

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНИХ НАУК**

# **КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА**

**на тему:**

**«ПРОГРАМНО-АПАРАТНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ  
АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ РОБОТИ  
СКЛАДУ ІНТЕРНЕТ-МАГАЗИНУ»**

**Завідувач  
випускаючої кафедри**

**Довбиш А.С.**

**Керівник роботи**

**Шелехов І.В.**

**Студент групи ІН.мз-91С**

**Давиденко В.О.**

**Суми 2020**

Сумський державний університет  
(назва вузу)

Факультет ЦЗДВН Кафедра Комп'ютерних наук  
Спеціальність 122 «Комп'ютерні науки»

Затверджую:  
зав. кафедри \_\_\_\_\_

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТОВІ

Давиденку Володимиру Олександровичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Програмно-апаратне забезпечення автоматизованої системи роботи складу інтернет-магазину

затверджую наказом по інституту від “ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р. № \_\_\_\_\_

2. Термін здачі студентом закінченого проекту (роботи) \_\_\_\_\_

3. Вхідні данні до проекту (роботи) \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити)  
1) Техніко-економічне обґрунтування доцільності впровадження системи автоматизації.  
2) Аналіз вимог до функціональних можливостей системи роботи складу інтернет-магазину. 3) Розробка схем автоматизації 4) Розробка мікропроцесорного блока управління транспортним засобом та вибір технічних засобів 5) Розробка силового драйвера для автоматичного транспортного засобу 6) Розробка програмного забезпечення

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

6. Консультанти до проекту (роботи), із значенням розділів проекту, що стосується їх

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

Керівник

\_\_\_\_\_ (підпис)

Завдання прийняв до виконання

\_\_\_\_\_ (підпис)

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання проекту (роботи)	Примітка
1	<i>Техніко-економічне обґрунтування доцільності впровадження системи автоматизації.</i>		
2	<i>Аналіз вимог до функціональних можливостей системи роботи складу інтернет-магазину.</i>		
3	<i>Розробка схем автоматизації</i>		
4	<i>Розробка мікропроцесорного блока управління транспортним засобом та вибір технічних засобів</i>		
5	<i>Розробка силового драйвера для автоматичного транспортного засобу</i>		
6	<i>Розробка програмного забезпечення</i>		
7	<i>Оформлення кваліфікаційної магістерської роботи</i>		

Студент – дипломник \_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник проекту \_\_\_\_\_  
(підпис)

## РЕФЕРАТ

**Записка:** 52 стор., 40 рис., 6 табл., 1 додаток, 14 джерел.

**Об'єкт дослідження** — процес інформаційного аналізу і синтезу автоматизованої системи роботи складу інтернет-магазину.

**Мета роботи** — розробка інформаційного, алгоритмічного, програмного та апаратного забезпечення автоматизованої системи роботи складу інтернет-магазину.

**Методи дослідження** — методи проектування автоматизованих систем, теорія масового обслуговування.

**Результати** — У роботі проведено дослідження комп'ютерно-інтегрованої автоматизованої системи роботи складу інтернет-магазину із використанням автоматичних транспортних засобів, розробки систем управління ними, пов'язаних з базою даних інтернет-магазину. Проаналізовано роботу складу шляхом порівняння існуючої системи управління з комп'ютерно-інтегрованою автоматизованою системою за допомогою методів теорії масового обслуговування, а саме, розглянуто алгоритм розрахунку показників якості функціонування багатоканальної системи, при цьому автоматизована система роботи складу практично не виходить за межі стійкості та забезпечує безперебійну роботу і мінімізацію витрат. Розроблено автоматичний транспортний засіб і запропоновано систему його навігації, що базується на принципі радіочастотної ідентифікації, яка складається зі зчитуючого пристрою та пасивного трансподера (відомого як RFID-мітка або тег). Розроблено програмне забезпечення автоматизованої системи керування, що складається з програми для плати Arduino Mega 2560 та програми управління на ПК.

АВТОМАТИЧНІ ТРАНСПОРТНІ ЗАСОБИ ДОСТАВКИ,  
БАГАТОКАНАЛЬНА СИСТЕМА, ПАСИВНИЙ ТРАНСПОДЕР,  
ARDUINO MEGA

## ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Інформаційно-аналітичний огляд.....	7
1.1 Аналіз існуючих автоматичних транспортних засобів та способів управління ними.....	7
1.2 Типи автоматичних транспортних засобів .....	8
1.3 Постановка задачі.....	13
2 Вибір методу розв’язання задачі .....	15
2.1 Дослідження роботи складу інтернет-магазину за допомогою методів теорії масового обслуговування.....	15
2.2 Розробка системи навігації транспортного засобу .....	22
3 Розробка програмно-апаратного забезпечення .....	24
3.1 Розробка мікропроцесорного блока управління транспортним засобом та вибір технічних засобів.....	25
3.2 Розробка силового драйвера для автоматичного транспортного засобу .	30
3.3 Розробка програмного забезпечення.....	31
3.3.1 Програмне забезпечення для мікроконтролерної плати .....	32
3.3.2 Принцип передачі даних. Управління мобільним транспортним засобом .....	32
Висновки.....	34
Список літератури .....	35
Додатки .....	37

## ВСТУП

Інтернет-магазин – це електронний, віртуальний магазин, потужний веб-ресурс, який забезпечує продажі за допомогою мережі інтернет, має електронний каталог для вибору, замовленню і оплати товарів з подальшою доставкою покупцеві. Згідно досліджень американської компанії eMarketer світовий ринок інтернет торгівлі до 2020 року збільшиться вдвічі та досягне чотирьох мільйонів доларів. Інтернет-магазини успішно конкурують з великими торговими мережами, та навіть мають певні переваги: широкий асортимент товарів, доступність 24 години на добу без перерв і вихідних, економія часу на покупки, низькі ціни на товари і послуги, зручність оплати.

Інтернет-магазин є однією з найпоширеніших комерційних моделей електронної торгівлі у сфері B2C (Business-to-Consumer) – торгівля між компаніями й споживачами або форма електронної торгівлі, метою якої є продажі на пряму споживачам. Найвідомішими прикладами B2C є найбільший у світі онлайн-магазин Amazon.com, інтернет-аукціон eBay.com та інтернет-магазини китайської корпорації Alibaba Group. Торгівля товарами через інтернет – це галузь, яка найбільш успішно розвивається сьогодні і на Україні [3].

Сучасний ринок інтернет-магазинів розвивається надзвичайно швидкими темпами. Проте важкою і затратною є задача організації роботи самого складського приміщення. Вибравши товар, клікнувши кнопку «Придбати», замовлення передається в саме серце магазину – на його склад. Працівники, отримавши дані нового замовлення повинні зорієнтуватися де знаходиться необхідний товар і як найшвидше його відвантажити.

# 1 ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

## 1.1 Аналіз існуючих автоматичних транспортних засобів та способів управління ними

Ефективна обробка замовлень є найбільш важливою частиною дистрибуції, тому що без неї кінцевий продукт може бути не прибутковим [6]. Прямі витрати на вантажно-розвантажувальні роботи не можуть бути точно оцінені, так як, основним фактором витрат, що впливає на обробку замовлення – є згаяний час. Так, наприклад, при поломках транспортного засобу водію платять за те, що він нічого не робить і це не вина робітника, тому компанія повинна розглянути шляхи скорочення часу простою.

Другим фактором, що впливає на вартість товарів – є вартість робочої сили. Збільшення штату працівників та витрати на виплату заробітної плати вимагають пошуку альтернативних варіантів транспортування вантажів.

Способи обробки замовлень покращились з моменту повністю ручної праці, коли працівнику необхідно було спочатку скласти товар, підняти, перевезти та порахувати [12].

Традиційний метод транспортування – коли оператори використовують візок або електричний вилочний навантажувач (рис. 1.1), що призводить до збільшення часу на обробку замовлень і збільшення вартості товарів для споживача.

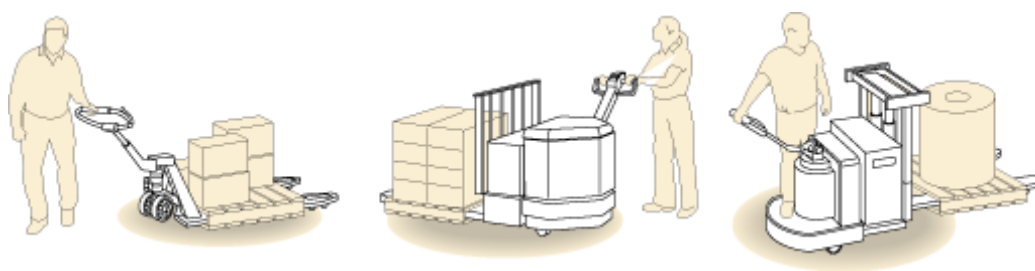


Рисунок 1.1 – Традиційні методи відвантаження товару

Альтернативним варіантом традиційного методу транспортування вантажів, можна вважати використання автоматичних транспортних засобів (Automated guided vehicles, AGV). Першим автоматичним транспортним

засобам був транспорт з живленням від акумуляторних батарей, та безконтактним управлінням [13].

## 1.2 Типи автоматичних транспортних засобів

На сьогоднішній час згідно [7] (Berman S., Schechtman E., &Edan Y.) існує наступний розподіл типів автоматичних транспортних засобів (рис. 1.2)

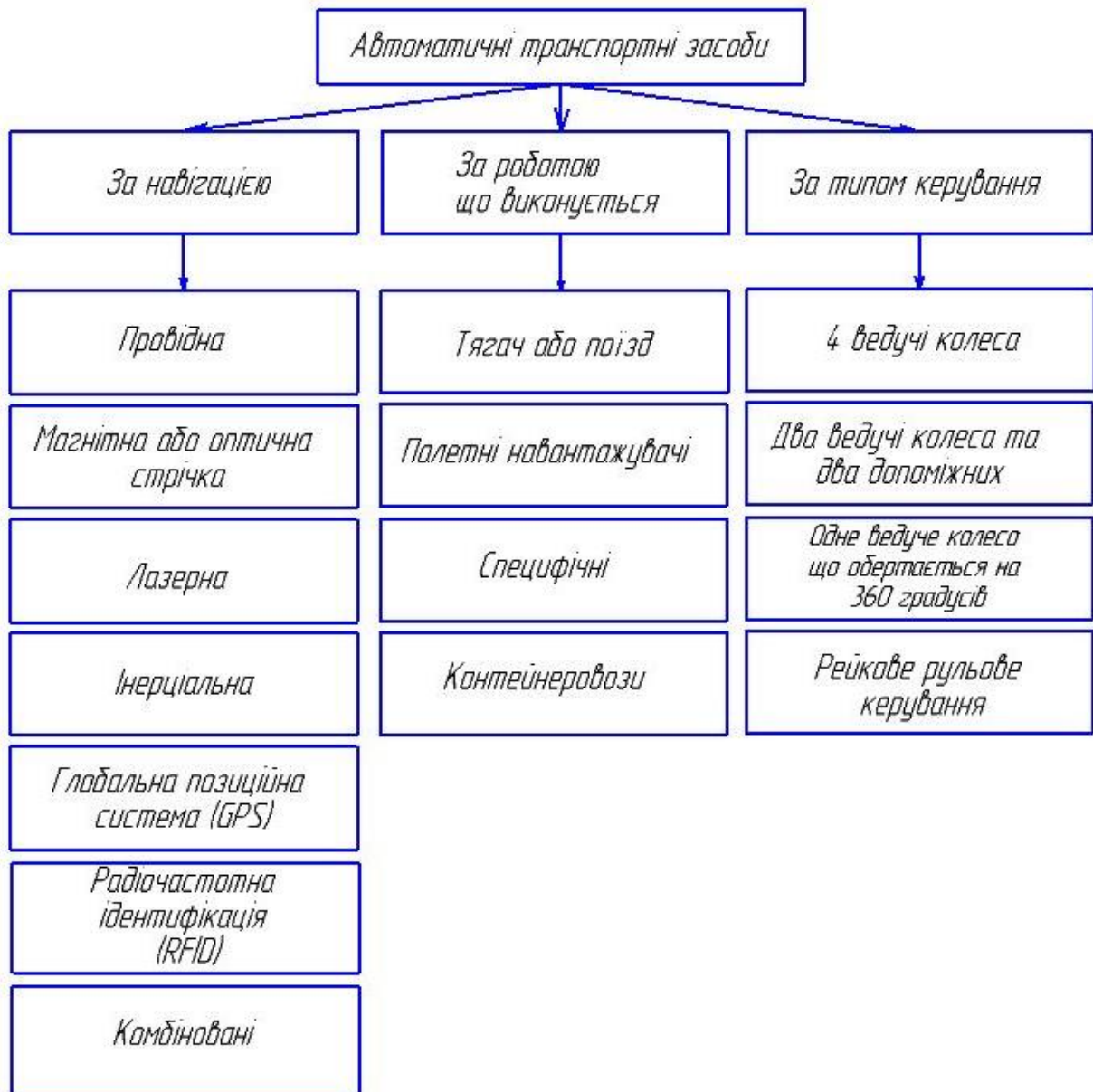


Рисунок 1.2 – Типи автоматичних транспортних засобів

За навігацією:

Провідна – це одна з найперших типів навігації (рис. 1.3) [14]. Принцип роботи якої наступний: мідний дріт з пластиковим покриттям та січенням



2...3 мм замурується у підлозі на глибині від 15 мм до 20 мм, передавач подає на нього струм з частотою 10 кГц, при цьому створюється магнітне поле навколо провідника. Скануючий пристрій автоматичного транспортного засобу вимірює горизонтальні та вертикальні складові та отримується різниця потенціалів, на основі цього розраховується оптимальна траєкторія руху.

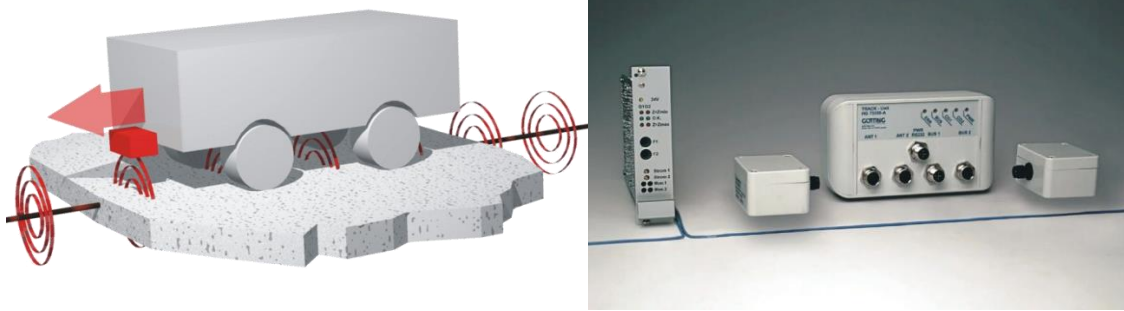


Рисунок 1.3 – Автоматичний транспортний засіб з провідною навігацією

Переваги такого засобу: висока надійність, висока точність траєкторії руху, працездатність не залежить від снігу, льоду, бруду і т.д., низька вартість.

Недоліки: будь-які металічні предмети можуть впливати на роботу системи, система позбавлена маневреності (рух тільки по прямій лінії), неможливість або дуже висока вартість модернізації, неможливість обчислення точних координат транспортного засобу у просторі.

Магнітна або оптична стрічка (рис. 8). Принцип роботи навігації на магнітній стрічці подібний до провідної, але у даному випадку використовується магнітне поле, що створюється стрічкою з напиленням спеціального покриття з постійних магнітів.

Оптична навігаційна система працює за принципом відбитого світла. На підлозі приміщення встановлюється стрічка білого або чорного кольору, транспортний засіб обробляє сигнали з спеціальних сенсорів, та при відхиленні від траєкторії виробляє керуючий вплив на виконавчі механізми.

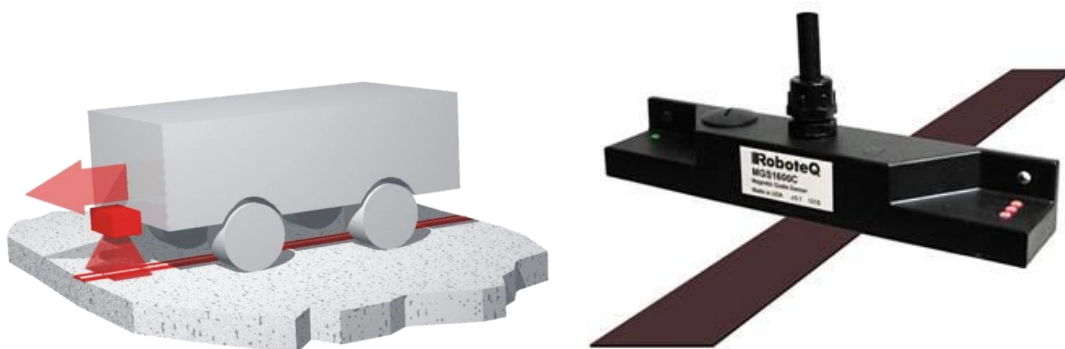


Рисунок 1.4 – Автоматичний транспортний засіб з навігацією на основі магнітної або оптичної стрічки

Переваги: висока надійність, висока точність траєкторії руху, низька вартість.

Недоліки: бруд, світло може впливати на систему, система позбавлена маневреності (рух тільки по прямій лінії), неможливість обчислення точних координат транспортного засобу у просторі.

Лазерна (рис. 1.5). Лазерний тип навігації є однією з нових альтернатив провідній. Лазерний сканер, що обертається, використовує оптичні рефлектори, що розташовані в робочій зоні для того, щоб обчислити положення, а спеціалізований контролер на транспортному засобі обчислює координати відносно кожного маяка [15].



Рисунок 1.5 – Автоматичний транспортний засіб з лазерною навігацією

Переваги: висока надійність, висока точність траєкторії руху, робота не залежить від типу поверхні для руху.

Недоліки: сніг, бруд, світло може впливати на точність, додаткові датчики необхідні для розрахунку координат транспортного засобу у просторі.

Інерціальна (рис. 1.6). Інерціальний тип навігації був розроблений у 50-х роках минулого століття, та в основному використовувався в космічних літальних апаратах, керованих ракетах та комерційних авіалайнерах [8]. На сьогоднішній день такий тип навігації також використовується для контролю руху автоматизованих транспортних засобів, він включає в себе гіроскоп, акселерометр та компас, що вимірюють параметри руху, а спеціалізований контролер керує транспортним засобом [16].

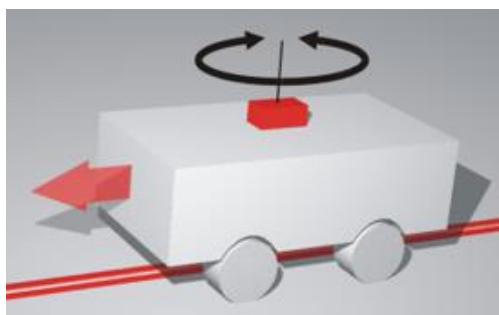


Рисунок 1.6 – Автоматичний транспортний засоб з інерціальним типом навігації

Недоліки: складність, висока вартість, необхідність використовувати додаткові сенсори для контролю координат транспортного засобу у просторі.

Глобальна позиційна система (GPS) (рис. 1.7). В даному типі транспортних засобів використовується навігація на базі глобальної позиційної системи (GPS), спеціалізований приймач отримує сигнали з декількох супутників, спеціалізований пристрій обчислює координати, головний контролер керує транспортним засобом.

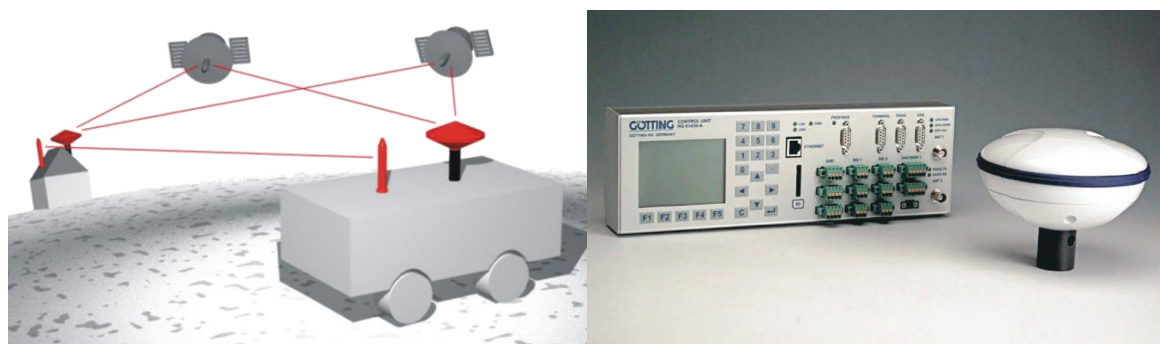


Рисунок 1.7 – Автоматичний транспортний засоб з глобальною системою позиціонування

Переваги: відносна простота, не залежить від снігу, льоду, бруду і т.д., відносно висока точність +/-10 см.

Недоліки: лише для вуличного розташування робочої зони, висока вартість.

Метод радіочастотної ідентифікації (RFID) (рис. 1.8). В даному типі навігації використовується метод радіочастотної ідентифікації. Дана система складається зі зчитуючого пристрою та пасивного трансподера (відомого як RFID-мітка або тег). Електричний струм, індукований в антені електромагнітним сигналом від зчитуючого пристрою, забезпечує достатню потужність для функціонування кремнієвого CMOS-чіпу, розміщеного в мітці, і передачі сигналу у відповідь [10].

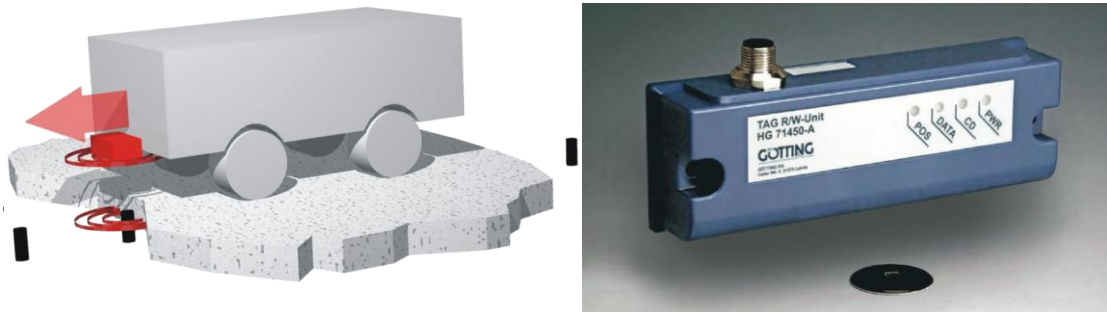


Рисунок 1.8 – Автоматичний транспортний засіб з радіочастотною навігацією

Переваги: низька вартість, висока точність, незалежна навігація, не залежить від снігу, бруду і т.д..

Недоліки: метал на поверхні для руху може впливати на дальність зчитування інформації.

За типом транспортного засобу:

Тягач або поїзд – використовуються для перевезення великої кількості вантажів на причіпних пристроях.

Переваги: велика потужність, зменшення вартості складської логістики.

Недоліки: низька маневреність.

Палетний навантажувач – використовуються для перевезення вантажів на палетах.

Переваги: висока точність, висока маневреність.

Недоліки: висока вартість, складність.

Специфічні – використовуються для рішення специфічних задач таких як рухомі конвеєри, перевезення полицок з товарами і т.д.

Переваги: відносна простота, низька вартість порівняно з іншими типами, висока маневреність в обмеженому просторі.

Недоліки: низька вантажопідйомність.

За типом керування (рис. 1.9):

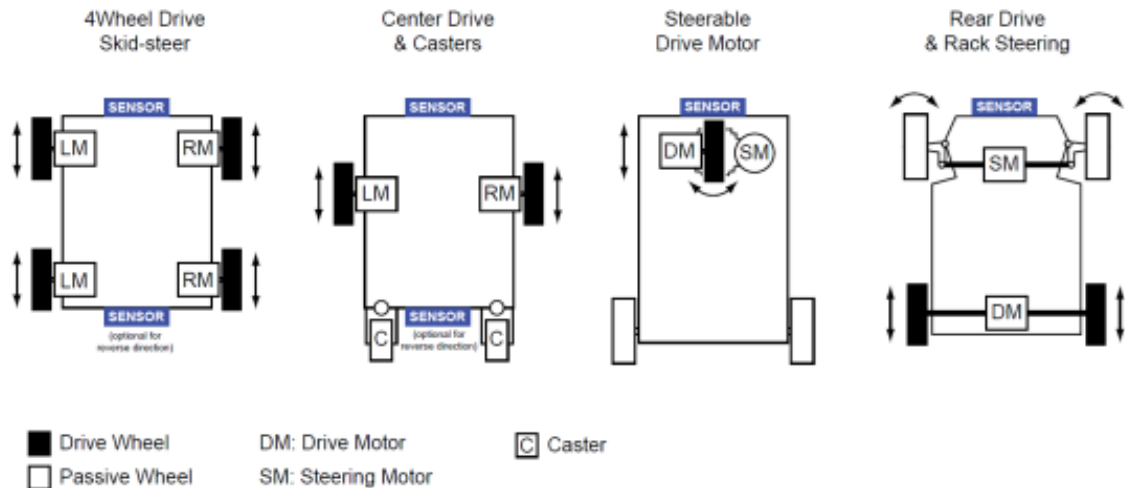


Рисунок 1.9 – Автоматичний транспортний засіб за типом керування

Типи керування автоматичним транспортним засобом: 1) 4 ведучі колеса; 2) два ведучі колеса та два допоміжних; 3) одне ведуче колесо що обертається на 360 градусів; 4) рейкове керування.

### 1.3 Постановка задачі

Мета роботи полягає у дослідженні комп'ютерно-інтегрованої автоматизованої системи (КІАС) роботи складу інтернет-магазину із використанням автоматичних транспортних засобів, розробки систем управління ними, пов'язаних з базою даних інтернет-магазину. Застосування автоматичних транспортних засобів в складі КІАС дозволяє підвищити точність виконання технологічних операцій, забезпечити автоматичне виконання всіх дій, пов'язаних з продажами, складськими операціями, забезпечити безперебійну роботу виробництва і певною мірою виключити вплив людського фактора на складі та зменшити вплив шкідливих факторів на персонал.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

- 1) Проаналізувати роботу складу шляхом порівняння існуючої системи управління з комп'ютерно-інтегрованою автоматизованою системою за допомогою методів теорії масового обслуговування.
- 2) Розробити автоматичний транспортний засіб і запропонувати систему його навігації.
- 3) Розробити програмне забезпечення автоматизованої системи керування.

## 2 ВИБІР МЕТОДУ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ

### 2.1 Дослідження роботи складу інтернет-магазину за допомогою методів теорії масового обслуговування

Теорія масового обслуговування (ТМО) вивчає процеси з опрацюванням часто повторюваних однорідних подій, які з'являються у системах виробництва, обслуговування та управління [1]. Таким чином, системи масового обслуговування (СМО) – системи, до яких у випадкові моменти часу поступають масові запити (вимоги) на обслуговування (виконання деяких видів послуг). Із системами масового обслуговування (СМО) ми зустрічаємось повсякчас. Кожному з нас доводилось чекати обслуговування в черзі (у магазині, на автозаправці, в бібліотеці, кав'ярні тощо). Аналогічні ситуації виникають, коли треба скористатися телефонним зв'язком або виконати свою програму на комп'ютері. Будь-яке виробництво теж можна уявити як послідовність систем обслуговування.

Термін "теорія масового обслуговування" ввів математик А. Я. Хинчин. В іноземних джерелах частіше використовується термін "теорія черг" (*theory of queues*) [1, 2].

До типової системи масового обслуговування належить система роботи складу інтернет-магазину (рис. 2.1).

Система роботи складу інтернет-магазину забезпечує техніко-економічний ефект, що досягається головним чином за рахунок:

1) зменшення часу обробки замовлень та підвищення рівня організації праці шляхом впровадження автоматизованих інформаційних систем управління;

2) зменшення вартості товарів за рахунок зменшення витрат на утримання штату працівників.

Відповідно, з метою підвищення ефективності роботи складу виникає необхідність проаналізувати його роботу шляхом порівняння існуючої системи управління з комп'ютерно-інтегрованою автоматизованою системою за допомогою методів теорії масового обслуговування, що визначають імовірність різних станів СМО, а також встановлюють показники залежності

ефективності системи від параметрів і умов роботи (число каналів, пропускна здатність, характер потоку замовлень).



Рисунок 2.1 – Структура комп'ютерно-інтегрованої автоматизованої системи роботи складу інтернет-магазину

Залежно від поставленої мети показниками функціональної ефективності роботи СМО можуть бути такі величини: абсолютна або відносна пропускна здатність, середнє число зайнятих каналів, середнє число замовлень у черзі, середній час очікування обслуговування та інші. Черги можуть бути організовані по різному – з обмеженою та необмеженою довжиною черги.

Було досліджено існуючий інтернет-магазин, на складі якого працюють 22 оператора обробки замовлень, у дві зміни по 8 годин, графік роботи магазину з 7:00 до 23:00, 7 днів на тиждень, кожен працівник за годину може відбирати до 15 замовлених товарів, щогодини магазин отримує в середньому 180 замовлень, площа складу складає 800 м<sup>2</sup>. Всі замовлення обробляються вручну, кожен товар спочатку кладеться в кошик, при його заповненні відправляється на сортування, пакування та відправлення кінцевому споживачу.



Оскільки магазин стрімко розвивається, а робота фізично важка, компанія постійно відчуває гостру нестачу кадрів, але в даному випадку значно підвищуються витрати на утримання.

Для підвищення ефективності роботи складу проводились дослідження показників системи управління за допомогою методів теорії масового обслуговування [3]. Розглянуто алгоритм розрахунку показників якості функціонування багатоканальної системи масового обслуговування з необмеженою чергою (системи роботи складу інтернет-магазину).

Основними характеристиками системи масового обслуговування є інтенсивність потоку замовлень  $\lambda$ , яка виражається числом замовлень, що надходять за одиницю часу, а також інтенсивність обслуговування  $\mu$ , яка є оберненою величиною часу обслуговування  $t_{обсл}$ , тобто інтенсивність обслуговування одного продавця  $\mu = 15$  товарів за годину, кількість людей, що працюють в магазині в одну зміну  $n = 12$ .

В табл. 2.1 наведена середня кількість замовлених товарів на складі інтернет-магазину з інтенсивністю  $\lambda$  в залежності від часу доби

Таблиця 2.1 – Середня кількість замовлених товарів на складі інтернет-магазину в залежності від часу доби

<b>Година</b>	<b>0:00</b>	<b>1:00</b>	<b>2:00</b>	<b>3:00</b>	<b>4:00</b>	<b>5:00</b>	<b>6:00</b>	<b>7:00</b>	<b>8:00</b>	<b>9:00</b>	<b>10:00</b>	<b>11:00</b>
$\lambda$	0	0	0	0	0	5	12	43	80	212	310	486
<b>Година</b>	<b>12:00</b>	<b>13:00</b>	<b>14:00</b>	<b>15:00</b>	<b>16:00</b>	<b>17:00</b>	<b>18:00</b>	<b>19:00</b>	<b>20:00</b>	<b>21:00</b>	<b>22:00</b>	<b>23:00</b>
$\lambda$	160	230	256	330	470	480	345	270	60	58	45	37

Важливим параметром у розрахунках є відношення інтенсивності потоку замовлень  $\lambda$  до інтенсивності обслуговування  $\mu$ , тобто це середнє число замовлень, що надходить за час обслуговування одного замовлення

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \quad (2.1)$$

Тривалість обслуговування – випадкова величина, підпорядкована типовому закону розподілу.

Заявка, що надійшла в момент, коли всі канали зайняті, стає в чергу і чекає обслуговування.

Як показники ефективності багатоканальної СМО з необмеженою чергою будемо розглядати:

$A$  – абсолютну пропускну здатність СМО;  $Q$  – відносну пропускну здатність;  $P_{уч}$  – ймовірність утворення черги;  $\bar{k}_3$  – середнє число зайнятих каналів;  $L_{сист}$  – середнє число заявок, що знаходяться в системі;  $T_{сист}$  – середній час перебування заявки в системі;  $L_q$  – середня довжина черги;  $T_q$  – середній час очікування в черзі.

Граф станів такої системи має такий вигляд (рис. 2.2)

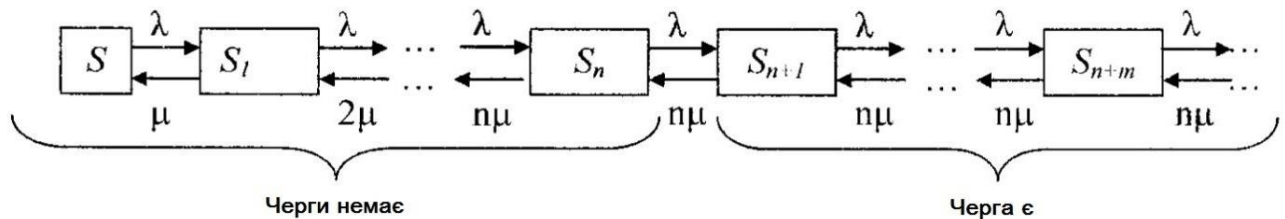


Рисунок 2.2 – Граф станів системи

$S_0$  – всі канали вільні,  $k = 0$ ;

$S_1$  – зайнятий один канал, інші вільні,  $k = 1$ ;

.....

$S_n$  – зайняті всі  $n$  каналів, черги немає,  $k = n$ ;

$S_{n+1}$  – зайняті всі  $n$  каналів, одна заявка в черзі до  $k = n + 1$ ;

.....

$S_{n+m}$  – зайняті всі  $n$  каналів,  $m$  заявок в черзі, до  $k = n + 1$ ;

.....

Відносна пропускну здатність – ймовірність того, будь-яка заявка може бути обслугована, тому відносна пропускну здатність

$$Q = 1 \quad (2.2)$$

Тоді абсолютна пропускну здатність розраховується

$$A = Q \cdot \lambda \quad (2.3)$$

Знайдемо ймовірність того, що у операторів відсутні замовлення

$$p_0 = \left( 1 + \frac{\rho}{1!} + \frac{\rho^2}{2!} + \dots + \frac{\rho^{n-1}}{(n-1)!} + \frac{\rho^n}{n!} \cdot \frac{1}{n-\rho} \right)^{-1} \dots \quad (2.4)$$

Ймовірність утворення черги

$$p_{уч} = \frac{\rho^{n+1}}{n!(n-\rho)} \cdot p_0 \dots \quad (2.5)$$

Середнє число зайнятих операторів

$$\bar{k}_3 = \frac{A}{\mu} \dots \quad (2.6)$$

Середня довжина черги

$$L_q = \frac{\rho^{n+1}}{n \cdot n! \left(1 - \frac{\rho}{n}\right)^2} \cdot p_0 \dots \quad (2.7)$$

Середній час очікування в черзі:

$$T_q = \frac{L_q}{\lambda} \dots \quad (2.8)$$

Середнє число заявок в системі:

$$L_{сист} = L_q + \rho \dots \quad (2.9)$$

Середній час перебування заявки в СМО:

$$T_{сист} = \frac{L_{сист}}{\lambda} \dots \quad (2.10)$$

Результати дослідження. З метою спрощення розрахунків було розроблено програму в середовищі Wolfram Mathematica ( Додаток 1).

Згідно формул (2.2-2.10) були розраховані показники ефективності існуючої багатоканальної системи масового обслуговування з необмеженою

чергою в залежності від часу доби (табл. 1, Додаток 2) та побудована діаграма стабільності роботи складу (рис. 2.3)

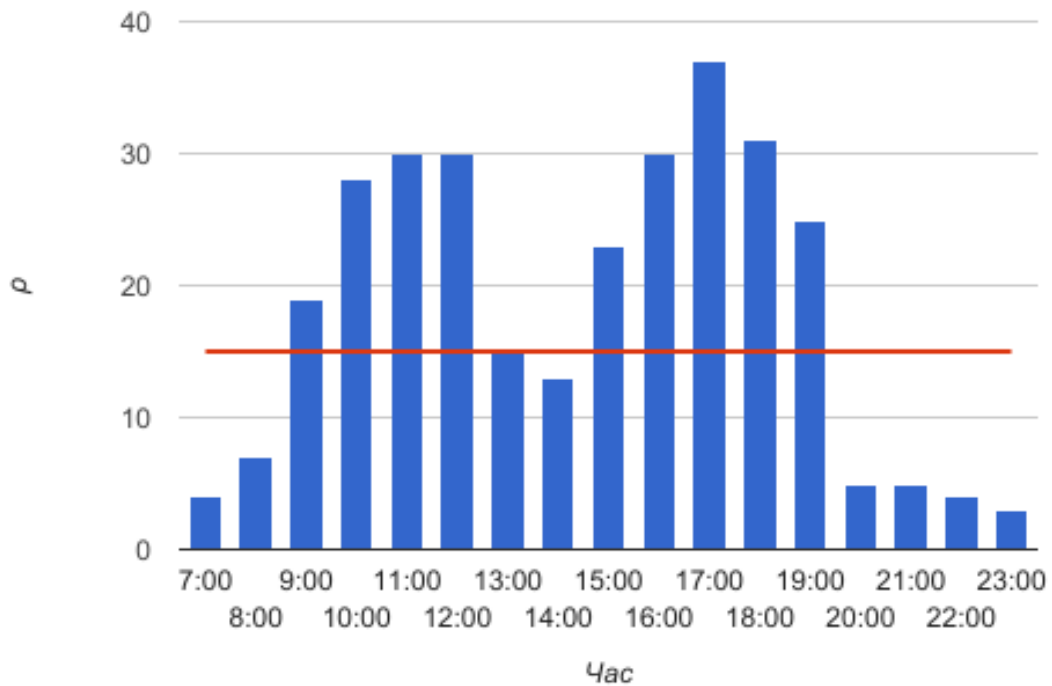


Рисунок 2.3 – Діаграма стабільності роботи складу інтернет-магазину

Отже, починаючи з 9:00 до 12:00 години та з 15:00 до 19:00 години система масового обслуговування виходить за рамки стійкості  $\rho > \lambda$ . Крім того, певна кількість замовлень обробляються з великою затримкою.

З метою підвищення ефективності роботи складу інтернет-магазину виникає необхідність зменшення часу обробки замовлень та підвищення рівня організації праці шляхом впровадження автоматизованих інформаційних систем управління із використанням автоматичних транспортних засобів.

Тому для оптимізації роботи складу магазину та мінімізації затрат запропоновано автоматизовану систему, що складається з 10 автоматичних транспортних засобів та 1 робочого місця, обладнаного SCADA системою управління, пов'язаної з базою даних інтернет-магазину.

Теоретично, в такому випадку один оператор кожних 10 секунд зможе брати новий товар не відходячи від робочого місця, адже автоматичні транспортні засоби, згідно програми, ідентифікують місце знаходження товару. Тобто, система працює наступним чином: на території складу розміщуються полички з можливістю переміщення, вони заповнюються

товарами, коли в базі даних замовлень з'являється новий запис, автоматичний транспортний засіб без участі людини підвозить необхідний стелаж до оператора, оператор бере необхідний товар а робот відвозить полицку та своє місце та чекає нових замовлень.

Відповідно, інтенсивність обслуговування одного продавця  $\mu = 360$  товарів за годину, кількість людей, що працюють в магазині в одну зміну  $n = 1$ .

Згідно формул (2.2-2.10) були розраховані показники ефективності автоматизованої багатоканальної системи масового обслуговування в залежності від часу доби (табл. 2, Додаток 2) та побудована діаграма стабільності роботи складу (рис. 2.4)

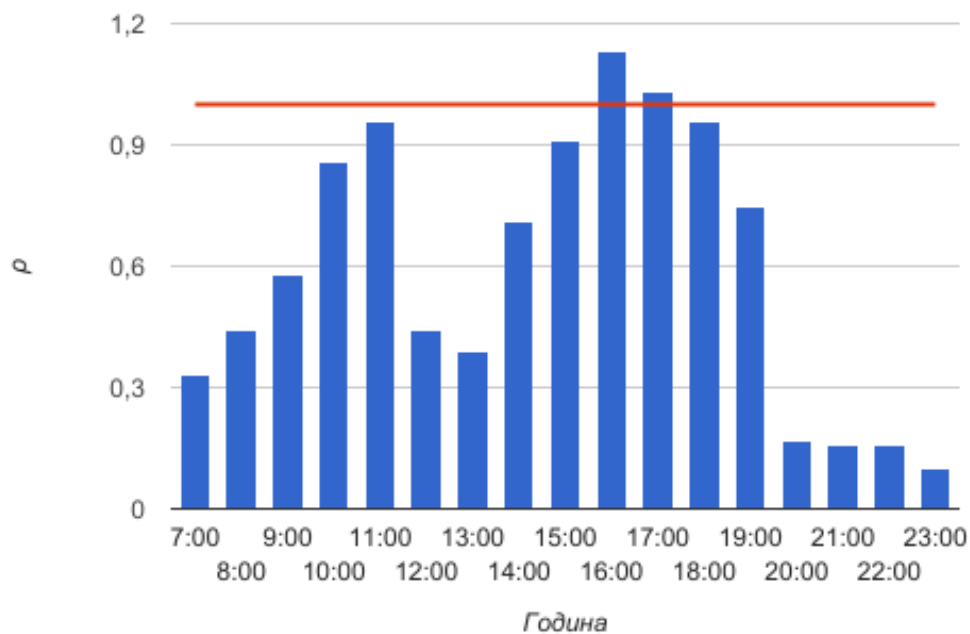


Рисунок 2.4 – Діаграма стабільності роботи складу інтернет-магазину

На основі отриманих даних (табл.2, Додаток 2) і аналізу діаграми (рис. 2.4) можна зробити висновок, що автоматизована система роботи складу практично не виходить за межі стійкості, лише в період 16:00-17:00, при цьому затримка обробки замовлень не перевищує 20 хвилин, що забезпечує безперебійну роботу та мінімізацію витрат.

З метою візуалізації роботи автоматизованої складської системи інтернет-магазину розроблені 3D-моделі у системі автоматизованого проектування *SolidWorks* (Додаток 3).

## 2.2 Розробка системи навігації транспортного засобу

Система навігації запропоновано нами автоматичного транспортного засобу базується на принципі радіочастотної ідентифікації. Дана система складається зі зчитуючого пристрою та пасивного трансподера (відомого як RFID-мітка або тег).

На рис. 2.5 схематично зображено поверхню для руху транспортного засобу, вона представляє собою двовимірний масив, що складається елементів розміщених на певній відстані один від одного.

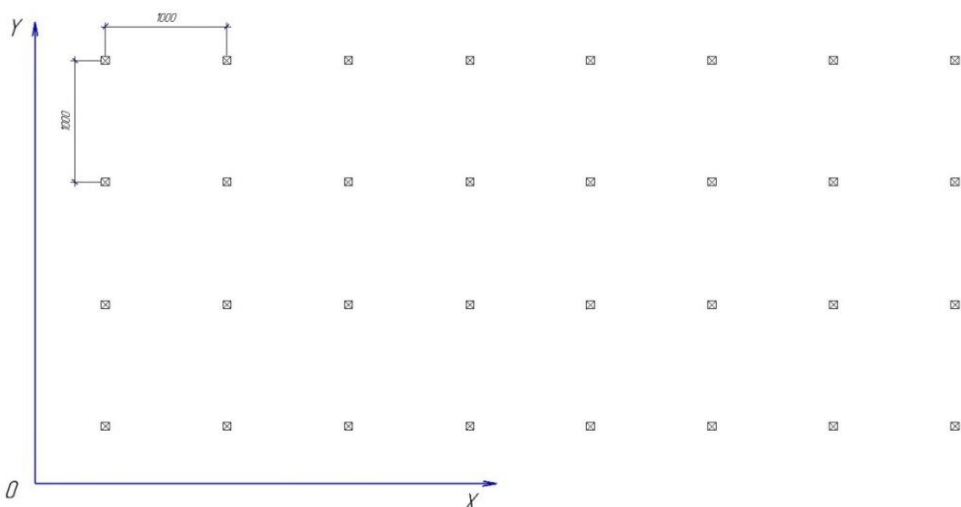


Рисунок 2.5 – Поверхня для руху автоматичного транспортного засобу

Кожен елемент, в свою чергу, представляє собою сукупність пасивних трансподерів (або RFID тегів), що монтуються в отвір у поверхні для руху (рис.2.6)

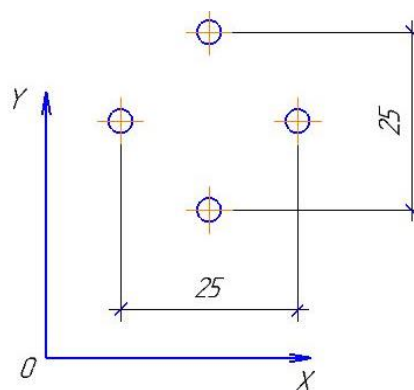


Рисунок 2.6 – Принцип розташування пасивних трансподерів

Така схема руху транспортного засобу дозволяє підвищити точність, збільшити швидкість і тим самим збільшити продуктивність системи без значних фінансових вкладень порівняно з традиційними рішеннями.

Принцип роботи автоматичного транспортного засобу з системою навігації (рис. 2.7, а): зчитуючий пристрій (5) випромінює сигнал з частотою 13,56 МГц, пасивний трансподер (4) індукує сигнал зчитуючого пристрою, тим самим отримує струм для функціонування кремнієвого чіпу та відправляє сигнал у відповідь з унікальним номером ідентифікації. Якщо номер RFID-тега відповідає кінцевій точці руху, транспортний засіб знижує свою швидкість на 75%. Коли обидва зчитуючі пристрої (5 та 6) (рис. 2.7, б), отримують сигнал мітки (3 та 4), що рівний заданому, автоматичний транспортний засіб зупиняється та виконує запрограмовані функції маневрування, такі як поворот або підйом вантажу.

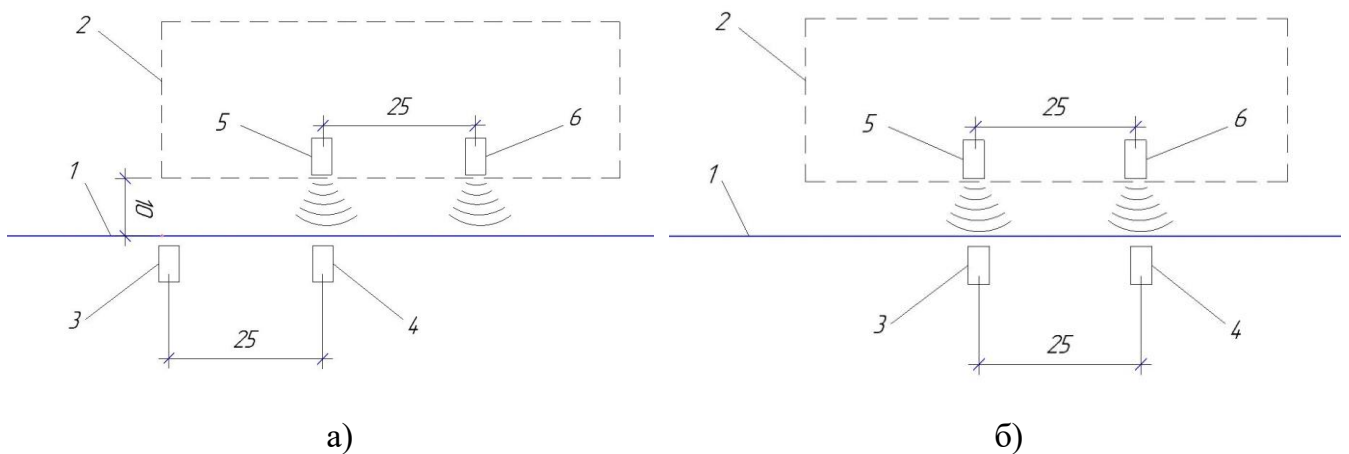


Рисунок 2.7 – Принцип роботи системи навігації:

1 – поверхня для руху; 2 – автоматичний транспортний засіб; 3 і 4 – пасивні трансподери; 5 і 6 – зчитуючі пристрої

### 3 РОЗРОБКА ПРОГРАМНО-АПАРАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Проаналізувавши вимоги до системи, вибравши контури регулювання, було розроблено функціональну схему автоматизації складу інтернет-магазину (рис. 3.1), що складається з автоматичних транспортних засобів та панелі оператора.

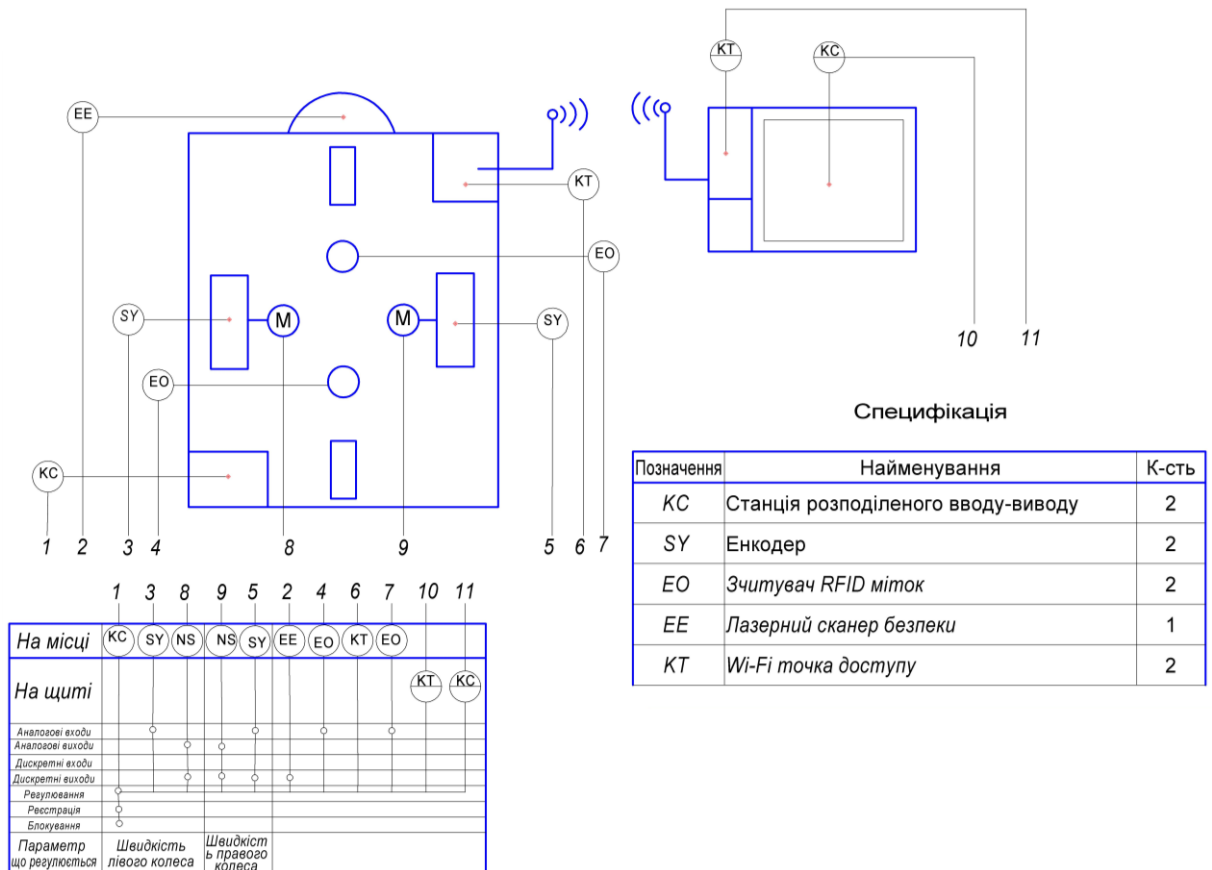


Рисунок 3.1 – Функціональна схема автоматизації складу інтернет-магазину

Для автоматизації даного процесу передбачено:

- контур регулювання швидкості лівого колеса, що складається з енкодера (3), силового драйвера та мотору (8);

- контур регулювання швидкості правого колеса, що складається з енкодера (5), силового драйвера та мотору (9).

Система навігації транспортного засобу базується на принципі радіочастотної ідентифікації. Використовуються два зчитувачі (4 та 7). Для зв'язку станції вводу-виводу (10) та ведучого програмованого логічного контролера (1) використовуються безпроводні маршрутизатори (6 та 11).



### 3.1 Розробка мікропроцесорного блока управління транспортним засобом та вибір технічних засобів

Для реалізації даного завдання було розроблено мікропроцесорний блок управління транспортним засобом, структурна схема якого наведена на рис. 3.2.

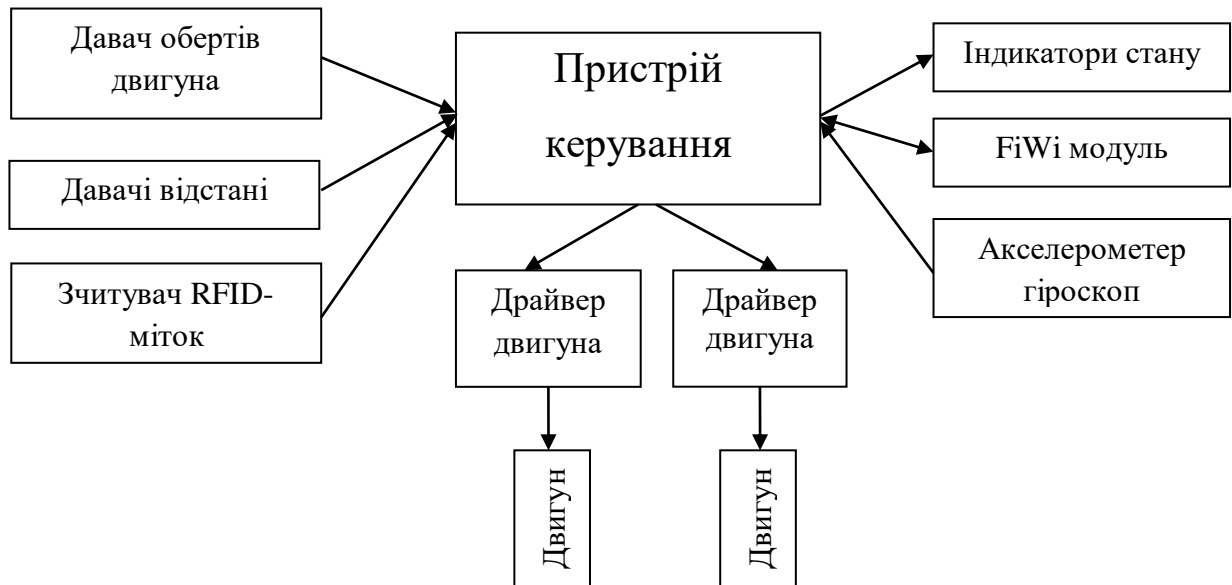


Рисунок 3.2 – Структурна схема блока управління

Система управління є дворівневою: перший рівень представляє розроблений мікропроцесорний блок управління (МБУ), а другий – автоматизоване робоче місце (АРМ), тобто ПК оператора.

Була розроблена плата управління (Додаток 4)

#### Вибір мікроконтролера

Технічна реалізація автоматизованої системи керування виконана на базі мікроконтролерної плати Arduino Mega 2560, основним елементом якої є мікроконтролер ATmega2560. Вибір цієї плати обґрунтований її низькою вартістю, наявністю необхідної кількості каналів введення/виведення та комунікаційних портів, низьким енергоспоживанням, простотою розробки програмного забезпечення. На основі плати Arduino Mega 2560 розроблено мікропроцесорний блок управління, який має рідкокристалічний дисплей та клавіатуру.

Основні характеристики плати Arduino Mega 2560 наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Основні характеристики плати Arduino Mega 2560

Мікроконтролер	ATmega2560
Робоча напруга	5V
Вхідна напруга (рекомендована)	7-12V
Дискретні (цифрові) входи/виходи	54 (15 із них можуть використовуватися як ШІМ-виходи)
Аналогові входи	16
Максимальний струм одного вивода	40 mA
Максимальний струм вивода 3,3В	50 mA
Флеш-пам'ять	256 КВ з яких 8 КВ використовуються авантажувачем
SRAM	8 КВ
EEPROM	4 КВ
Тактова частота	16 MHz

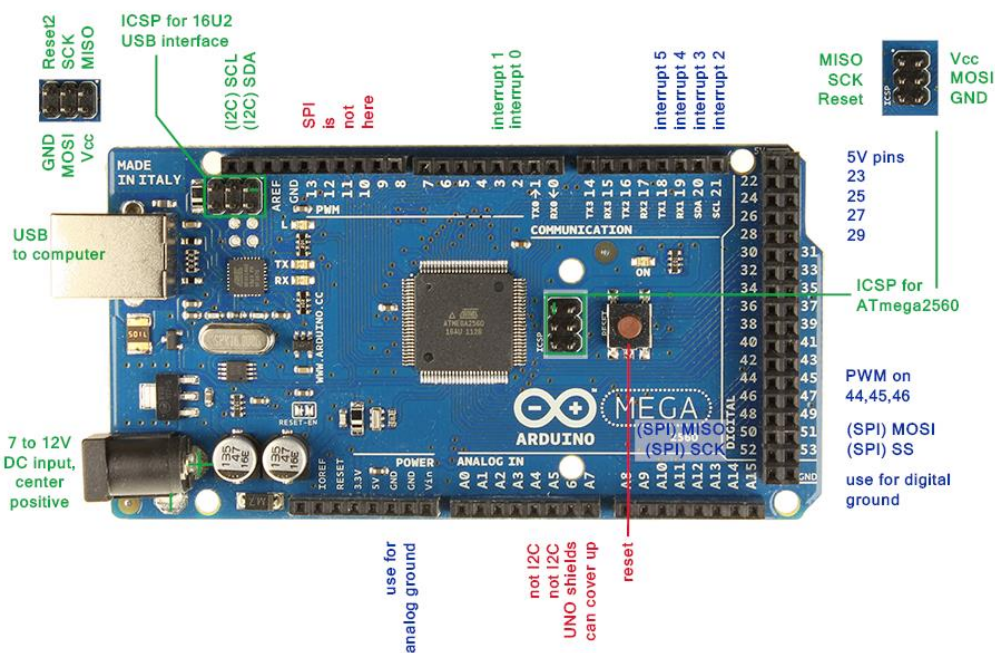


Рисунок 3.3 – Зовнішній вигляд та призначення виводів плати Arduino Mega 2560

## Вибір датчика

Інфрачервоний далекомір дозволяє визначати відстань до об'єктів. Це модель GP2Y0A021 компанії Sharp. Сенсор визначає відстань по відбитому променю світла в інфрачервоному спектрі. Далекімір може використовуватися для об'їзду перешкод і орієнтування на місцевості.



Рисунок 3.4 – Інфрачервоний далекомір

- Напруга живлення: 4,5-5,5 В;
- Струм: 30-40 мА;
- Діапазон відстаней: 10-80 см

## Стабілізатор напруги LM7805СТ

Основні характеристики:

- Вихідний струм: до 1А
- Вихідна напруга: 5V
- Тепловий захист від перевантаження
- Захист від короткого замикання

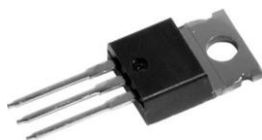


Рисунок 3.5 – Стабілізатор напруги LM7805СТ

## Модуль FiWi

- Бездротовий приймач (приймач) для Arduino проектів працює на частоті 2.4ГГц

- Частота передачі / прийому: 2.4ГГц;
- Відстань передачі / прийому: до 100м, в приміщенні - до 50 м;
- Швидкість передачі: 250kbps, 1Mbps і 2Mbps;



Рисунок 3.6 – Модуль FiWi

- Модуляція: GFSK;
- Чутливість приймача: -82 dBm;
- Максимальна вихідна потужність: 0 dBm;
- Коефіцієнт посилення антени: 2dBm;
- Кількість каналів: 126;
- Інтерфейс: SPI;
- Напруга живлення: 3.3В.

### Модуль MPU-6050

Модуль MPU-6050 має 6 ступенів свободи, 3 для акселерометра та 3 для гіроскопа. Можна відслідковувати прискорення та повороти. Живлення: 3...5 В

Інтерфейс: I2C;

16-бітний АЦП;

Точність гіроскопа: 250, 500, 1000, 2000 °/с



Рисунок 3.7 – Модуль MPU-6050

### RFID модуль 125 кГц

Модуль RDM6300 призначений для зчитування кодів із RFID карток та брелків, що працюють на частоті 125 кГц.

- частота - 125 кГц;
- живлення - 5 В;
- інтерфейс - UART TTL, 9600;
- максимальна ефективна відстань до 5 мм;
- розміри - 38.5 мм x 19 мм x 9 мм.



Рисунок 3.7 – RFID модуль 125 кГц

### Вибір електродвигунів для автоматичного транспортного засобу

Необхідний електродвигун повинен мати зусилля на валу 6.3 кг м. Пропонується у проекті використати мотор-редуктор з вбудованим енкодером китайської фірми Dake motor.



Рисунок 3.7 – Мотор-редуктор з вбудованим енкодером

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики електродвигуна

Модель	Напруга живлення, В	Крутний момент, кг*м	Швидкість, об/хв
RS-90ZY-24-3600	24	0.22	3000

## Продовження табл.3.2

Номинальний струм, А	Швидкість холостого ходу, об/хв	Струм холостого ходу, А	Потужність, Вт	Вага, кг
25	3600	3.5	500	4

Таблиця 3.3 – Технічні характеристики редуктора

Передаточне число	1:30
Крутний момент, кг*м	6.6
Швидкість, об/хв	100

З заводу даний мотор-редуктор обладнується енкодером з магнітним принципом дії, розширення енкодера 64 імпл./оберт, загальне розширення 192 000 імпл./оберт.

Енкодер – це пристрій, який визначає кут повороту обертового об'єкта, видаючи імпульсний цифровий код. Використовується для визначення швидкості обертання валу (осі), коли немає потреби зберігати абсолютний кутове положення при виключенні живлення. Тобто, якщо вал нерухомий, передача імпульсів припиняється. Іншими словами, якщо включити енкодер цього типу, то відлік повороту кута почнеться з нуля, а не з кута на який він був виставлений до моменту виключення. Магнітний енкодер включає в себе вал з магнітом і двома датчиками Холла, які реєструють послідовність проходження магнітних полюсів (північні і південні), вимірює швидкість і напрямок обертання.

### **3.2 Розробка силового драйвера для автоматичного транспортного засобу**

Н-міст – це проста схема, що складається з чотирьох ключів з навантаженням між ними (рис. 3.8).

Q1 ... Ключі Q4 зазвичай біполярні або польові транзистори. Якщо схема працює в високовольтних мережах, то можуть використовуватися IGBT-транзистори.

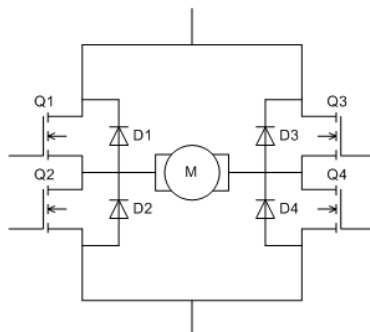


Рисунок 3.8 – H-міст

Крім можливості зібрати міст з дискретних елементів, існують ще й інтегральні рішення (весь міст в одній мікросхемі, та до того ж ще і керуюча логіка там же).

Діоди D1 ... D4 називаються обмежувальними діодами і найчастіше є діодами Шотткі.

У загальному випадку всі чотири ключа в схемі можуть бути незалежно переведені в стан «включено» або «вимкнено» (відповідно, транзистори відкриті або закриті). Це накладає ряд цілком очевидних обмежень.

Принципову схему силового драйвера для автоматичного транспортного засобу було розроблено в середовищі програми KiCad (Додаток 5).

Розроблена друкована плата силового драйвера електродвигуна для автоматизованого транспортного засобу (Додаток 6).

### 3.3 Розробка програмного забезпечення

Програмне забезпечення розробленої автоматизованої системи керування складається з програми для плати Arduino Mega 2560 та програми управління на ПК.

### 3.3.1 Програмне забезпечення для мікроконтролерної плати

Програмне забезпечення для мікроконтролера розроблене в середовищі Arduino IDE мова програмування C з елементами C++. В програмі використовується лише одна бібліотека для роботи з пам'яттю.

```
#include "EEPROM.h"
// у функції void setup() налаштовуємо входи, виходи та
// параметри мікроконтролера.
void setup() {
    Serial.begin(9600);
    pinMode(HORN, OUTPUT);
    pinMode (IN1, OUTPUT);
    pinMode (IN2, OUTPUT);
    pinMode (IN4, OUTPUT);
    pinMode (IN3, OUTPUT);
    pinMode (EN1, OUTPUT);
    pinMode (INM1, OUTPUT);
    pinMode (INM2, OUTPUT);
    pinMode(trigPin, OUTPUT);
    pinMode(echoPin, INPUT);
    timer_init();
}
```

Функції `void loop()` це основна функція програми яка виконується циклічно і в ній описується основні операції мікроконтролера.

Блок схема роботи основної функції `void loop()` і її код представлена в Додатку 7.

### 3.3.2 Принцип передачі даних. Управління мобільним транспортним засобом

Програмне забезпечення для ПК розроблялось мовою програмування C++.



Управління мобільним транспортом здійснюється наступним чином з онлайн магазину приходить замовлення. Воно обробляється, визначається ідентифікатор кожного товару в замовленні, розраховується маршрут автоматичного транспорту.

Далі дані передаються по Wi Fi каналу на контролер автоматичного транспортного засобу, який в свою чергу через драйвер двигунів управляє приводами робота.

На ПК формуються команди переміщення робота залежно від даних з датчиків та положення інших роботів. Всі розрахунки проводяться на ПК, і відразу ж обчислюються значення ШІМ для лівого і правого двигунів.

Через Wi Fi передаються команди виду:

$$L-255 \ \ rR-120 \ \ r$$

L – команда для лівого двигуна, R – для правого;

“-“ позначає обертання двигунів для руху назад;

255 - число ШІМ, для Arduino це максимальна швидкість обертання

\ R - кінець команди.

За цією командою платформа буде рухатися назад і трохи повертати в праву сторону, тому правий двигун буде обертатися повільніше лівого.

$$L255 \ \ rR-255 \ \ r$$

За цією командою лівий двигун буде обертатися вперед, а правий – назад, що змусить платформу робота обертатися навколо своєї осі проти годинникової стрілки.

У програмі контролера передбачений таймер, який відключає двигуни, якщо остання команда була отримана більш, ніж n-секунд тому. Встановлення кількості секунд зберігається в EEPROM пам'яті контролера.

Для роботи з пам'яттю мікроконтролера передбачені команди  $F_r$  – читання значень і  $F_w$  – запис значень.

## ВИСНОВКИ

У роботі наведено рішення завдання, що полягає у дослідженні комп'ютерно-інтегрованої автоматизованої системи роботи складу магазину із використанням автоматичних транспортних засобів, розробки систем управління ними, пов'язаних з базою даних інтернет-магазину.

Проаналізовано роботу складу шляхом порівняння існуючої системи управління з комп'ютерно-інтегрованою автоматизованою системою за допомогою методів теорії масового обслуговування, а саме, розглянуто алгоритм розрахунку показників якості функціонування багатоканальної системи, при цьому автоматизована система роботи складу практично не виходить за межі стійкості та забезпечує безперебійну роботу і мінімізацію витрат.

Розроблено автоматичний транспортний засіб і запропоновано систему його навігації, що базується на принципі радіочастотної ідентифікації, яка складається зі зчитуючого пристрою та пасивного трансподера (відомого як RFID-мітка або тег). Така схема руху транспортного засобу дозволяє підвищити точність, збільшити швидкість і тим самим збільшити продуктивність системи без значних фінансових вкладень порівняно з традиційними рішеннями.

Розроблено програмне забезпечення автоматизованої системи керування, що складається з програми для плати Arduino Mega 2560 та програми управління на ПК.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кеніг Д., Штойян Д. Методи теорії масового обслуговування: Пер. з нім. / Під. ред. Г.П.Клімова. М., 1981.
2. Сааті Т.Л.. Елементи теорії масового обслуговування і її застосування: Пер. з англ. / Під. ред. І.М. Коваленко, Видання 2. М., 1971.
3. Василюк А. Інтелектуальна система «Інтернет-магазин музичного обладнання» / А. Василюк // Збірник наукових праць Вісник НУ «Львівська політехніка» Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – Львів : Видавництво Львівської політехніки. – Вип. № 751. – С. 373-381.
4. [http://www.emarketer.com/public\\_media/docs/eMarketer\\_eTailWest2016\\_Worldwide\\_ECommerce\\_Report.pdf](http://www.emarketer.com/public_media/docs/eMarketer_eTailWest2016_Worldwide_ECommerce_Report.pdf)
5. Mehrdad Ehsani Yimin Gao, Sebastien E. Gay, Ali Emadi Modern Electric, Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicles Fundamentals, Theory and Design, CRC Press LLC, pp.108.
6. Berman, S., Schechtman, E., &Edan, Y. Evaluation of automatic guided vehicle systems. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. – 25(3), 2009. – pp. 522-528.
7. Battin, R. H. "Space guidance evolution - A personal narrative". Journal of Guidance Control Dynamics, 1982.
8. AGV Guidance Technologies / SilkeSchael (SIS) 02/2012 /2 Götting KG
9. The supply chain handbook James A. Tompkins, Ph.D. and Dale Harmelink, Tompkins Press 2004, 498 pages ISBN-10: 1930426038, pp. 248-265.
10. Pence, I.W., E.M. & Malstrom The evolution of material handling. In I.W. & Pence (Ed.), The Materials Handling Engineering Division 75 Anniversary Commemorative Volume, 1994, pp. 161. New York City: American Society of Mechanical Engineers.
11. Müller T. Automated Guided Vehicles, IFS, Limited, 1983. – pp. 290.
12. Clayton, D. Automated guided vehicles. In R.H. & Hollier (Ed.), Oxford: Cotswold Press, 1983. – pp. 257.

13. Oskarsson, M., K. & Åström Accurate and automatic surveying of beacon positions for a laser guided vehicle. Dept. of Mathematics, Lund Institute of Technology, Sweeden, 1998.

14. Automated Guided Vehicle Systems: a Driver for Increased Business Performance, International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2008 Vol II, Lothar Schulze, Sebastian Behling, and Stefan Buhrs, c. 30.

## ДОДАТКИ

## Додаток 1

## Програма в середовищі Wolfram Mathematica

```

PROG1.nb * - Wolfram Mathematica 10.4
File Edit Insert Format Cell Graphics Evaluation Palettes Window Help

mu = 15; (*інтенсивність обсл. одного оператора в загальному*)
n = 12; (*кількість операторів*)
lambda = 37; (*заявок за годину*)
"ro="
ro = lambda/mu (*якщо ro < n черга не буде зростати*)
(*if[ro > n, ro = 28.8]*)
"A="
A = lambda (*абсолютна пропускна здатність*)
nmin = 0; (*початкове значення сумми*)
nmax = n - 1; (*кінцеве значення сумми*)
"ймовірність того, що у операторів відсутні замовлення:"
"PO="
PO = (Sum[ro^x/x!, {x, nmin, nmax}] + (ro^n / (n! * (n - ro)))) ^ (-1)
      |сума
"ймовірність утворення черги:"
"Ruch="
Ruch = (ro^(n + 1) / (n! * (n - ro))) * PO
"середнє число зайнятих операторів"
"Kz="
Kz = A / mu
"середнє число покущів, що стоять в черзі"
"Lch="
Lch = ((ro^(n + 1)) / (n * n! * ((1 - ro/n) ^ 2))) * PO
"середній час очікування в черзі"
"Tch="
Tch = Lch / lambda
"середнє число заявок в системі"
"Lsys="
Lsys = Lch + ro
"середній час перебування заявки в СМО"
"Tsyst="
Tsyst = Lsys / lambda

```

## Додаток 2

Таблиця 1 – Показники ефективності багатоканальної системи масового обслуговування з необмеженою чергою

<b>Година</b>	<b>7:00</b>	<b>8:00</b>	<b>9:00</b>	<b>10:00</b>	<b>11:00</b>	<b>12:00</b>	<b>13:00</b>	<b>14:00</b>
$\lambda$	43	80	212	310	340	160	140	256
$\rho$	4	7	19	28	30	15	13	23
$A$	43	80	212	310	340	160	140	256
$\rho_0, \%$	77	61	0	0	0	4	11	0
$P_{уч}, \%$	0	0	100	100	100	8,6	2,8	100
$\bar{k}_3$	3	5	11	11	11	11	10	11
$L_q$	0	0	17	32	41	0	0	23
$T_q, \text{год.}$	0	0	0,14	0,4	0,6	0	0	0,22
$L_{сист}$	0,26	0,48	37	68	79	1,45	1,28	41
$T_{сист}, \text{год.}$	0	0	0,34	0,86	0,92	0	0	0,48
<b>Година</b>	<b>15:00</b>	<b>16:00</b>	<b>17:00</b>	<b>18:00</b>	<b>19:00</b>	<b>20:00</b>	<b>21:00</b>	<b>22:00</b>
$\lambda$	330	410	374	345	270	60	58	45
$\rho$	30	37	34	31	25	5	5	4
$A$	330	410	374	345	270	60	58	45
$\rho_0, \%$	0	0	0	0	0	74	73	72
$P_{уч}, \%$	100	100	100	100	100	0	0	0
$\bar{k}_3$	11	11	11	11	11	4	4	3
$L_q$	34	51	48	45	27	0	0	0
$T_q, \text{год.}$	0,52	0,86	0,73	0,68	0,31	0	0	0
$L_{сист}$	61	92	84	80	47	0,34	0,33	0,28
$T_{сист}, \text{год.}$	0,89	1,31	1,08	0,98	0,52	0	0	0

Таблиця 2 – Показники ефективності *автоматизованої* багатоканальної системи масового обслуговування з необмеженою чергою

<b>Година</b>	<b>7:00</b>	<b>8:00</b>	<b>9:00</b>	<b>10:00</b>	<b>11:00</b>	<b>12:00</b>	<b>13:00</b>	<b>14:00</b>
$\lambda$	43	80	212	310	340	160	140	256
$\rho$	0,33	0,44	0,58	0,86	0,94	0,44	0,39	0,71
$A$	43	80	212	310	340	160	140	256
$\rho_0, \%$	88	77	41	13	5	55	61	28
$P_{уч}, \%$	1	4	34	74	89	20	15	50
$\bar{k}_3$	1	1	1	1	1	1	1	1
$L_q$	0	0	0,84	5,3	16	0,35	0,24	1,75
$T_q, \text{год.}$	0	0	0	0,02	0,05	0,002	0,001	0,006
$L_{сист}$	0,13	0,28	1,4	6,2	17	0,8	0,63	2,46
$T_{сист}, \text{год.}$	0	0	0	0,02	0,05	0,005	0,004	0,01
<b>Година</b>	<b>15:00</b>	<b>16:00</b>	<b>17:00</b>	<b>18:00</b>	<b>19:00</b>	<b>20:00</b>	<b>21:00</b>	<b>22:00</b>
$\lambda$	330	410	374	345	270	60	58	45
$\rho$	0,91	1,13	1,03	0,96	0,75	0,17	0,16	0,12
$A$	330	410	374	345	270	60	58	45
$\rho_0, \%$	8	0	0	4	25	83	83	87
$P_{уч}, \%$	84	100	100	91	56	2	2	1
$\bar{k}_3$	1	1	1	1	1	1	1	1
$L_q$	10	21	17	13	3	0,03	0	0
$T_q, \text{год.}$	0,03	0,1	0,08	0,06	0,008	0	0	0
$L_{сист}$	11	20	18	13	3	0,2	0	0
$T_{сист}, \text{год.}$	0,03	0,1	0,08	0,06	0,01	0	0	0

**Візуалізації роботи автоматизованої складської системи  
інтернет-магазину  
(3D-моделі у системі автоматизованого проектування *SolidWorks* )**

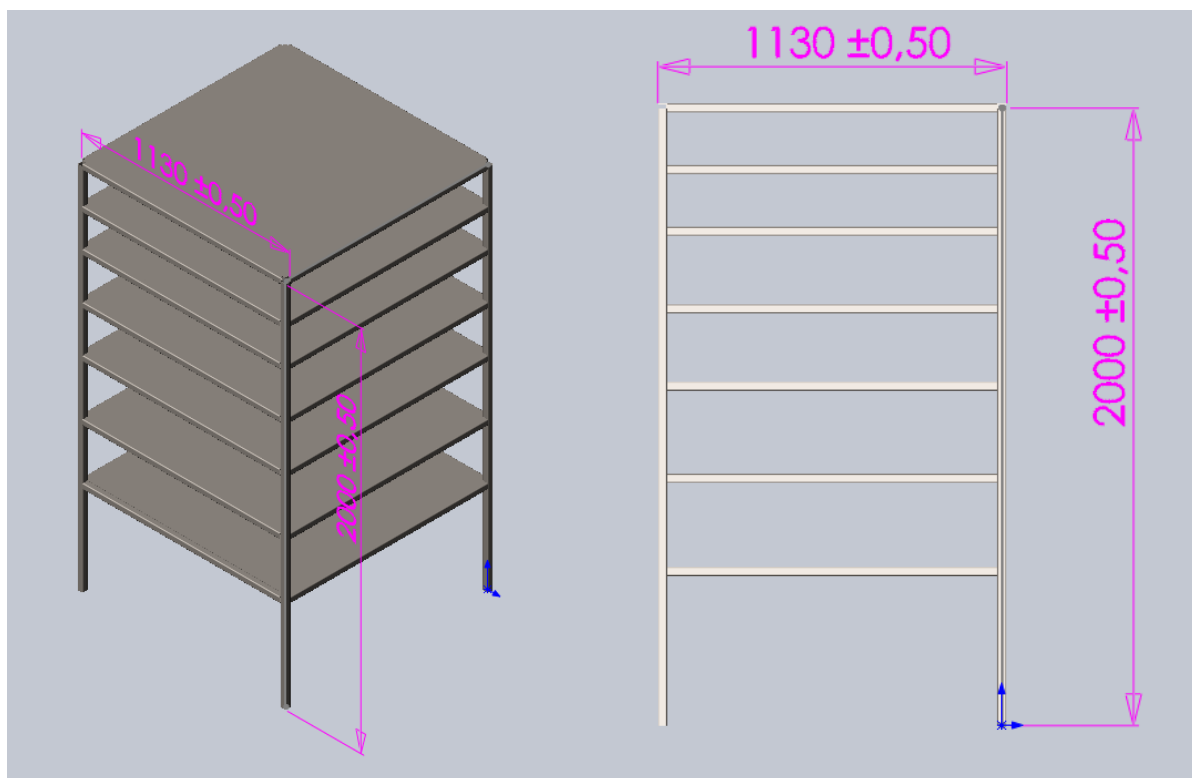


Рисунок 1 – Загальний вигляд рухомого стелажа

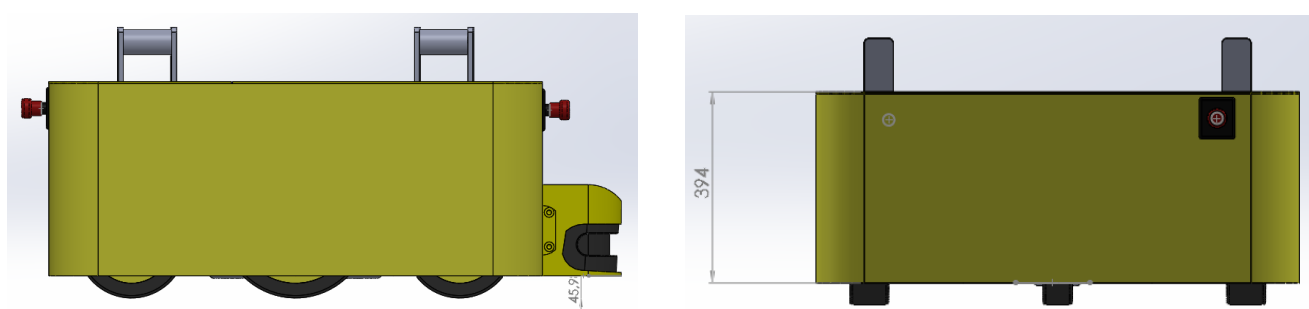


Рисунок 2 – Автоматичний транспортний засіб



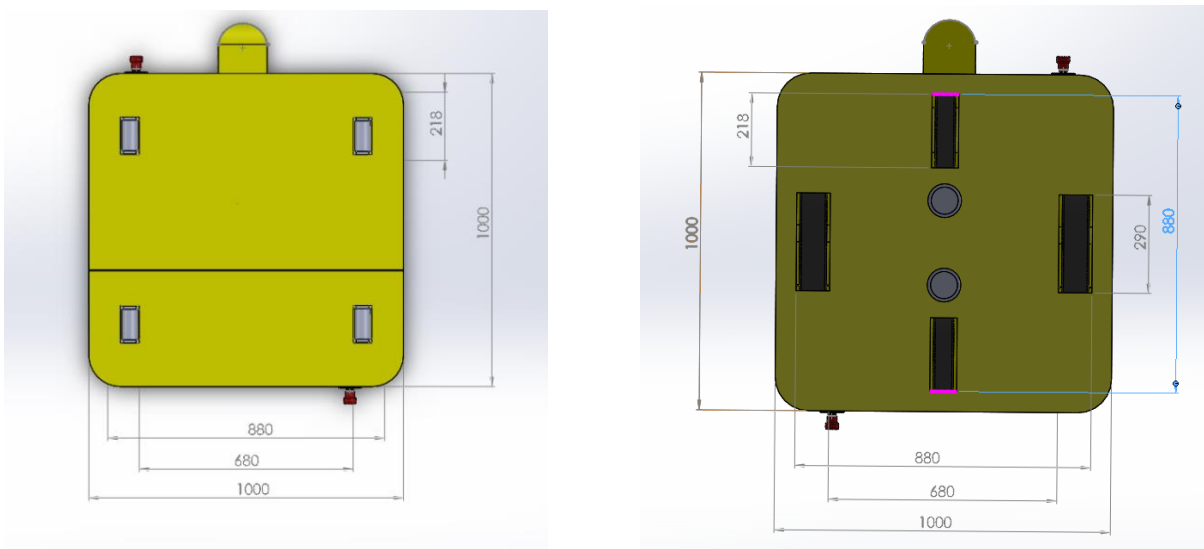


Рисунок 3 – Автоматичний транспортний засіб (вигляд зверху і знизу)

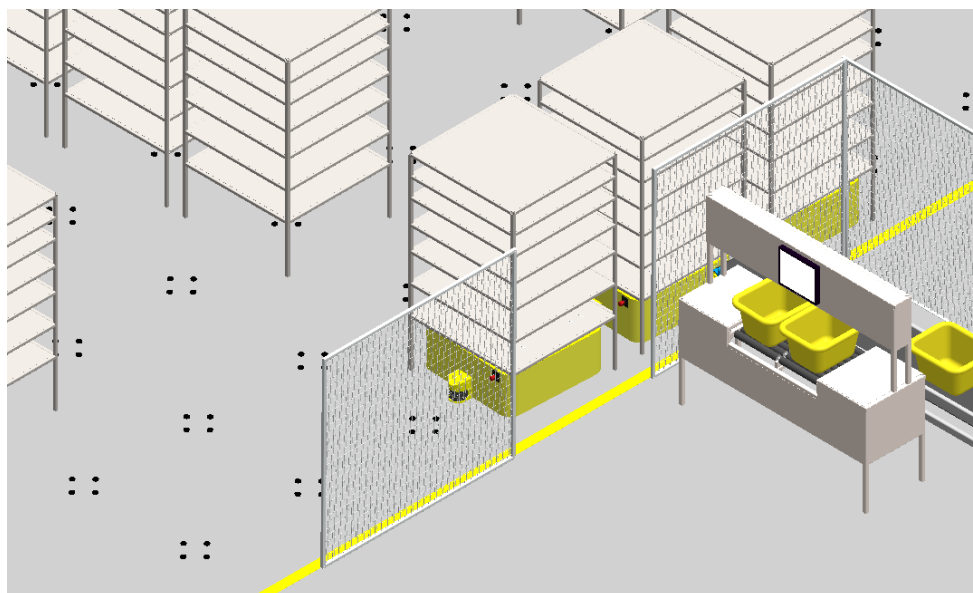


Рисунок 4 – Вигляд робочого місця

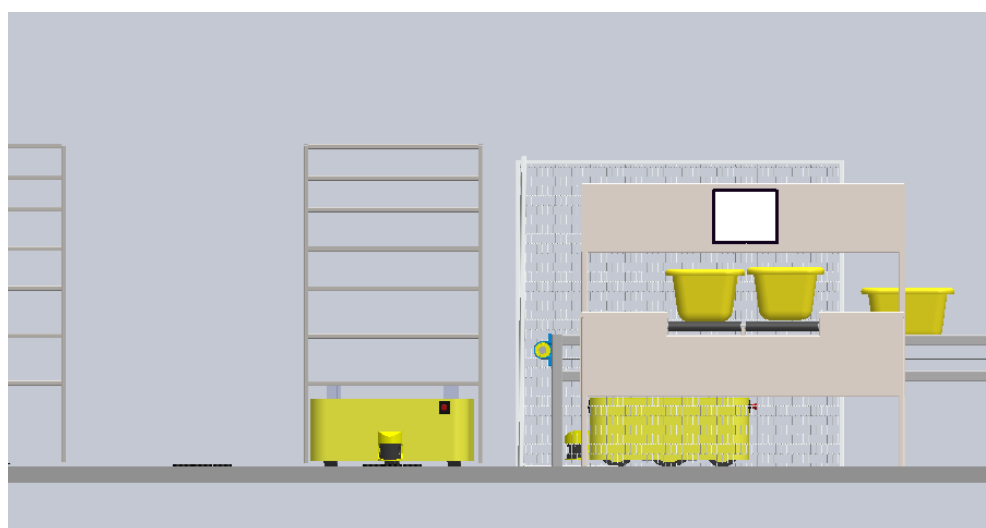


Рисунок 5 – Робоче місце оператора

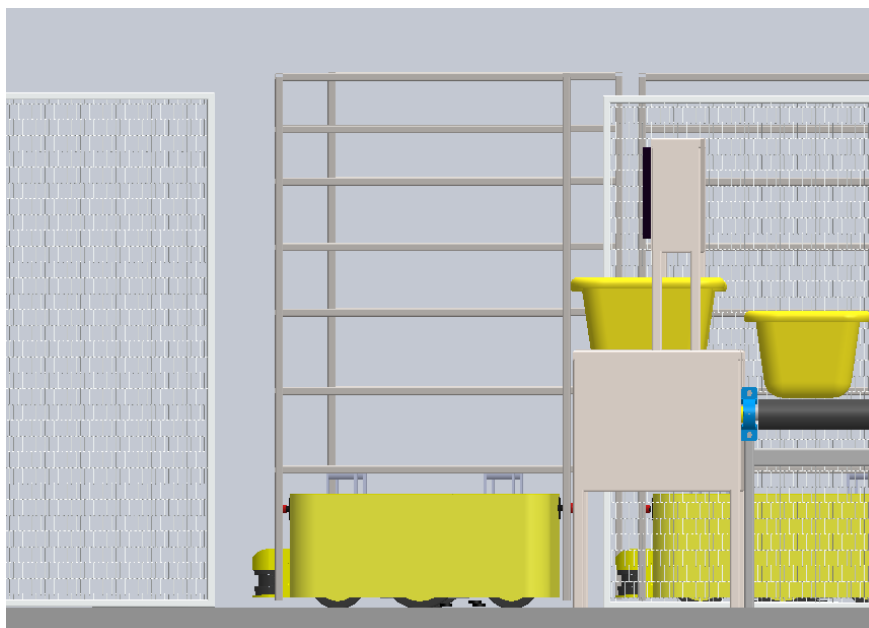


Рисунок 6 – Робоче місце оператора (вигляд збоку)

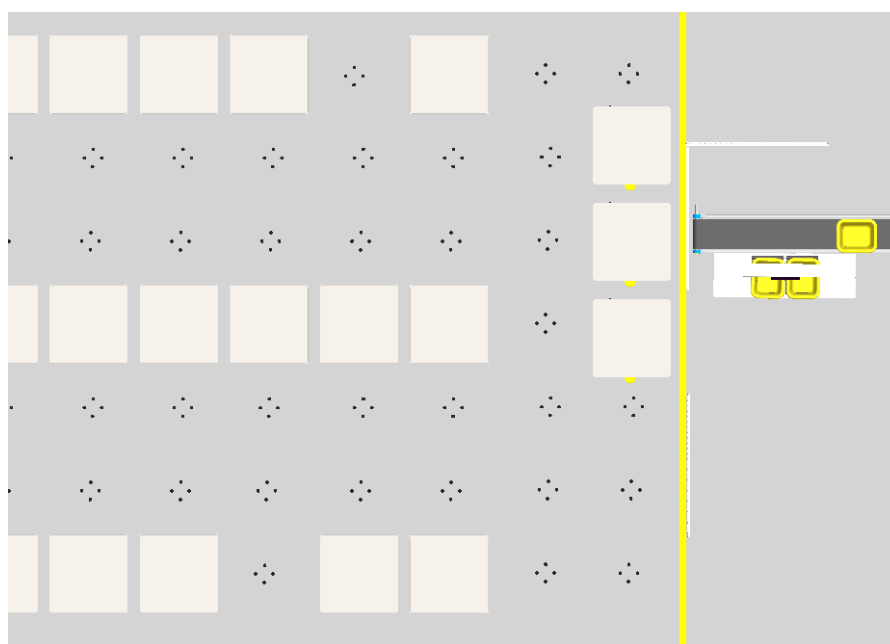


Рисунок 7 – Склад (загальний вигляд зверху)

Принципова схема плати розширення

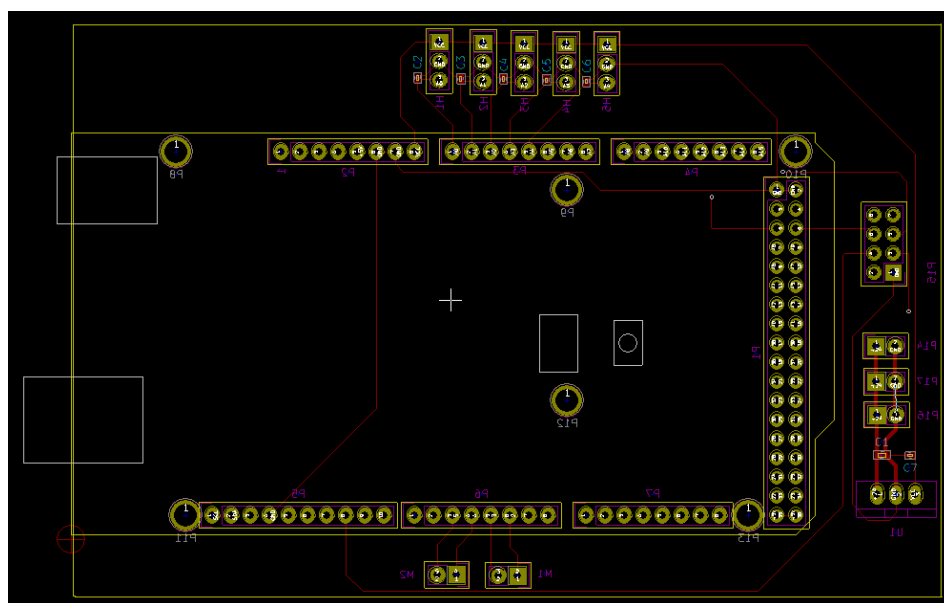
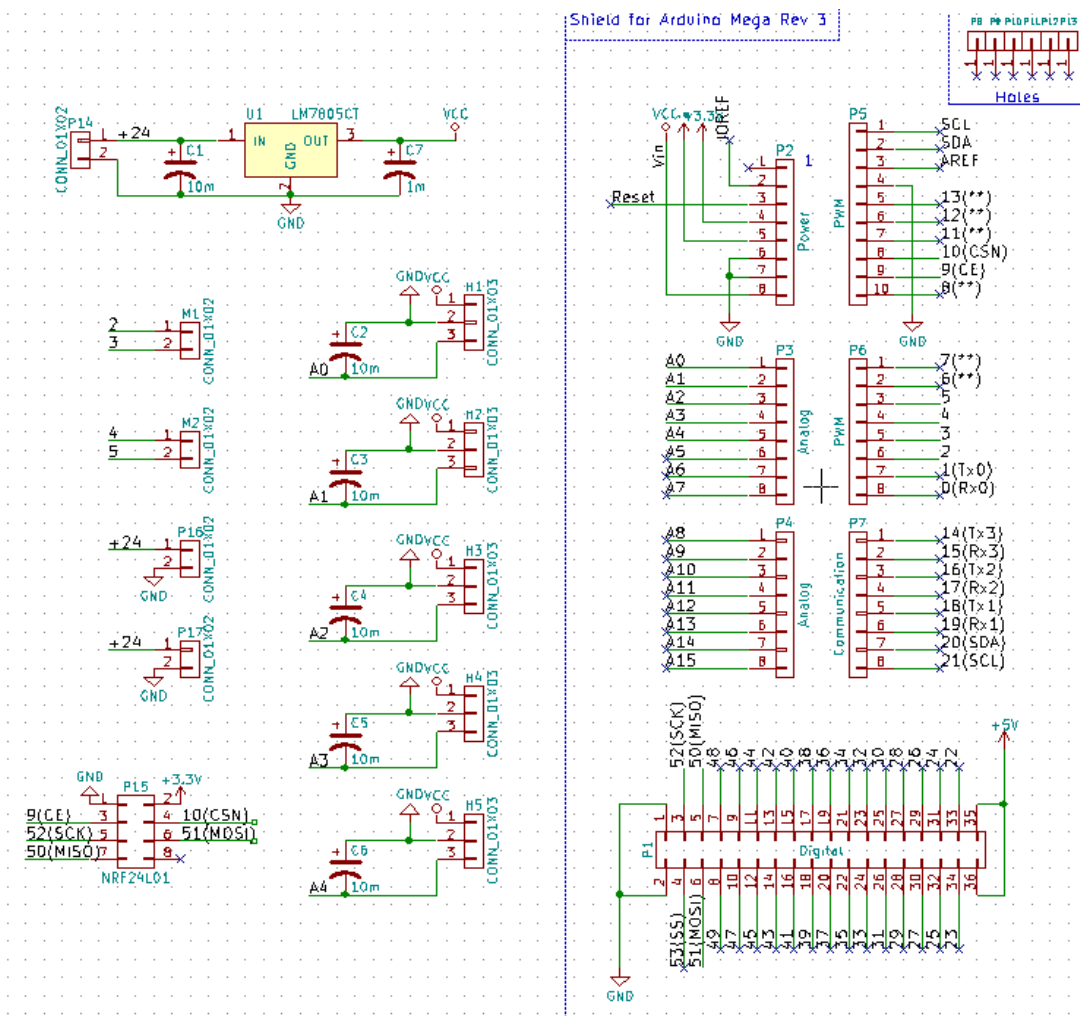


Рисунок 8 – Загальний вигляд друкованої плати (вигляд зверху)

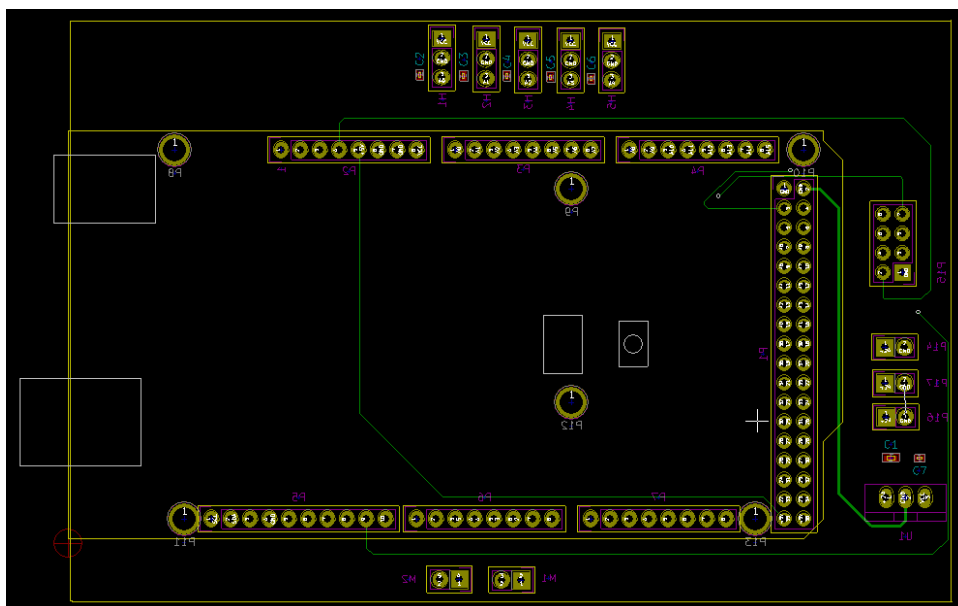


Рисунок 9 – Загальний вигляд друкованої плати (вигляд знизу)

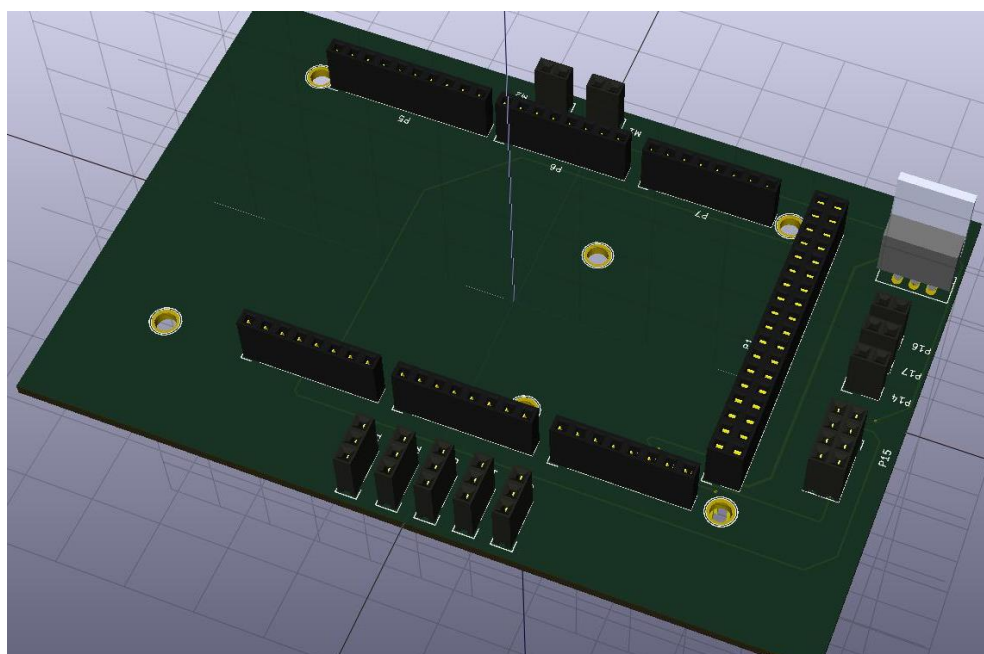


Рисунок 10 – 3D-зображення плати

## Додаток 5

## Розробка схеми силового драйвера в середовищі KiCad

Принципову схему силового драйвера для автоматичного транспортного засобу було розроблено в середовищі програми KiCad (рис. 11)

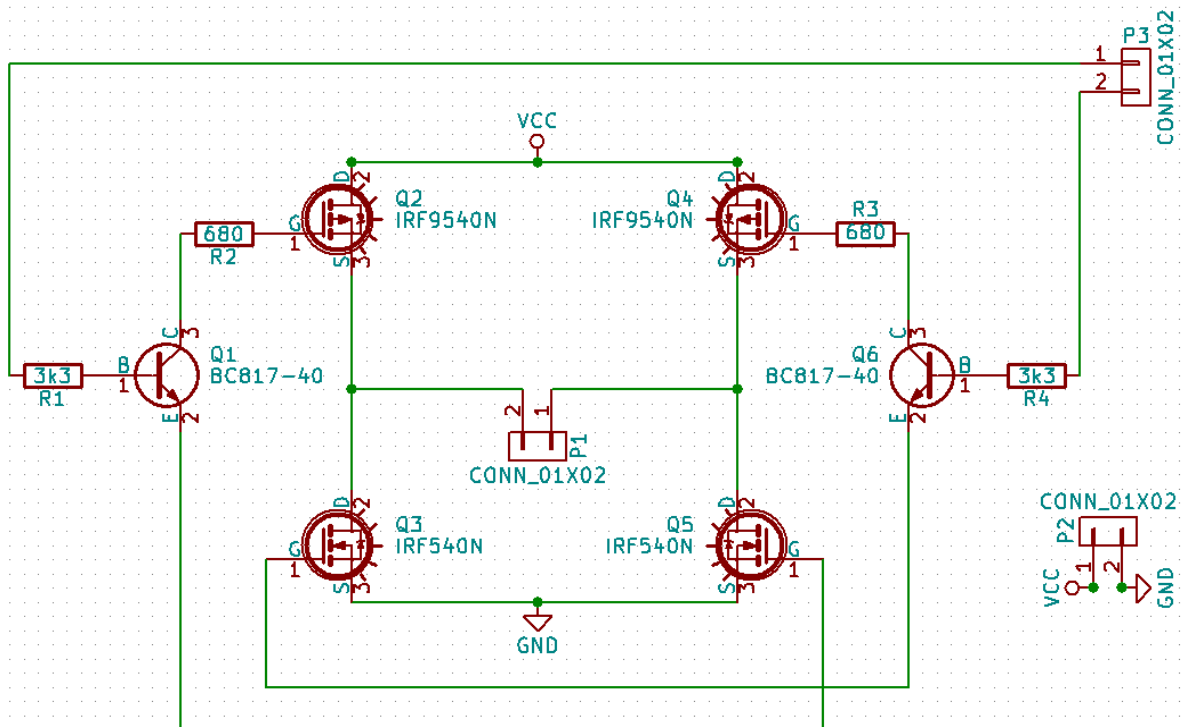


Рисунок 11 – Розроблена схема в середовищі KiCad

Н-міст виконаний на транзисторах Q2, Q3, Q4, Q5, а за допомогою додаткових транзисторів Q1, Q6 виконано об'єднання управління синфазними ключами (сигнал А управляє транзисторами Q2 і Q5, сигнал В - транзисторами Q4 і Q3).

Принцип роботи схеми наступний. Коли рівень сигналу А стає високим - починає текти струм через резистор R1 і р-п переходи БЕ транзисторів Q1 і Q5, ці транзистори відкриваються, в результаті чого з'являється струм через перехід БЕ транзистора Q2, резистор R2 і відкритий транзистор Q1, в результаті чого відкривається транзистор Q2 .

Коли рівень сигналу А стає низьким - замикаються р-п переходи БЕ транзисторів Q1 і Q5, ці транзистори закриваються, припиняє текти струм через перехід БЕ транзистора Q2 і він теж закривається.

Розраховуємо номінали елементів схеми елементи. Напруга живлення 24В, максимальний струм двигуна 25А, сигнал управління 5-ти вольт (станом "1" відповідає рівень напруги 5В, станом "0" - рівень близько нуля вольт).

Спочатку вибираємо транзистори Q2, Q3, Q4, Q5 вони повинні витримати напругу 24В і струм 25А, IRF540N (npn) і його компліментарний пара – IRF9540N (pnp). Ці транзистори розраховані на струм до 33 Ампер, напруга до 100 Вольт і мають коефіцієнт посилення 40.

Розраховуємо мінімальний струм управління транзисторів Q2,

$$Q5: 33A / 100 = 33 \text{ mA.}$$

Розраховуємо резистор R2, вважаючи, що на рп переходах БЕ транзисторів Q2, Q4 і на відкритому транзисторі Q1 падає по 0,5 В:  $(24-3 * 0,5) / 33 = 681\text{Ом}$ . Це максимальний опір, при якому ми отримаємо потрібний струм управління, тому ми виберемо найближче менше значення із стандартного ряду: 680 Ом. При цьому наш ток управління буде  $(24-3 * 0,5) / 680 = 33 \text{ mA}$ , а розсіюється на резисторі потужність:  $U^2 / R = 847 \text{ мВт}$ . Тобто резистор треба ставити на 1 Вт

Транзистор Q1 повинен витримувати 24В і струм 33 мА. вибираємо, ВСВ17-40 (45 Вольт, 0.8 А, мінімальний коефіцієнт посилення 30).

Розраховуємо його струм управління:  $33 \text{ mA} / 30 = 1,1 \text{ mA}$ .

Розраховуємо резистор R1, вважаючи, що на переходах БЕ транзисторів Q1 і Q5 падає по 0,5 В:  $(5-2 * 0,5) / 1.1 = 3.6 \text{ кОм}$ . Вибираємо найближче менше значення із стандартного ряду: 3,3 кОм. При цьому струм управління Q1 буде 1,2 мА і на ньому буде розсіюватися 12,1 мВт тепла (тобто підійде звичайний резистор на 0,125 Вт).

В якості силових ключів верхнього плеча Н-мосту використано Р-канальні MOSFET транзистори IRF9540N виробництва Infineon technologies, що керуються логічним рівнем TTL.

В якості силових ключів нижнього плеча Н-мосту використано N- канальні MOSFET транзистори IRF540N, що керуються логічним рівнем TTL.

## Додаток 6

## Розробка друкованої плати силового драйвера електродвигуна

Макет друкованої плати розроблено у програмі KiCad

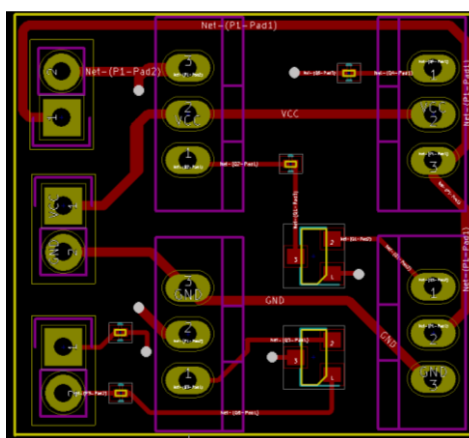


Рисунок12 – Загальний вигляд друкованої плати (вигляд зверху)

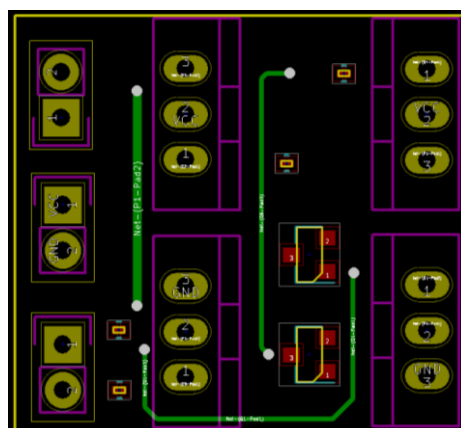


Рисунок 13 –. Загальний вигляд друкованої плати (вигляд знизу)

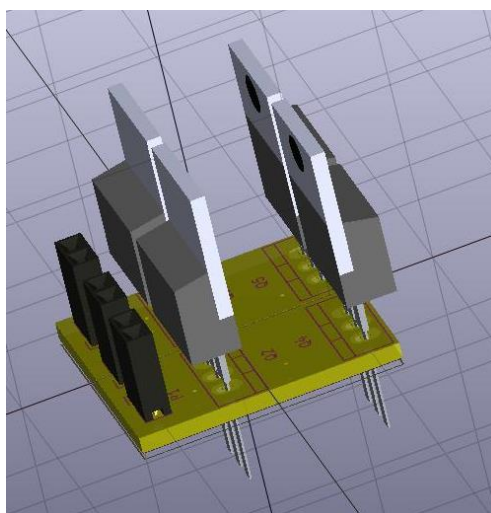
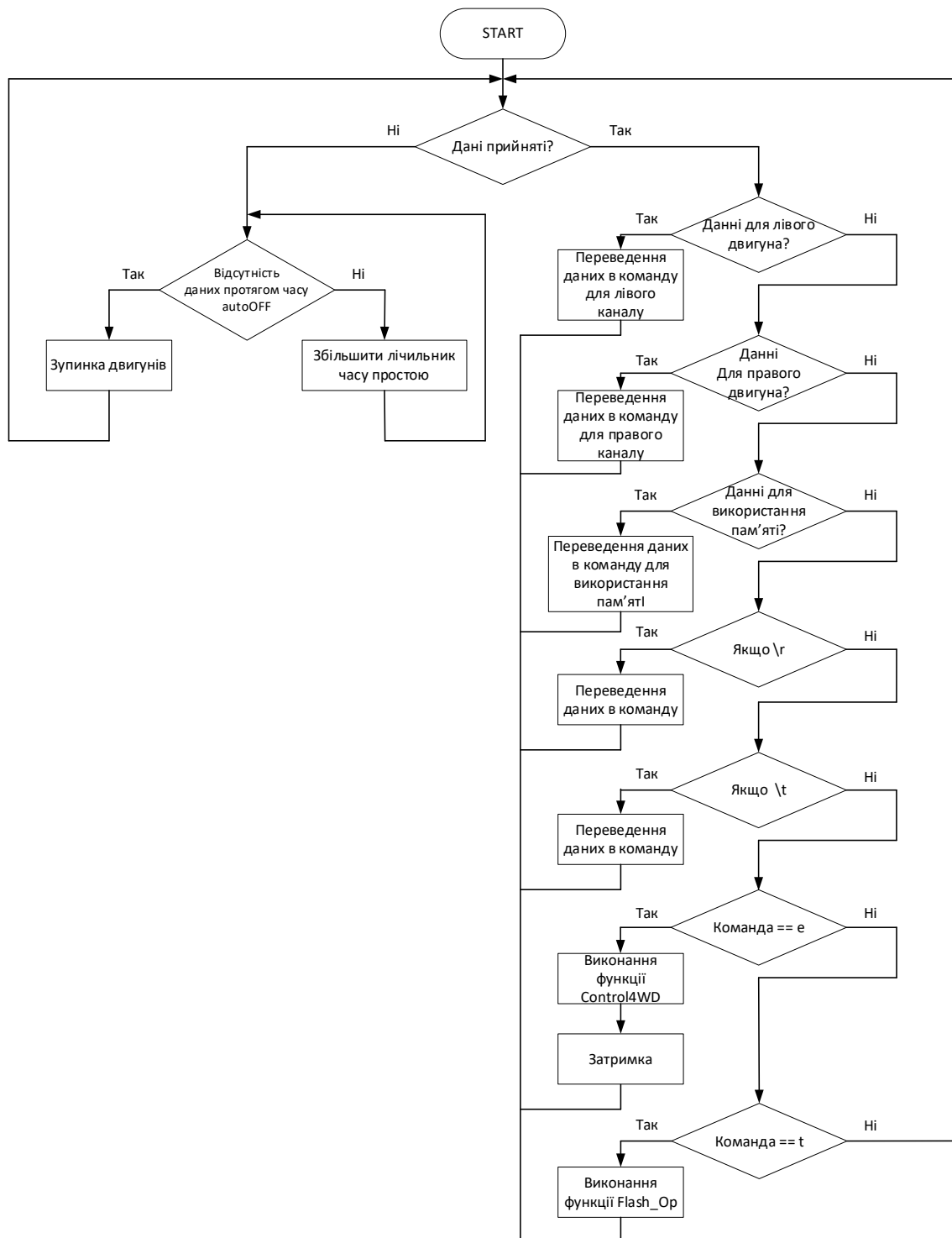


Рисунок 14 – 3D зображення плати

## Додаток 7

## Блок схема основної функції void loop()





**Додаток 8****Текст програми для мікропроцесорної плати Arduino Mega 2560**

```
#include "EEPROM.h"
#define IN1 3
#define IN2 4
#define EN1 2
#define IN3 5
#define IN4 6
#define EN2 7
#define HORN 13
#define echoPin 9
#define trigPin 8
#define cmdL 'L'
#define cmdR 'R'
#define cmdH 'H'
#define cmdF 'F'
#define cmdr 'r'
#define cmdw 'w'
char incomingByte;
char L_Data[4];
byte L_index = 0;
char R_Data[4];
byte R_index = 0;
char H_Data[1];
byte H_index = 0;
char F_Data[8];
byte F_index = 0;
char command;
unsigned long currentTime, lastTimeCommand, autoOFF, loopTime;
void setup() {
    Serial.begin(9600);
    pinMode(HORN, OUTPUT);
    pinMode(IN1, OUTPUT);
    pinMode(IN2, OUTPUT);
    pinMode(IN3, OUTPUT);
    pinMode(IN4, OUTPUT);
    pinMode(EN1, OUTPUT);
    pinMode(EN2, OUTPUT);
    pinMode(trigPin, OUTPUT);
    pinMode(echoPin, INPUT);
    currentTime = millis();
    loopTime = currentTime;
    timer_init();
}
```

```

void timer_init() {
    uint8_t sw_autoOFF = EEPROM.read(0);
    if(sw_autoOFF == '1'){
        char var_Data[3];
        var_Data[0] = EEPROM.read(1);
        var_Data[1] = EEPROM.read(2);
        var_Data[2] = EEPROM.read(3);
        autoOFF = atoi(var_Data)*100;
    }
    else if(sw_autoOFF == '0'){
        autoOFF = 999999;
    }
    else if(sw_autoOFF == 255){
        autoOFF = 2500;
    }
    currentTime = millis();
}

void loop() {
    if (Serial.available() > 0) {
        incomingByte = Serial.read();
        if(incomingByte == cmdL) {
            command = cmdL;
            memset(L_Data,0,sizeof(L_Data));
            L_index = 0;
        }
        else if(incomingByte == cmdR) {
            command = cmdR;
            memset(R_Data,0,sizeof(R_Data));
            R_index = 0;
        }
        else if(incomingByte == cmdH) {
            command = cmdH;
            memset(H_Data,0,sizeof(H_Data));
            H_index = 0;
        }
        else if(incomingByte == cmdF) {
            command = cmdF;
            memset(F_Data,0,sizeof(F_Data));
            F_index = 0;
        }
        else if(incomingByte == '\r') command = 'e';
        else if(incomingByte == '\t') command = 't';
            if(command == cmdL && incomingByte != cmdL){
                L_Data[L_index] = incomingByte;
                L_index++;
            }
    }
}

```

```

else if(command == cmdR && incomingByte != cmdR){
    R_Data[R_index] = incomingByte;
    R_index++;
}
else if(command == cmdH && incomingByte != cmdH){
    H_Data[H_index] = incomingByte;
    H_index++;
}
else if(command == cmdF && incomingByte != cmdF){
    F_Data[F_index] = incomingByte;
    F_index++;
}
else if(command == 'e'){
    Control4WD(atoi(L_Data),atoi(R_Data),atoi(H_Data));
    delay(10);
}
else if(command == 't'){

Flash_Op(F_Data[0],F_Data[1],F_Data[2],F_Data[3],F_Data[4]);
}
    lastTimeCommand = millis();
}
if(millis() >= (lastTimeCommand + autoOFF)){
    Control4WD(0,0,0);
}
}

void Control4WD(int mLeft, int mRight, uint8_t Horn){
    if(mLeft > 0)
        if (echo() <=20){
            digitalWrite (EN1, LOW);
            digitalWrite (IN1, LOW);
            digitalWrite (IN2, LOW);
        }else{
            analogWrite(EN1, mLeft);
            digitalWrite (IN1, LOW);
            digitalWrite (IN2, HIGH);
        }
    else if(mLeft < 0){
        analogWrite(EN1, abs(mLeft));
        digitalWrite (IN1, HIGH);
        digitalWrite (IN2, LOW);
    }
    else {
        digitalWrite (EN1, LOW);
        digitalWrite (IN1, LOW);
        digitalWrite (IN2, LOW);
    }
}

```

```

}
if(mRight > 0)
  if (echo() <=20){
    digitalWrite (EN2, LOW);
    digitalWrite (IN3, LOW);
    digitalWrite (IN4, LOW);
  }else{
    analogWrite(EN2, mRight);
    digitalWrite (IN3, LOW);
    digitalWrite (IN4, HIGH);
  }
else if(mRight < 0){
  analogWrite(EN2, abs(mRight));
  digitalWrite (IN3, HIGH);
  digitalWrite (IN4, LOW);
  }
else {
  digitalWrite (EN2, LOW);
  digitalWrite (IN3, LOW);
  digitalWrite (IN4, LOW);
  }
digitalWrite(HORN, Horn);
}

void Flash_Op(char FCMD, uint8_t z1, uint8_t z2, uint8_t z3,
uint8_t z4){
  if(FCMD == cmdr){
    Serial.print("FData:");
    Serial.write(EEPROM.read(0));
    Serial.write(EEPROM.read(1));
    Serial.write(EEPROM.read(2));
    Serial.write(EEPROM.read(3));
    Serial.print("\r\n");
  }
  else if(FCMD == cmdw){
    EEPROM.write(0, z1);
    EEPROM.write(1, z2);
    EEPROM.write(2, z3);
    EEPROM.write(3, z4);
    timer_init();
    Serial.print("FWOK\r\n");
  }
}

float echo() {
  long duration, distance;
  digitalWrite(trigPin, LOW);

```

```
delayMicroseconds(2);  
digitalWrite(trigPin, HIGH);  
delayMicroseconds(10);  
digitalWrite(trigPin, LOW);  
duration = pulseIn(echoPin, HIGH);  
distance = duration/58.2;  
return(distance);  
}
```