регулятор ми повинні помножити отримані значення на 0.01 для отримання коригувального елемента який у вигляді ПД-регулятора додаємо у програмний код.

Нижче наведені пропорційний, диференційний коефіцієнти, виходячи з коригуючого коефіцієнта і двох мінімальних постійних часу із передавальної функції коригувального елемента, де:

- 1) пропорційний коефіцієнт:  $K_p = K_{ке} (T_1 + T_2) = 0.345$ ;
- 2) диференційний коефіцієнт:  $K_d = K_{ке} (T_1 * T_2) = 0.044$ .

Саме ці коефіцієнти ми додаємо у програмний код для реалізації коригувального елемента. Програмний код для системи управління мобільним омні роботом з системою технічного зору приведено в Додатку В.

## 7.2 Опис експерименту

Для виконання експериментальної частини було виконано 3 об'єкти, колір для об'єктів було обрано чорний, для зручності, бо чорний колір добре контрастує з іншими кольорами. На рис. 7.2 – 7.3 приведено зображення об'єкта управління від спереду та збоку, відповідно. На рис.7.4 зображено стенд для експериментальної частини.



Рисунок 7.2 – Зовнішній вигляд об'єкта управління, вид спереду



Рисунок 7.3 – Зовнішній вигляд об'єкта управління, вид збоку



Рисунок 7.4 – Стенд для експериментальної частини

На малюнку зображено мобільний колісний робот з омні-колесами, та 3 різні об'єкти які будуть слугувати перешкодами. Таким чином змінюючи положення перешкод, можливо розглянути декілька варіантів об'їзду перешкод.

Так як обраний контролер не призначений для обробки відео-поток, дані маніпуляції будуть проходити на персональному комп'ютері. Завдяки WIFI камери відео-поток передається на персональний комп'ютер, далі відбувається обробка зображення. Для обробки зображення було створено схему в середі Matlab/Simulink (рис.7.5).

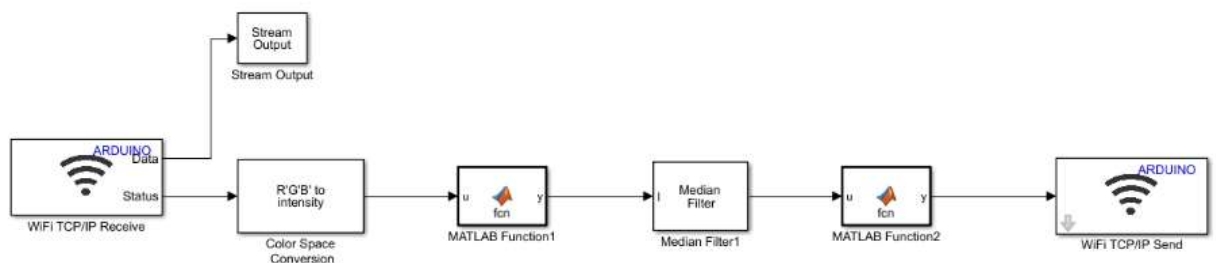


Рисунок 7.5 – Схема обробки відео-зображення в середі Matlab/Simulink

Відео-зображення передається на ПК через WIFI, далі зображення перетворюється в півтонове, для подальшого виділення контуру об'єкта було

створено Matlab Function1, в якій використовується функція бінаризації по порозу 0.9, далі виділяються контури об'єкта та визначається відстань до об'єкту (Matlab Function2). Після чого сигнал передається на контролер завдяки WIFI модулю. Якщо перешкода не визначена передається позначення «F» тоді виконується рух прямо, якщо перешкода є, то передаються позначення «P» - тобто виконується розрахунок положення перешкоди, та починається об'їзд перешкоди використовуючи інфра-червоні датчики перешкоди.

На рис. 7.6 наведено вікна програми та результатом роботи програми, яка перетворює потокове зображення отримане з камери та виділяє контури об'єктів.

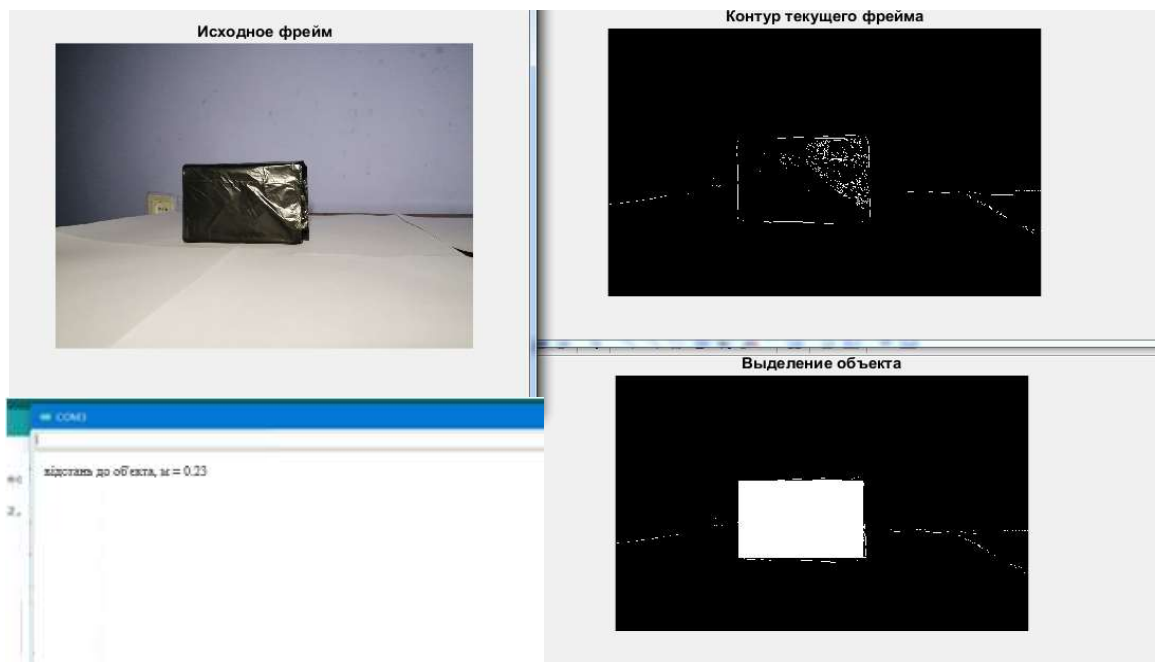


Рисунок 7.6 – Вікно програми в якому відображено обробка поточного фрейму

На рис. 7.7 схематично показано траєкторію яку подолав мобільний колісний робот для даної схеми розташування перешкод.

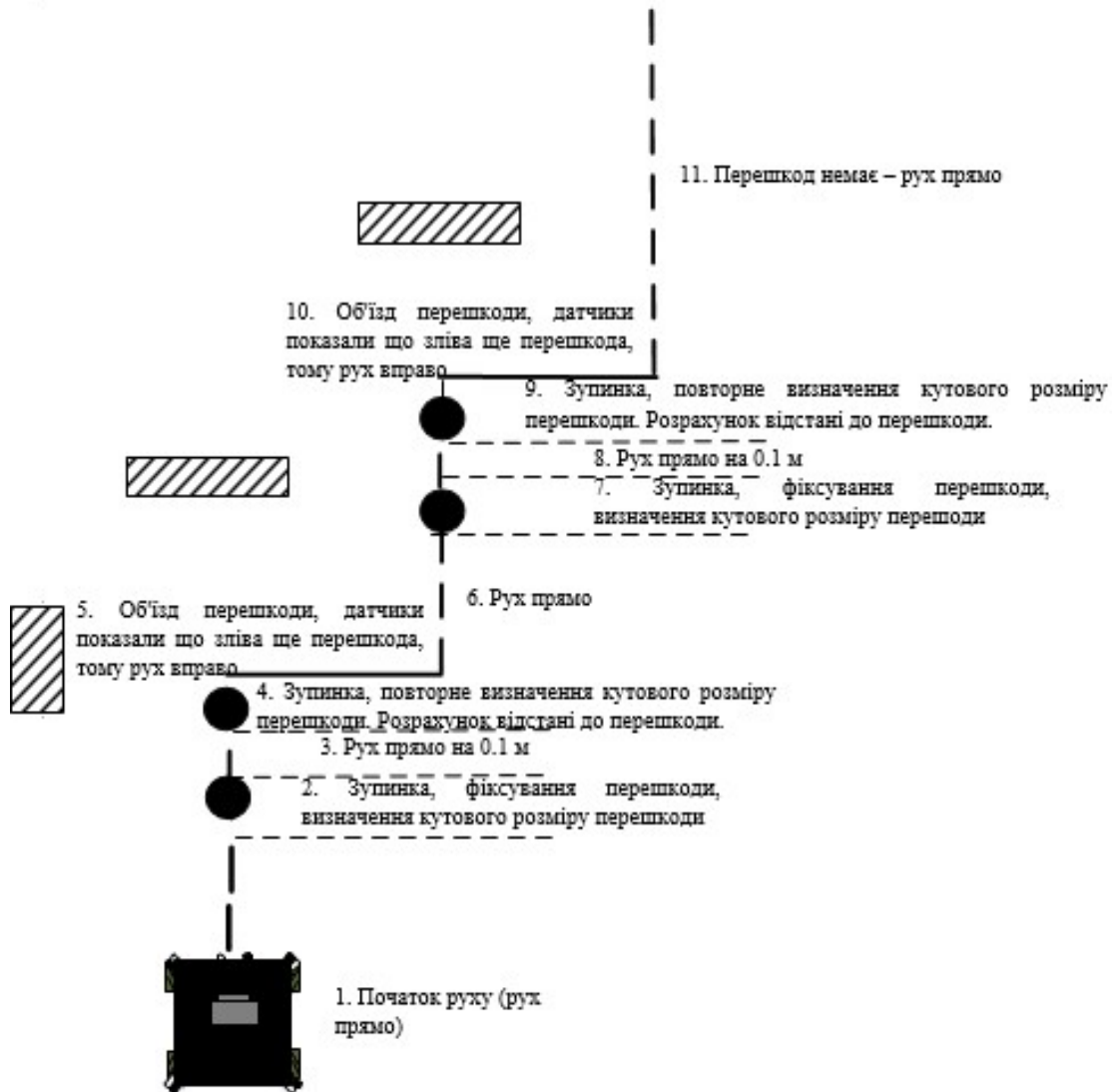


Рисунок 7.7 – Траєкторія, яку подолав колісний мобільний робот за omni-колесами для даної схему розташування перешкод

На рис. 7.8 представлено управляючі ШІМ сигнали на двигуни мобільного колісного робота з omni-колесами при кожному виді руху, які зображені на рис.7.7. Так як діапазон ШІМ сигналу дорівнює від 0 до 255, було вирішено відобразити діапазон від -127 до +127 для демонстрації напрямку обертання колеса (вперед, назад).

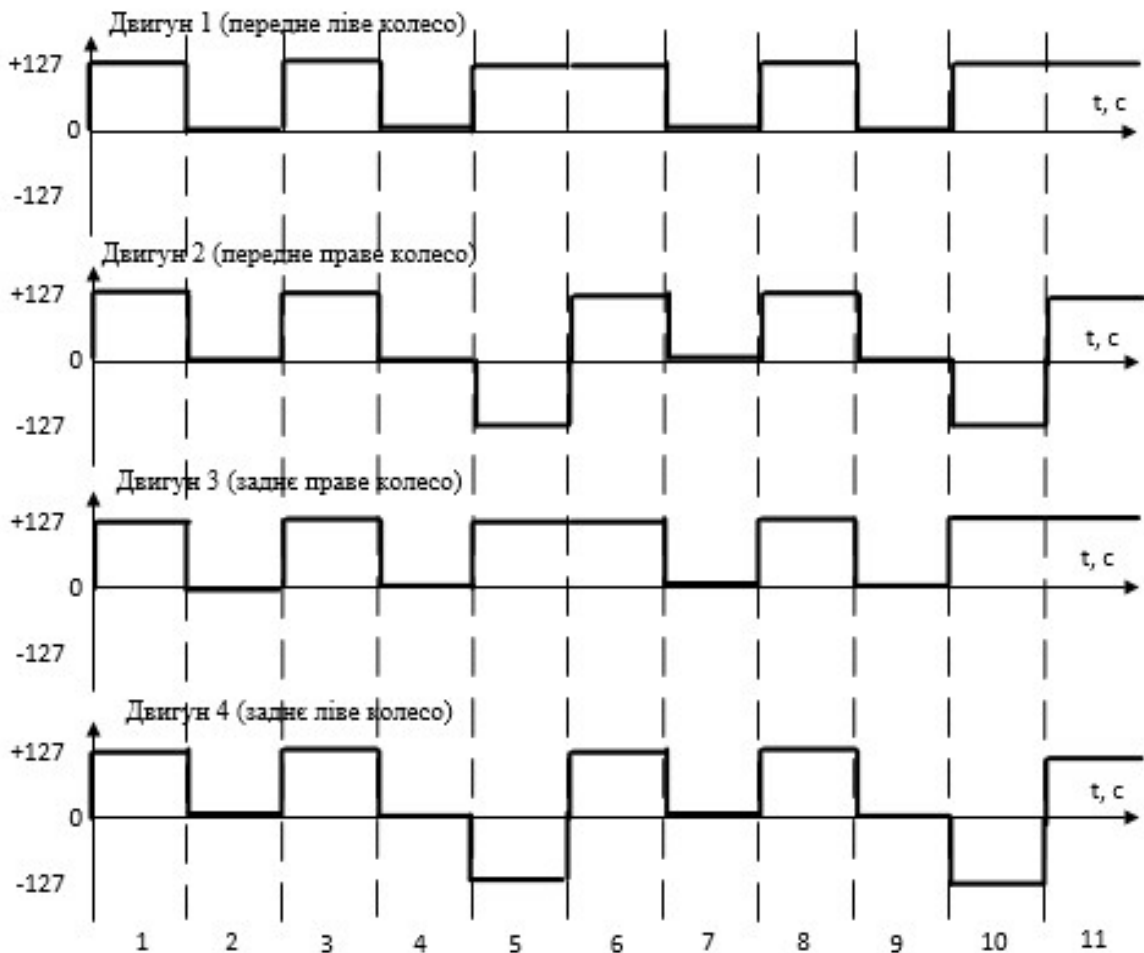


Рисунок 7.8 – Схематичне відображення ШІМ сигналу на двигуни мобільного колісного робота з опні-колесами

Як видно з малюнку, при русі вперед всі колеса рухаються вперед з однаковою силою, при русі вправо ліве переднє та праве заднє колесо обертаються вперед, а переднє праве та заднє ліве колесо – назад. Якщо потрібно виконати переміщення вліво, то відповідно навпаки: переднє ліве та заднє ліве повинні обертатися назад, а праве переднє та ліве заднє – вперед.

### 7.3 Висновки до розділу

В даному розділі було виконано експериментальну частину, розроблена система управління колісного робота з опні-колесами здійснює свою роботу згідно поставленим задачам, тільки при однотонному задньому фоні, та якщо перешкоди відрізняються за кольором від фону. Були отримані екрани форми з результатами роботи програми виділення контурів перешкод. Також було описано управляючі ШІМ сигнали які надає контролер двигунам для виконання різноманітних маневрів при об'їзді перешкод.

## 8 ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОЗРОБКИ

### 8.1 Основні поняття і положення

В економічній частині даного проекту розглядається розділ собівартості розробки мобільного колісного робота для вивчення законів управління та практичного їх відпрацювання.

Далі розглядається собівартість розроблюваного макету даного приладу, тобто виражена в грошових одиницях сума усіх витрат підприємства на виробництво та реалізацію продукції. Собівартість продукції складається з ряду найменувань витрат. Сюди входять: витрати на основні матеріали, на комплектуючі вироби, пряма та додаткова заробітна плата, витрати на утримання та експлуатацію обладнання, утримання транспорту, а також цілий ряд загальнодержавних аналогів та відрахувань.

### 8.2 Опис виробу

В ході виконання роботи було розроблено мобільний колісний робот з оппi-колесами для вивчення та практичного відпрацювання законів управління. Сама платформа МКР виконана з акрилу до неї приєднані чотири двигуна, чотири оппi-колеса, камера, мікроконтролер, датчик відображення 5 штук, WIFI модуль, акумулятор.

В якості обчислювального пристрою було обрано мікроконтролер на основі Arduino Nano, який забезпечує необхідну швидкодію, надійність і простоту експлуатації. Мікроконтролер відповідає сучасним вимогам по надійності, конструкції, габаритним розмірам і масі. Для зчитування інформації про рух робота використовується аналоговий датчик відображення.

### 8.3 Сегментування ринку

Сегментація ринку – це процес поділу споживачів на групи з урахуванням різних принципів і факторів сегментації. У процесі сегментації виділяють сегменти ринку.

Розроблювана система поставляється заводам, підприємствам, приватним особам, які займаються розробкою, складанням і налагодженням мобільних пристроїв, виробникам автотранспорту, а також виробникам різних виробів, де використовуються обертові пристрої. Оскільки дані системи виробляються на замовлення, то сегментування ринку доцільно проводити за кінцевими замовниками.

Основною характеристикою сегмента є ємність – кількість виробів, які можуть бути продані в рік.

Повна потреба сегменту розраховується з урахуванням конкретних особливостей товару і сегментів. Для багатьох видів товарів індивідуального і промислового призначення  $S_{1пол.i}$  можна розрахувати по наступній формулі:

$$S_{1пол.} = N_1 \cdot Q_1 \cdot m_1,$$

де  $N_1$  – кількість підприємств споживачів виробу в і-му сегменті;

$Q_1$  – середня річна програма виробів в і-му сегменті, для яких буде постачатись розглянутий товар;

$m_1$  – кількість комплектуючих виробів, необхідних для виробництва одного виробу (1 шт.)

Таблиця 8. 1 – Сегментування і розрахунок повної ємності ринку

Сегменти ринку	Код сегмента	Кількість підприємств-споживачів даного товару	Середня річна програма виробів підприємств-споживачів	Повна ємність шт/рік
Підприємства споживачі України	А	5	12	30
Підприємства споживачі ближнього зарубіжжя	Б	7	20	270
Підприємства споживачі далекого зарубіжжя	В	20	40	600
Разом		32	72	900

Як видно з таблиці 8. 1, повна місткість ринку становить 900 шт. / рік. Це обґрунтовується тим, що сучасна техніка навіть побутова вдосконалюється, люди спробаються максимально полегшити собі життя за допомогою мобільних роботів в звичайному житті, в аграрній спеціалізації та у космосі.



#### 8.4 Розрахунок собівартості і ціни розробки

Собівартість продукції складається з ряду найменувань витрат. Сюди входять: розробники і їх денні оклади; трудомісткість робіт; основна заробітна плата; матеріали і покупні вироби.

Для розробки виробу необхідна участь наступних робочих, таких як: керівник, розробник, програміст, монтажник, настроювач. Тривалість робочого місяця в середньому вважається 22 дні. Склад виконавців наведено в таблиці 8. 2.

Таблиця 8. 2 - Склад виконавців роботи.

Посада	Посадові оклади, грн	
	Денні	Місячні
Керівник	545	10000
Розробник	430	9500
Програміст	430	9500
Монтажник	360	8000
Настроювач	360	8000
Разом	2125	45000

Розрахунок трудомісткості робіт для розробки МКР представлений в таблиці 8. 3.

Таблиця 8. 3 - Розрахунок трудомісткості робіт.

Вид робіт	Тривалість, дні	Трудомісткість, чол/дні	Виконавець				
			Керівник	Розробник	Програміст	Монтажник	Настроювач
Постановка задачі	1	2	+	+			
Розробка ТЗ	4	8	+	+			
Погодження та затвердження ТЗ	2	4	+	+			

Продовження таблиці 8. 3

Розробка ескізного проекту	5	10	+	+			
Комплектування (покупка і доставка необхідних деталей)	4	4				+	
Збірка і монтаж комплектації	5	10				+	
Збори продукту	8	24		+	+	+	
Створення програмного продукту	2	4			+		
Налагодження продукту	5	5					+
Перевірка відповідності продукту	2	4	+	+			
Випробування і здача продукту в експлуатацію	5	20		+	+	+	+
Разом	43	95	14	27	15	22	10

Після чого обчислимо основну заробітну плату безпосередньо виконавців розробки безпілотного літального апарату, з урахуванням трудовитрат, кількості виконавців і середньоденної заробітної плати. Для цього заробітну плату працюючих виконавців і заробітну плату за день, помножимо на кількість днів, отримаємо:

$$\text{ОЗП} = \sum Ni * \text{ЗПср} , \quad (8. 1)$$

де  $Ni$  – кількість днів, відпрацьовані  $i$ -ми виконавцями за стадіями,  
 $\text{ЗПср}$  – денні оклади  $i$ -х виконавців.

Таким чином, основна заробітна плата за місяць за формулою (8. 1) становить:

$$\text{ОЗП} = 545 \cdot 14 + 430 \cdot 27 + 430 \cdot 15 + 360 \cdot 22 + 360 \cdot 10 = 37210 \text{ грн.}$$

Таким чином, основна заробітна плата за місяць становить 37210 грн.

Зробимо розрахунок додаткової заробітної плати, яка дорівнює 15% від основної заробітної плати:

$$\text{ДЗП} = 15\% \cdot \text{ОЗП} \quad (8.2)$$

Отримаємо по формулі (8.2) ДЗП яка дорівнює:

$$\text{ДЗП} = 0,15 \cdot 37210 = 5581,5 \text{ грн.}$$

Після цього розрахуємо вартість покупки виробів і матеріалів, необхідних для виготовлення МКР. Перелік покупних виробів складається з урахуванням переліку всіх комплектуючих елементів апарату. Перелік покупних виробів і матеріалів заведено в таблицю 8.4. Ціни наведені в гривнях.

Таблиця 8.4 - Перелік покупних виробів і матеріалів.

№	Назва матеріалів	Кількість виробів, шт.	Ціна, грн.
1	Колісна платформа, 4 Омні-колеса, 4 двигуни	1	750
2	Плата Omniduo	1	600
3	ІЧ-датчик перешкоди	5	190
4	Камера	1	260
5	Акумулятор	1	300
6	Комутаційні дроти	30	10
Ціна покупних виробів			2110

Таким чином, вартість покупних виробів для мобільного колісного робота складає 2110 грн.

Для виготовлення МКР використовувалося певне обладнання, вартість якого наведено в таблицю 8.5.

Таблиця 8.5 – Вартість основних засобів

Найменування обладнання	Ціна, грн
Ноутбук	15000

Продовження табл.8.5

Робочий стіл	1000
Робочий стілець	400
Разом:	16400

Також зробимо розрахунок амортизації (Ам), яка дорівнює 25% від Сп.

$$Ам = 25\% * \frac{Сп}{N_{дней}} * Пр$$

де Сп – вартість обладнання,

Nднів – кількість робочих днів в році,

Пр – тривалість виконання роботи.

Отже, амортизація дорівнює:

$$Ам = 0,25 * \frac{16400}{264} * 43 = 667,8 \text{ грн.}$$

Після чого, складемо таблицю собівартості і ціни МКР за статтями, що наведена в таблиці 8. 8.

Таблиця 8. 6 - Собівартість і ціна лічильника за статтями.

№	Статті	Сума, грн.	Примітки
1	Основна заробітна плата (ОЗП)	37210	
2	Додаткова заробітна плата (ДЗП)	5581,5	15% від ОЗП
3	Єдиний соціальний податок	9414,13	22%*(ОЗП+ДЗП)
4	Матеріали й куплені вироби	1380	Із табл. 8. 4
5	Амортизація	667,8	25% от Сп/ Nднів* Пр
6	Поза виробничі витрати	14884	40% від ОЗП
7	Собівартість (С)	68893,13	п.1+п.2+п.3...п.6
8	Прибуток (П)	13778,63	20% від С
9	Ціна без НДС	82671,76	П + С
10	НДС	16534,35	20% від ціни без НДС
11	Ціна з НДС	99206,11	п.9 + п.10

Таким чином, ціна МКР без урахування ПДВ становить – 82671,76 грн., а з урахуванням ПДВ – 96206,11 грн.

Рентабельність продукції (норма прибутку) - це відношення загальної суми прибутку до витрат виробництва і реалізації продукції (відносна величина прибутку, що припадає на 1 грн. Поточних витрат), дорівнює:

$$P_n = \frac{Ц - С}{С} * 100 \% = \frac{99206,11 - 68893,13}{68893,13} * 100 \% = 44 \%$$

де Ц – ціна одиниці продукції;

С – собівартість одиниці продукції.

Точка беззбитковості - фінансовий показник, величина якого визначає необхідний обсяг продажів для стабільної та роботи підприємства без отримання збитків і прибутку.

По суті, точка беззбитковості є так званим критичним обсягом виробництва. При досягненні точки беззбитковості, прибуток, так само як і збитки дорівнюють нулю.

Точка беззбитковості є важливим значенням при визначенні фінансового положення компанії. Перевищення обсягів виробництва і продажів над точкою беззбитковості визначає фінансову стійкість компанії.

Показник точки беззбитковості розраховується по формулі:

$$ТБ = \frac{Ц_{бн}}{Ц - С} = \frac{82671,76}{99206,11 - 68893,13} = 23$$

Точка беззбитковості зображена на рисунку 8. 1.

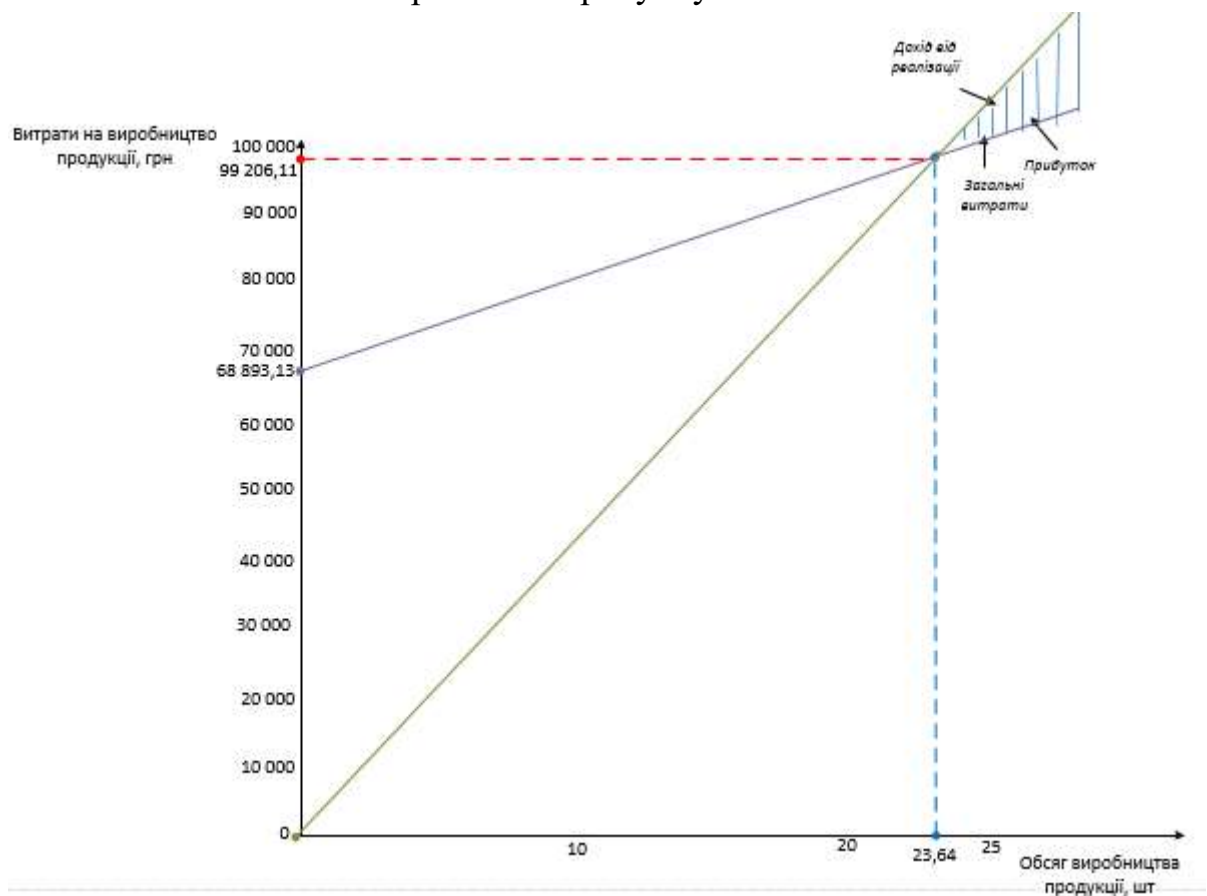


Рисунок 8. 1 – Графік точки беззбитковості

## 8.5 Висновки до розділу

В даній економічній частині була проведена сегментація ринку, розраховане трудомісткість виконаних робіт, пораховано кількість товарів і устаткування для реалізації даного проекту, а також був проведений розрахунок заробітної плати. Собівартість – 68893,13 грн., Ціна без ПДВ - 82671,76 грн., З ПДВ - 99206,11 грн., Рентабельність – 44 %, а ціна покупних виробів і матеріалів склала - 2110 грн.

Виходячи з отриманих даних, можна сказати наступне, що даний проект по розробці мобільного колісного робота, є хорошим конкурентом на ринку товарів, а саме своєю відносно невисокою ціною комплектуючого обладнання, масо-габаритними розмірами, а також точним і якісним управлінням.

## ВИСНОВКИ

В даній випускній роботі було досліджено систему управління для мобільного Omni-робота з використанням технічного зору. А також було досліджено систему оптичного визначення перешкод з використанням відеокамери в середовищі з перешкодами, яка була реалізована у вигляді програмного продукту для мобільного робота на базі контролера Omniduino.

В ході виконання роботи було розглянуто загальний стан проблеми, а саме розглянути методи визначення об'єктів/перешкод, та зробити висновок, що на сьогоднішній день одним з кращих методів визначення є оптичний. Який дозволяє за допомогою відеокамери визначати положення перешкод, визначати координати перешкоди, відстань до перешкоди. Також було проведено патентний аналіз, для оцінки технічних рівнів подібних систем, визначити недоліки деяких систем, та визначити найбільш конкурентоздатну систему.

Далі було виконано вербальний та графічний опис об'єкта автоматичного управління, в ролі якого виступає мобільний колісний omni-робот. Було розроблено графічну модель робота, побудовано та описано функціональну схему об'єкта.

Було розраховано математичну модель повздовжнього руху мобільного колісного робота з використанням omni-колес, а саме отримано кінематичні та динамічні рівняння руху, та отримано передавальну функцію руху ОУ. Далі було створено структурну схему системи управління, та отримано перехідні характеристики. Було визначено, що отримана система не являється стійкою, тому було прийнято рішення додавання до ланцюга коригувального елемента. Синтез коригувального елемента було виконано методом ЛАЧХ, після чого було виконано моделювання системи у середі Matlab/Simulink та були отримані нові перехідні характеристики, та отримано показники якості  $t_{\text{m}} = 2.15$  с;  $\sigma = 15,7\%$ ;  $\varepsilon_{\text{уст}} = 0,05$  В; які задовільнили початкові умови.

В конструкторській частині було розроблено функціональну схему контролера і відштовхуючись від певних характеристик було вибрано контролер Omniduino, та було обрані виконавчі органи (ІЧ-датчики, двигуни, відеокамера, акумулятор). Було описано алгоритми роботи мобільного робота з технічним зором, а саме алгоритм осново програми, та двох підпрограм, підпрограма визначення перешкоди з відео потоку, та підпрограма об'їзду перешкоди з використанням інфра-червоних датчиків. Також було побудовано монтажну схему систему, та принципово-електричну схему мобільного колісного робота.

В дослідницькій частині було розглянуто метод визначення перешкоди з відео потоку, та виконано перевірку роботи програми на реальному об'єкті з

використанням веб камери, так було графічно розглянуто метод розрахунку відстані від камер до об'єкта. Також було розглянуто другий етап руху мобільного робота – це об'їзд визначеної перешкоди з використанням ІЧ-датчиків перешкоди. Було визначено алгоритм об'їзду по показникам отриманих з датчиків.

Далі було виконано експериментально-практичну частину, в якій було показано роботу програмного забезпечення для мобільного отпі-робота. Було розроблено систему управління колісного робота з отпі-колесами яка здійснює свою роботу згідно поставленим задачам, тільки при однотонному задньому фоні, та якщо перешкоди відрізняються за кольором від фону. Були отримані екранні форми з результатами роботи програми виділення контурів перешкод. Також було описано управляючі ШІМ сигнали які надає контролер двигунам для виконання різноманітних маневрів при об'їзді перешкод.

В економічній частині було проведено сегментацію ринку, розраховано трудомісткість виконаних робіт, пораховано кількість товарів і устаткування для реалізації даного проекту, а також був проведений розрахунок заробітної плати. Собівартість – 68893,13 грн., Ціна без ПДВ - 82671,76 грн., З ПДВ - 99206,11 грн., Рентабельність – 44 %, а ціна покупних виробів і матеріалів склала - 2110 грн. Виходячи з отриманих даних, було визначено, що даний проект по розробці мобільного колісного робота, є хорошим конкурентом на ринку товарів, а саме своєю відносно невисокою ціною комплектуючого обладнання, масо-габаритними розмірами, а також точним і якісним управлінням.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. . Шапиро, Л. Компьютерное зрение / Л. Шапиро, Дж. Стокман. — Пер. с англ. — М.: Бинوم. Лаборатория знаний, Москва, 2006. — 752 с.
2. Корендясев, А.И. Теоретические основы робототехники / А.И. Корендясев, Б.Л. Саламандра, Л.И. Тывес.; отв. ред. С.М. Калупов; Ин-т машиноведения им. А.А. Благонравова РАН. — М.: Наука, Москва, 2006. — 376 с.
3. Динамика управляемого движения мобильных колесных роботов по сигналу оптронной матрицы / В.В. Бартенев, С.Ф. Яцун // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, т. 11, №5(2) –2009. – С. 254 – 259.
4. Кулік А.С., Пасічник С.Н. - Журнал лекцій з теорія систем автоматичного управління, Харків, - «ХАИ». с. 56.
5. Globally stable integrated kinematic and dynamic control for trajectory tracking of a mobile robot provided with caster wheel/Ayman A/ El-Badawy, Amr Y/ Mowafy//Journal of Al Azhar University Engineering Sector. Vol/ 7, No. 24,July 2012, p. 1531-1544.
6. Dynamic Modelling of Differential-Drive Mobile Robots using Lagrange and Newton-Euler Methodologies: A Unified Framework/ Rached Dhaouadi, Ahmad Abu Hatab//Adv Robot Autom.–2013.–p.7.
7. Mobile robot dynamics with friction in Simulink/J. Cerkala, A. Jadlovska//Department of Cybernetics and Intelligence, Technical University of Kosice, Slovak Republic.–p.10.
8. Михайлов Б.Б. Автономные мобильные роботы – Навигация и управление / Б.Б. Михайлов // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2016. - № 2. с. 120.
9. Михайлов В. С. Теорія управління. Київ, Видавництво "Вища школа" Головне видавництво, 2000.
- 10 Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР - Анализ кинематики и динамики мобильной платформы на всенаправленных колёсах//Издательство: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, г. Томск – 2018 – 138 с.
- 11 Математическая модель движения мобильного робота с двумя независимыми ведущими колесами по горизонтальной плоскости/ В.В. Бартенев, С.Ф. Яцун, А.С. Аль\_Еззи // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, т. 13, №4 –2011. – с. 288 – 293.
- 12 Динамика управляемого движения мобильных колесных роботов по сигналу оптронной матрицы / В.В. Бартенев, С.Ф. Яцун // Известия

Самарского научного центра Российской академии наук, т. 11, №5(2) –2009. – С. 254 – 259.

13 Гордін О.Г., Дергачов К.Ю., Джулгаков В.Г., Дибська І.Ю., Завгородній А.Ю., Зимовін А.Я., Кулік А.С., Пасічник С.М., Симонов В.Ф., Субота А.М., Фірсов С.М., Чухрай А.Г. – Збірник задач із систем автоматичного управління// Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського "Харк. авіац. ін-т", м. Харків – 2009 р., - 206 с.

14 Винокуров В.С., Матул Г.А.- ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОГРАММИРУЕМОГО ЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЛЕРА// Журнал: Международный студенческий научный вестник. – 2016. – № 3 (часть 2).

15 Д.Ю. Бровкина, Т.А. Приходько -«РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОБХОДА ПРЕПЯТСТВИЙ ДЛЯ МОБИЛЬНОГО УПРАВЛЯЕМОГО РОБОТА»// Донецкий национальный технический университет, Украина – 2013 р.

ДОДАТОК А

Таблиця 1.1 – Патентний пошук

№	№ патента, автори	Країна	Назва патента	Ціль виробу	Спосіб досягнення цілі	Технічний результат	Недоліки
1	UA 104113 U Рижков Ростислав Сергійович, Тростінський Михайло Миколайович, Герасіна Олександр Сергійович, Кондратенко Юрій Пантелійович, Топалов Андрій Миколайович, Кушнір Володимир Олександрович	Україна	Мобільний робот для переміщення по довільно орієнтованій в робочому просторі поверхні	Мобільний робот здатний переміщатися по довільно орієнтованим в робочому просторі поверхонь, і може бути використана для виконання різних технологічних операцій (в залежності від додаткового обладнання) на важкодоступних і вертикальних і похилих поверхнях різного типу.	Позитивний ефект проявляється в тому, що в порівнянні з мобільним роботом-прототипом, згідно патенту США, US 5194032 А, до складу запропонованого мобільного робота введені додаткові елементи і елементи з відповідними конструктивними модифікаціями. Саме запропоновані нові внесення в конструкцію дозволяють підвищити надійність, прохідність 25 мобільного робота в результаті створення більшої притискної сили вакуумним загарбним пристроєм.	Мобільний робот переміщається автоматично по довільно орієнтованій в робочому просторі поверхні 11 в заданому програмою напрямі. Зміна напрямку руху мобільного робота 15 здійснюється за рахунок повороту (від 0 ° до 360 °) веденого колеса 2, що повертається за допомогою черв'ячного редуктора 8, який в свою чергу приводиться в рух електродвигуном 9. Швидкість і напрямок руху мобільного робота можуть контролюватися людиною-оператором або спеціалізованої комп'ютерної	Обмеженість областей застосування і низька надійність мобільного робота при переміщенні по довільно орієнтованим в просторі шорстким поверхонь через низьку притискную силу, що обумовлено неможливістю отримання великій швидкості обертання крильчатки з великою кількістю лопатей
2	UA 98660 U Кулик Анатолій Степанович	Україна	Система управління колісним транспортним роботом	В основу винаходу поставлена задача створення засобів для планування траєкторії руху і обходу перешкод	Поставлена задача вирішується тим, що в відомий мобільний робот, який містить платформу, три колеса, два колісні вали зі змонтованими на них колесами,	Запропонована система дозволяє планувати траєкторію руху і обходу перешкод	Недоліками цього засобу є те, що даний робот має обмежену маневреність

№	№ патента, автори	Країна	Назва патента	Ціль виробу	Спосіб досягнення цілі	Технічний результат	Недоліки
	Дергачов Костянтин Юрійович, Басова Анна Євгенівна, Євтухов Богдан Миколайович			.	два електродвигуна, датчик кута повороту першого колеса, датчик швидкості обертання першого колеса, датчики кута повороту другого колеса і датчик швидкості обертання другого колеса, виходи датчиків першого і 30 другого колес з'єднані з входами контролерів управління електродвигунами першого і другого колеса		
3	WO2017107434 ШЭНЬ Сюефен (CN) ЧЭ Сянхуей (CN) ЖЕНЬ Цян (CN) ЦАО Гуанцзе (CN)	Китай	Спосіб визначення просторових положення транспортного засобу на базі gnss-ins з використанням одиночної антени	Винахід відноситься до області автоматизації сільськогосподарських машин, зокрема відноситься до способу визначення	антени GNSS в центрі мас і в центрі транспортного засоби і установку вимірювального блоку інерціальної системи IMU датчика на основі MEMS	отже, точність визначення просторового положення може бути збільшена у кілька разів.	Однак даний спосіб має такими недоліками як висока вартість, затримка прийому антени, слабкі технічні характеристики в режимі реального.

№	№ патента, автор	Країна	Назва патента	Ціль виробу	Спосіб досягнення цілі	Технічний результат	Недоліки
	ДУН Гуаньян (CN) ТУ Жуй (CN)			просторового положення транспортного засобу на базі GNSS-INS (глобальної навігаційної супутникової	на валу рульового механізму транспортного засобу; отримання даних стан і швидкості транспортного засобу за допомогою антени GNSS, отримання даних	Датчик IMU використовують в способі визначення просторового положення сьогodenні винахід	часу і складність установки
4	RU0000178222  Глебов Володимир Володимирович (RU) Єгоркін Олег Васильович (RU) Старов Дмитро Андрійович (RU)	Росія	Мобільний робот	Завданням корисної моделі є орієнтація мобільного робота в умовах цеху промислового підприємства і запобігання його зіткнень з виникаючими перешкодами.	В пам'яті закладена геометрична карта-план ділянок цеху, що містить номери всіх ділянок, доступних для робота, їх геометричні розміри, а саме довжину і ширину, геометричні параметри. Завдання підвищення показників прохідності малогабаритного мобільного робота вирішується за рахунок того, що колеса мають каплевидну форму з рівномірним зіркоподібним	Технічний результат, що полягає в підвищенні автономності роботи мобільного робота	Недоліком цього варіанту є те, що конструктивні особливості мобільного робота не дозволяють йому розвертатися на місці і здійснювати рух в довільному напрямку без його попередньої орієнтації, що обмежує його маневреність в цілому.

№	№ патента, автор	Країна	Назва патента	Ціль виробу	Спосіб досягнення цілі	Технічний результат	Недоліки
5	RU0000168450 Демидов Дмитро Андрійович (RU) Лопота Олександр Віталійович (RU) Прядко Олексій Іванович (RU) Рачицька Андрій Валерійович (RU) Рогов Олександр Володимирович (RU) Ушаков Федір Геннадійович (RU) Шмаков Олег Олександрович (RU)	Росія	Мобільний малогабаритний робот	Завданнями, на розв'язання яких спрямована заявляється корисна модель, є поліпшення експлуатаційних якостей, підвищення мобільності та прохідності малогабаритного мобільного робота, а також підвищення надійності функціонування робота, його економічності і технологічності	вихідні вали електромеханічних приводів обертання коліс встановлені співвісно на кінцях корпусу, уздовж його поздовжньої осі, а колеса встановлюються безпосередньо на вали приводів.	Таким чином, вирішенням завдань поставлених завдань досягаються наступні технічні результати: забезпечується подолання порогових перешкод з характерними розмірами більше половини радіусу колеса, збільшується дальність радіозв'язку, розширюється зона відеоспостереження; підвищується мобільність, надійність і час автономної роботи робота, реалізується супервизорного режим управління	Антени робота мають малу висоту, що призводить до відносно малої дальності стійкого радіозв'язку управління і передачі відеоінформації.
6	02210492 SONG Dzhong-gon (KR) СОНГ Джонг-гон (KR) LI Sang-jong (KR) ЛИ Санг-йонг	Корея	МОБІЛЬНИЙ РОБОТ І СПОСІБ КОРИГУВАННЯ ЙОГО КУРСУ	Винахід відноситься до мобільного робота, який автоматично переміщається по приміщенню, і, зокрема, до	Спосіб включає зйомку базового знака першої оглядової телекамерою пристрою визначення місця розташування, формування відеоданих базового знака	Пропонований робот 1 може отримувати інформацію про форму перешкоди за допомогою лазера і телекамери, він може визначити, об'їхати	

№	№ патента, автор	Країна	Назва патента	Ціль виробу	Спосіб досягнення цілі	Технічний результат	Недоліки
	MUN Sjung-bin МУН Сьунг-бин (KR) LI Keng-mu ЛИ Кёнг-му (KR)			оглядову телекамеру для визначення свого місця розташування і для запобігання зіткнення з перешкодами в приміщенні. Цей винахід також відноситься до способу коригування курсу мобільного робота.	першій відео-платою, визначення відповідності координат базового знака, отриманих в результаті обробки даних керуючої частиною, координатам заданого маршруту переміщення і управління переміщує пристроєм мобільного робота так, щоб він переміщався в деякому напрямку на відповідну відстань для того, щоб компенсувати будь-яке відхилення від заданого маршруту	перешкоду або нього в залежності від характеру перешкоди. Крім того, запропонований робот 1 визначає своє місце розташування за допомогою телекамери 21, визначає, чи зберегти йому поточний маршрут переміщення, і коригує орієнтацію, якщо він виявляє відхилення від бажаного напрямку. переїхати через	
7	WO2015699193 A1 Суспільство з обмеженою відповідальністю "Дісікон" І. С. Шішулов А.В. Клімонов О.А. Громазін В.В. Пархачева	Росія	Спосіб визначення відстані до об'єкта за допомогою камери	Винахід відноситься до систем і способів вимірювання відстані до віддалених об'єктів за допомогою камери.	Згідно з першим варіантом, спосіб визначення відстані за допомогою камери, включає наступні кроки: отримують, по крайній мере, один відеокادر і калібрувальні характеристики камери, далі виділяють і вводять розміри, по крайній мере, одного об'єкта, відстань до якого необхідно виміряти, потім визначають відстань до, принаймні, одного виділеного об'єкта на підставі калібрувальних	На шляху руху ТЗ розміщують відеокамеру, при появі ТЗ в зоні контролю фіксують відеокادر із зображенням пластини з державним реєстраційним знаком (ГРЗ) на ТЗ. Проводять розпізнавання символів ГРЗ, за якими визначають тип пластини ГРЗ. Вимірюють координати точок (вершин) кутів зображення пластини ГРЗ в системі координат відеокадра, визначають	Недоліком даного технічного рішення є необхідність точної прив'язки камери до її розташування і отримуються з неї зображення, а так само попереднього вимірювання параметрів взаємного розташування відеокамери і її зони контролю в площині дороги: висоту підвісу камери над дорогою, відстань від точки проекції відеокамери на



№	№ патента, автор	Країна	Назва патента	Ціль виробу	Спосіб досягнення цілі	Технічний результат	Недоліки
					<p>характеристик камери. Згідно з другим варіантом, спосіб визначення відстані за допомогою камери, включає наступні кроки: отримують, по крайній мере, два відеокadra з затримкою і калібрувальні характеристики камери, виділяють, принаймні, один об'єкт, відстань до якого необхідно виміряти і формують його модель, потім визначають відстань до об'єкта, на підставі моделі об'єкта і орієнтації камери.</p>	<p>геометричні розміри зображення пластини ГРЗ на відеокадрі в пікселях. У заявленій групі винаходів вимірюється відстань до певної точки ТС, а саме до центру пластини ГРЗ, незалежно від висоти установки відеокамери над автодорогою. Крім того, забезпечується визначення висоти підвісу пластини ГРЗ над дорогою. Застосування групи винаходів дозволяє підвищити ймовірність ідентифікації ТЗ при виявленні порушення швидкісного режиму</p>	<p>дорогу до початку зони контролю і т.д., що важко піддається реалізації при великій віддаленості об'єктів.</p>
8	<p>RU2268497C2 Закрите акціонерне товариство "ЕЛВІС" І.А.Кан К.В.Лунін А.С.Малістов Я.Я.Петрічковіч А.А.Солохін В.П.Соміков А.В.Хамухін</p>	Росія	<p>Система і спосіб автоматизованого відеоспостереження і розпізнавання об'єктів і ситуацій</p>	<p>Група винаходів відноситься до області сигналізації.</p>	<p>Система відеоспостереження містить відеокамеру, обчислювальний пристрій з пам'яттю, пристрій розпізнавання цілі, рухливу відеокамеру, базу даних з задалегідь записаними в неї описами тривожних ситуацій, реалізовану на обчислювальному пристрої з пам'яттю, і</p>	<p>Винаходи відносяться до області відеоспостереження і розпізнавання об'єктів і більш точно стосується системи і способу автоматизованого відеоспостереження і розпізнавання об'єктів і ситуацій.</p>	<p>Недолік зазначеної системи полягає в складності технічної реалізації системи.</p>

№	№ патента, автор	Країна	Назва патента	Ціль виробу	Спосіб досягнення цілі	Технічний результат	Недоліки
					термінал спостереження. Рухома відеокамера виконана з можливістю наведення на ціль в залежності від одержуваного від пристрою розпізнавання цілі керуючого сигналу. База даних виконана з можливістю доступу до неї з рухомою відеокамери.		

## ДОДАТОК Б

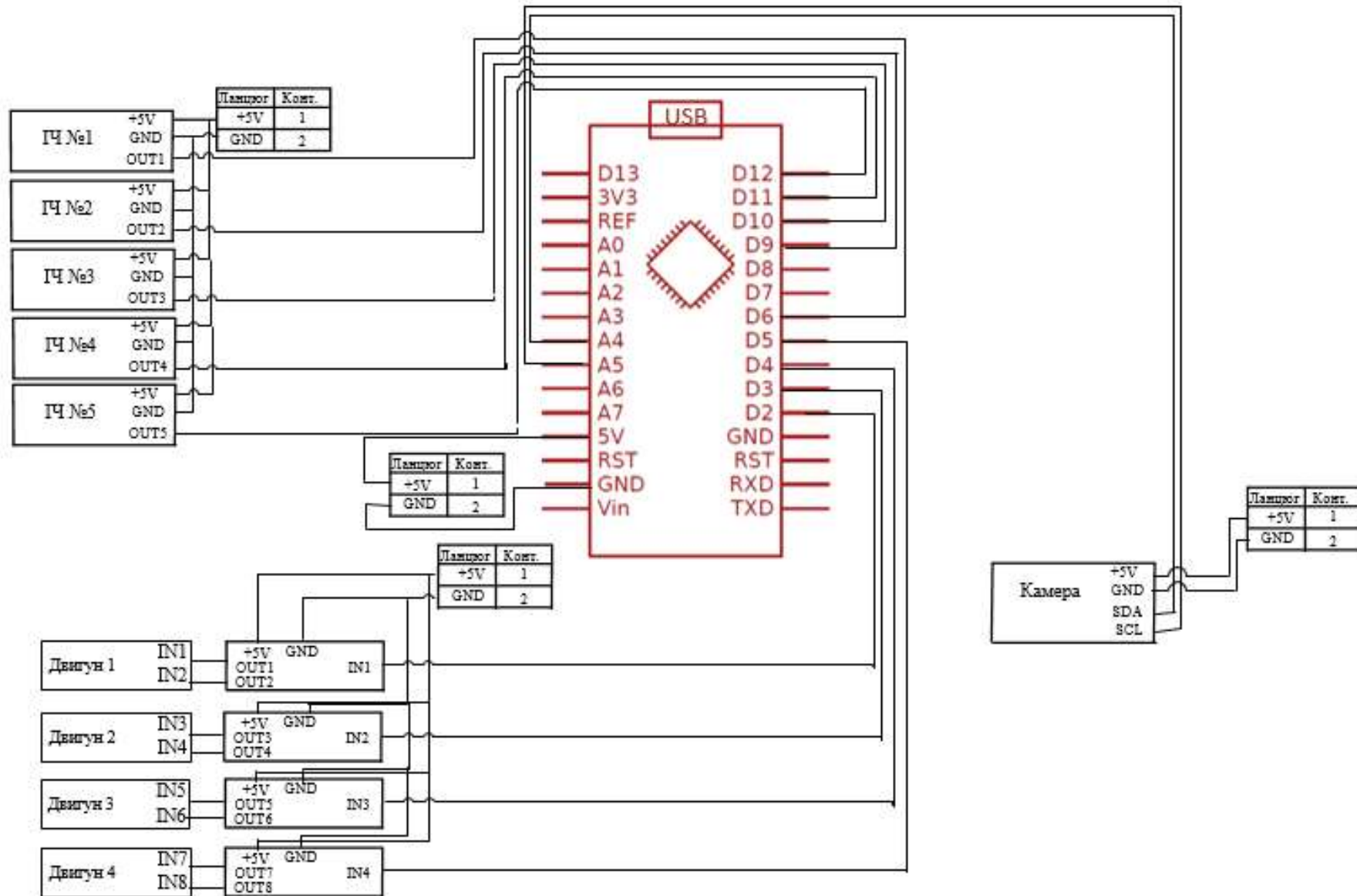


Рисунок 5.9 – Принципово-електрична схема обчислювального приладу та виконавчих органів

## ДОДАТОК В

```

#include <Arduino.h>
#include <Adafruit_PWMServoDriver.h>
#include <Adafruit_NeoPixel.h>
#include "Wire.h"
Adafruit_PWMServoDriver pwm = Adafruit_PWMServoDriver(0x40);
#endif
#define ENABLE_DEBUG1

#define BUZZER 10 //Define buzzer pins
#define KEY_PIN 8 //Define button pins
#define INTERRUPT_PIN 2 //Define MPU6050 pins
#define LED_PIN 5 //Define status indicator pins
#define RGB_PIN 9 //Define RGB pins
#define MAX_LED 4 //Car with 4 RGB lights

#define IR_SENSOR_L1 A3
#define IR_SENSOR_L2 A0
#define IR_SENSOR_R1 A2
#define IR_SENSOR_R2 A1
#define IR_SENSOR_MID A7

#define BUZZER 10 //Define buzzer pins
#define KEY_PIN 8 //Define K1 button pins
#define RGB_PIN 9 //Define RGB pins
#define MAX_LED 4 //Car with 4 RGB lights
/* Tone */
#define G5 392
#define A6 440
#define B7 494
#define c1 525
#define d2 587
#define e3 659
#define f4 698
#define g5 784
#define a6 880
#define b7 988
#define C1 1047
#define D2 1175
#define E3 1319
#define F4 1397
#define GG5 1568
#define AA6 1769
#define g4 392
#define c5 523
#define a4 440
#define d5 587
#define e5 659
#define b4 494
#define c6 1047
#define d6 1175
#define b5 988
#define a5 880
#define g5 784
#define e6 1319
#define f6 1397
#define a5 880
#define f5 698
Adafruit_NeoPixel strip = Adafruit_NeoPixel(MAX_LED, RGB_PIN, NEO_RGB + NEO_KHZ800);
int CarSpeedControl = 60;

bool button_press = false;

```

```

int ir_L1; //left front
int ir_L2; //left rear
int ir_R1; //right front
int ir_R2; //right rear
int ir_Mid; //Middle front

int dig_ir_l1; //left front
int dig_ir_l2; //left rear
int dig_ir_r1; //right front
int dig_ir_r2; //right rear

//MPU6050、pca9685、RGB
MPU6050 mpu = MPU6050(0x68);
Adafruit_PWMServoDriver pwm = Adafruit_PWMServoDriver(0x40);
Adafruit_NeoPixel strip = Adafruit_NeoPixel(MAX_LED, RGB_PIN, NEO_RGB + NEO_KHZ800);

// MPU control/status vars
bool dmpReady = false; // set true if DMP init was successful
uint8_t mpuIntStatus; // holds actual interrupt status byte from MPU
uint8_t devStatus; // return status after each device operation (0 = success, !0 = error)
uint16_t packetSize; // expected DMP packet size (default is 42 bytes)
uint16_t fifoCount; // count of all bytes currently in FIFO
uint8_t fifoBuffer[64]; // FIFO storage buffer

// orientation/motion vars
Quaternion q; // [w, x, y, z] quaternion container
VectorInt16 aa; // [x, y, z] accel sensor measurements
VectorInt16 gy; // [x, y, z] gyro sensor measurements
VectorInt16 aaReal; // [x, y, z] gravity-free accel sensor measurements
VectorInt16 aaWorld; // [x, y, z] world-frame accel sensor measurements
VectorFloat gravity; // [x, y, z] gravity vector
float euler[3]; // [psi, theta, phi] Euler angle container
float ypr[3]; // [yaw, pitch, roll] yaw/pitch/roll container and gravity vector

volatile bool mpuInterrupt = false; // indicates whether MPU interrupt pin has gone high
void dmpDataReady()
{
    mpuInterrupt = true;
}

const char wheel[4][2] = {{10, 11}, {13, 12}, {15, 14}, {8, 9}};
int CarSpeedControl = 40;
int Rocker_X = 128;
int Rocker_Y = 128;
int spin = 0;

int carDir = 0; //Car self-stabilizing adjustment flag, 0 is adjustment (stop), 1 is non-adjustment (remote control)

unsigned long oldTime = 0;
unsigned long nowTime = 0;

//button state
bool button_press = false;

void run(int Speed)
{
    Speed = map(Speed, 0, 160, 0, 2560);
    pwm.setPWM(10, 0, Speed); //Right front wheel Forward
    pwm.setPWM(11, 0, 0);
    pwm.setPWM(8, 0, Speed); //Right rear wheel Forward
    pwm.setPWM(9, 0, 0);

    pwm.setPWM(13, 0, Speed); //Left front wheel Forward

```

```

    pwm.setPWM(12, 0, 0);
    pwm.setPWM(15, 0, Speed); //Left rear wheel Forward
    pwm.setPWM(14, 0, 0);
}

typedef struct
{
    float SetPoint; // Set target Desired value
    float Proportion; // Proportional Const
    float Integral; // Integral Const
    float Derivative; // Derivative Const
    float LastError; // Error[-1]
    float PrevError; // Error[-2]
    float SumError; // Sums of Errors
} PID;

PID alpha_PID = {0, 5, 0, 0.1, 0, 0, 0};
PID omega_PID = {0, 0.4, 0, 0.1, 0, 0, 0};
PID PID_MID = {60, 0.5, 0, 0, 0, 0, 0};
PID PID_IR = {40, 1.2, 0, 0, 0, 0, 0};
float PIDCal_IR(PID pid, float nowValue);
float PIDCal_Stabilize(PID pid, float nowValue);
float alpha_Work = 0;
float omega_Work = 0;

/*Serial data setting*/
int IncomingByte = 0; //Received data byte
int Receive_Length = 0; //Length of data
String InputString = ""; //Used to store received content
boolean NewLineReceived = false; //Previous data end mark
boolean StartBit = false; //Agreement start sign

/*Car mode select*/
int g_modeSelect = 0; //0-default state; 1-Surround mode 2-Avoid mode 3-Pan mode

/* RGBlight effect */
int RGB_Effect = 0; //1-breathing light, 2-marquee, 3-water light, 4-colorful light, 5-close light

/*Buzzer related parameters*/
int buzzer_state = 0; //Buzzer status
int buzzer_music = 0; //select song
int music_index = 0; //Music progress
const unsigned char music_max[5] = {42, 39, 36, 70, 21}; //Maximum length of all songs

enum enMusic
{
    enLittleStar = 1,
    enBingo,
    enMerryChristmas,
    enOdeToJoy,
    enBirthday
};
void brake()
{
    pwm.setPWM(8, 0, 0);
    pwm.setPWM(9, 0, 0);
    pwm.setPWM(11, 0, 0);
    pwm.setPWM(10, 0, 0);

    pwm.setPWM(12, 0, 0);
    pwm.setPWM(13, 0, 0);
    pwm.setPWM(14, 0, 0);
    pwm.setPWM(15, 0, 0);
}

```



```

}

void back(int Speed)
{
  Speed = map(Speed, 0, 160, 0, 2560);
  pwm.setPWM(10, 0, 0);
  pwm.setPWM(11, 0, Speed); //Right front wheel Reverse
  pwm.setPWM(8, 0, 0);
  pwm.setPWM(9, 0, Speed); //Right rear wheel Reverse

  pwm.setPWM(13, 0, 0);
  pwm.setPWM(12, 0, Speed); //Left front wheel Reverse
  pwm.setPWM(15, 0, 0);
  pwm.setPWM(14, 0, Speed); //Left rear wheel Reverse
}

void left(int Speed)
{
  Speed = map(Speed, 0, 160, 0, 2560);
  pwm.setPWM(10, 0, Speed); //Right front wheel(B type) Forward
  pwm.setPWM(11, 0, 0);
  pwm.setPWM(8, 0, 0);
  pwm.setPWM(9, 0, Speed); //Right rear wheel(A type) Reverse

  pwm.setPWM(13, 0, 0);
  pwm.setPWM(12, 0, Speed); //Left front wheel (A type) Reverse
  pwm.setPWM(15, 0, Speed); //Left rear wheel(B type) Forward
  pwm.setPWM(14, 0, 0);
}

void right(int Speed)
{
  Speed = map(Speed, 0, 160, 0, 2560);
  pwm.setPWM(10, 0, 0);
  pwm.setPWM(11, 0, Speed); //Right front wheel(B type) Reverse
  pwm.setPWM(8, 0, Speed); //Right rear wheel(A type) Forward
  pwm.setPWM(9, 0, 0);

  pwm.setPWM(13, 0, Speed); //Left front wheel(A type) Forward
  pwm.setPWM(12, 0, 0);
  pwm.setPWM(15, 0, 0);
  pwm.setPWM(14, 0, Speed); //Left rear wheel(B type) Reverse
}

void spin_left(int Speed)
{
  Speed = map(Speed, 0, 160, 0, 2560);
  pwm.setPWM(10, 0, Speed); //Right front wheel Forward
  pwm.setPWM(11, 0, 0);
  pwm.setPWM(8, 0, Speed); //Right rear wheel Forward
  pwm.setPWM(9, 0, 0);

  pwm.setPWM(13, 0, 0);
  pwm.setPWM(12, 0, Speed); //Left front wheel Reserve
  pwm.setPWM(15, 0, 0);
  pwm.setPWM(14, 0, Speed); //Left rear wheel Reserve
}

void spin_right(int Speed)
{
  Speed = map(Speed, 0, 160, 0, 2560);

```

```

pwm.setPWM(10, 0, 0);
pwm.setPWM(11, 0, Speed); //Right front wheel Reserve
pwm.setPWM(8, 0, 0);
pwm.setPWM(9, 0, Speed); //Right rear wheel Reserve

pwm.setPWM(13, 0, Speed); //Left front wheel Forward
pwm.setPWM(12, 0, 0);
pwm.setPWM(15, 0, Speed); //Left rear wheel Forward
pwm.setPWM(14, 0, 0);
}

void clearRGB()
{
  uint32_t color = strip.Color(0, 0, 0);
  for (uint8_t i = 0; i < MAX_LED; i++)
  {
    strip.setPixelColor(i, color);
  }
  strip.show();
}

void showRGB(int num, int R, int G, int B)
{
  uint32_t color = strip.Color(G, R, B);
  if (num > MAX_LED - 1) //All RGB be illuminated
  {
    for (int i = 0; i < MAX_LED; i++)
    {
      strip.setPixelColor(i, color);
    }
  }
  else //Lighting a RGB separately
  {
    strip.setPixelColor(num, color);
  }
  strip.show();
}

void keyscan()
{
  int val;
  val = digitalRead(KEY_PIN); //Read the digital 8-port level value assigned to val
  if (val == LOW) //When the button is pressed
  {
    delay(10); //Delayed debounce
    val = digitalRead(KEY_PIN); //Read button status again
    while (val == LOW)
    {
      val = digitalRead(KEY_PIN); //Third read button status
      if (val == HIGH) //Determine if the button is released, release it to execute
      {
        button_press = !button_press;
        whistle();
        return;
      }
    }
  }
}

void whistle()
{
  for (int i = 0; i < 100; i++)

```

```

{
  digitalWrite(BUZZER, HIGH); //sound
  delay(3);
  digitalWrite(BUZZER, LOW); //no sound
  delay(1);
}
}
}
void ir_rgb()
{
  //Read IR sensor if detect obstacle
  dig_ir_l1 = digitalRead(IR_SENSOR_L1);
  dig_ir_l2 = digitalRead(IR_SENSOR_L2);
  dig_ir_r1 = digitalRead(IR_SENSOR_R1);
  dig_ir_r2 = digitalRead(IR_SENSOR_R2);

  if (dig_ir_l1 == LOW)
    showRGB(3, 255, 0, 0);
  else
    showRGB(3, 0, 0, 0);

  if (dig_ir_l2 == LOW)
    showRGB(0, 255, 0, 0);
  else
    showRGB(0, 0, 0, 0);

  if (dig_ir_r1 == LOW)
    showRGB(2, 255, 0, 0);
  else
    showRGB(2, 0, 0, 0);

  if (dig_ir_r2 == LOW)
    showRGB(1, 255, 0, 0);
  else
    showRGB(1, 0, 0, 0);
}

void obstacle()
{
  //Read IR sensor data
  dig_ir_l1 = digitalRead(IR_SENSOR_L1);
  dig_ir_l2 = digitalRead(IR_SENSOR_L2);
  dig_ir_r1 = digitalRead(IR_SENSOR_R1);
  dig_ir_r2 = digitalRead(IR_SENSOR_R2);
  ir_Mid = analogRead(IR_SENSOR_MID) / 10;
  ir_L1 = analogRead(IR_SENSOR_L1) / 10;
  ir_L2 = analogRead(IR_SENSOR_L2) / 10;
  ir_R1 = analogRead(IR_SENSOR_R1) / 10;
  ir_R2 = analogRead(IR_SENSOR_R2) / 10;

  //According to the situation detected by the sensor, the corresponding obstacle avoidance movement is made.
  if (ir_Mid < 80 && ir_L1 < 30 && ir_R1 < 30 && ir_R2 < 30)
  {
    turn_direction(-1);
  }
  else if (ir_Mid < 80 && ir_L1 < 30 && ir_R1 < 30 && ir_L2 < 30)
  {
    turn_direction(1);
  }
  else if (ir_Mid < 80 && ir_L1 < 40 && ir_R1 < 40)
  {
    back(CarSpeedControl);
    delay(100);
    turn_direction(2);
  }
}

```

```

}
else if (ir_L1 < 40 && ir_R1 < 40)
{
    run(CarSpeedControl);
    delay(100);
}
else if (ir_L1 < 40 && ir_L2 < 40)
{
    right(CarSpeedControl);
}
else if (ir_Mid < 80 && ir_L1 < 40 && ir_L2 < 40)
{
    right(CarSpeedControl);
}
else if (ir_R1 < 40 && ir_R2 < 40)
{
    left(CarSpeedControl);
}
else if (ir_Mid < 80 && ir_R1 < 40 && ir_R2 < 40)
{
    left(CarSpeedControl);
}
else if (ir_Mid < 80 && dig_ir_l1 == LOW && dig_ir_r1 == HIGH)
{
    spin_right(CarSpeedControl);
}
else if (ir_Mid < 80 && dig_ir_l1 == HIGH && dig_ir_r1 == LOW)
{
    spin_left(CarSpeedControl);
}
else if (dig_ir_l1 == HIGH && dig_ir_r1 == LOW)
{
    spin_left(CarSpeedControl);
}
else if (dig_ir_l1 == LOW && dig_ir_r1 == HIGH)
{
    spin_right(CarSpeedControl);
}
else if (ir_Mid < 90)
{
    back(CarSpeedControl);
    delay(100);
    turn_direction(2);
}
else //In other cases, the car keeps going straight.
{
    run(CarSpeedControl);
}
}

void turn_direction(int degree)
{
    switch (degree)
    {
        case 1:
            spin_right(65);
            delay(200);
            brake();
            delay(1);
            break;
        case 2:
            spin_right(65);
            delay(380);
    }
}

```

```

        brake();
        delay(1);
        break;
    case -1:
        spin_left(65);
        delay(200);
        brake();
        delay(1);
        break;
    case -2:
        spin_left(65);
        delay(380);
        brake();
        delay(1);
        break;

    default:
        break;
}
}

void setup()
{
    pinMode(KEY_PIN, INPUT_PULLUP);
    pinMode(BUZZER, OUTPUT);
    pinMode(IR_SENSOR_L1, INPUT);
    pinMode(IR_SENSOR_L2, INPUT);
    pinMode(IR_SENSOR_R1, INPUT);
    pinMode(IR_SENSOR_R2, INPUT);
    pinMode(IR_SENSOR_MID, INPUT);

    //Enable I2C communication
    Wire.begin();

    strip.begin();
    strip.show();
    clearRGB();
    pwm.begin();
    pwm.setPWMFreq(60); // Analog servos run at ~60 Hz updates
    brake();
}

void loop()
{
    keyscan();
    if (button_press)
    {
        ir_rgb();
        obstacle(); // start avoid mode
    }
    else
    {
        brake();
        clearRGB();
    }
}
}

```