

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Приладобудівний факультет

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Юрій КИРИЧУК

“\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2023 р.

**Дипломний проєкт**

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Комп’ютерно-інтегровані технології  
проектування приладів»

спеціальності 151 «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології»

на тему:

**Система автоматизованого контролю переміщень транспортного засобу**

Виконав: студент 3 курсу, групи ПМ-п01

(шифр групи)

Медвідь Максим Володимирович

(прізвище, ім’я, по батькові)

Керівник доцент, к.т.н. Писарець Анна Валеріївна

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

Консультант \_\_\_\_\_

(назва розділу)

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

Рецензент доцент, к.т.н., Козир Олег Васильович

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

Засвідчую, що в цьому дипломному проєкті немає  
запозичень з праць інших авторів без відповідних  
посилань.

Студент \_\_\_\_\_

Київ – 2023 року

## ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проєкт	2	
	A4	ДПБ.ПМп01.02.1760.00.000.ПЗ	Пояснювальна записка	58	
	A3	ДПБ.ПМп01.02.1760.001.Ос	Кресленик	1	
	A3	ДПБ.ПМп01.02.1760.002.Пел	Кресленик	1	
	A3	ДПБ.ПМп01.02.1760.003.Т	Кресленик	1	
	A3	ДПБ.ПМп01.02.1760.004.Тр	Кресленик	1	
	A3	ДПБ.ПМп01.02.1760.005.Ск	Складальний кресленик	1	
	A3	ДПБ.ПМп01.02.1760.006.Ск	Складальний кресленик	1	
	A2	ДПБ.ПМп01.02.1760.007.ЕЗ	Кресленик	1	
	A2	ДПБ.ПМп01.02.1760.008.Ал	Кресленик	1	
	A4	ДПБ.ПМп01.02.1760.009.ПЕЗ	Перелік елементів	1	
	A4	ДПБ.ПМп01.02.1760.010.Сп	Специфікація	1	
	A4	ДПБ.ПМп01.02.1760.011.Сп	Специфікація	1	
	A3	ДПБ.ПМп01.02.1760.012.Е1	Кресленик	1	
	A1		Плакат	1	
	A1		Плакат	1	

				ДПБ.ПМп01.02.1760.00.000.ПЗ		
	ПІБ	Підп.	Дата	Відомість дипломного проєкту	Лист	Листів
Розробн.	Медвідь				1	1
Керівн.	Писарець				КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. 1760 Гр. ПМ-п01	
Консульт.						
Н/контр.						
Зав.каф.						

**Пояснювальна записка  
до дипломного проєкту**

на тему:

**Система автоматизованого контролю переміщень транспортного засобу**

Київ – 2023 року

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**Приладобудівний факультет**

**Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю**  
Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

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

Освітньо-професійна програма Комп'ютерно-інтегровані технології  
проективання приладів

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Юрій КИРИЧУК

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

на дипломний проєкт студенту

**Медвідю Максиму Володимировичу**

1. Тема проєкту «Система автоматизованого контролю переміщень транспортного засобу \_\_\_\_\_», керівник проєкту Писарець Анна Валеріївна, к.т.н, доцент, затверджені наказом по університету від «\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р. № \_\_\_\_\_
2. Термін подання студентом проєкту \_\_\_\_\_ 07 червня 2023 року
3. Вихідні дані до проєкту : використати ваговимірювальний датчик, потужність тензовимірюючого датчика до 4кВт, гранична вага вимірювання 100 кг, найбільший струм 1 А, живлення 5 В.
4. Зміст пояснювальної записки: Загальна характеристика систем відслідковування руху та ваговимірювальних систем. Методи створення систем стеження за переміщенням транспортних засобів. Проектування системи автоматизованого контролю переміщень транспортного засобу
5. Перелік графічного матеріалу

- 5.1. Принципова схема системи (1 арк. ф. А1)  
 5.2. Тензовимірювальна підлога. Складальне креслення (1 арк. ф. А1)  
 5.3. Тензовимірюючий датчик. Складальне креслення (1 арк. ф. А1)  
 5.4. Технології стеження за рухом транспортних засобів. Методи створення систем стеження за переміщенням транспортних засобів (презентація, плакат)

6. Консультанти розділів проєкту\*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 17.04.2023

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
	Ознайомлення із Т.З.	17.04.23 – 19.04.23	
	Проведення аналізу патентних та літературних джерел	17.04.23 – 05.05.23	
	Розроблення структурної і принципової схем системи	01.05.23 – 14.05.23	
	Вибір та розробка основних елементів системи	03.05.23 – 28.05.23	
	Виконання розрахунків	06.05.23 – 25.05.23	
	Виконання пояснювальної записки та графічної частини	26.05.23 – 03.06.23	
	Перевірка на плагіат	07.06.23	

Студент

Максим МЕДВІДЬ

Керівник

Анна ПИСАРЕЦЬ

---

## РЕФЕРАТ

Дипломний проєкт бакалавра на тему «Система автоматизованого контролю переміщень транспортного засобу». Проєкт складається із вступу, трьох розділів, висновків, списку літератури та додатків. Проєкт містить 58 сторінок, 1 таблицю, 19 рисунків, список використаних джерел з 13 найменувань, 10 додатків.

Метою дипломного проєкту є розробка системи автоматизованого контролю переміщень транспортного засобу. У першому розділі проведено огляд та аналіз існуючих систем стеження за рухом транспорту.

У другому розділі розглянуті існуючі технології і методи контролю переміщень рухомих об'єктів.

У третьому розділі розроблено принципова та електрична схеми, розраховано метрологічні характеристики та розроблено конструкцію тензометричного модульного датчика і його можливого встановлення у тензовимірвальну підлогу, яка є зворотнім зв'язком для фіксування переміщень транспорту по її поверхні.

**Ключові слова:** системи відслідковування руху, трекер, тензодатчик.

## ABSTRACT

Bachelor's thesis project on "Automated vehicle movement control system". The project consists of an introduction, three chapters, conclusions, a list of references and appendices. The project consists of 58 pages, 1 table, 19 figures, a list of references consisting of 13 titles, and 10 appendices.

The aim of the project is to develop a system for automated control of vehicle movements. The first chapter reviews and analyses existing vehicle tracking systems.

The second chapter discusses the existing technologies and methods for monitoring the movements of moving objects.

In the third chapter, presents schematic diagrams and electrical circuits, calculate metrological characteristics, and design a strain gauge modular sensor and its possible installation in a strain gauge floor, which is a feedback for capturing vehicle movements on its surface.

**Keywords:** motion tracking systems, tracker, strain gauge.

## Зміст

ВСТУП .....	10
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМ ВІДСЛІДКУВАННЯ РУХУ ТА ВАГОВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ.....	12
1.1 Стеження за рухом транспорту .....	12
1.2 Технології стеження за рухом транспорту .....	14
GPS (Global Positioning System).....	14
RFID (Radio-Frequency Identification).....	17
Bluetooth-маяки.....	18
Навігація за допомогою Wi-Fi .....	21
Геоманітне позиціонування.....	23
Ultra Wideband (UWB) .....	26
Тензовимірювання .....	27
1.3 Висновки по першому розділу .....	27
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ СТВОРЕННЯ СИСТЕМ СТЕЖЕННЯ ЗА ПЕРЕМІЩЕННЯМ ТРАНСПОРТУ .....	29
2.1 Методи стеження за рухом транспорту.....	29
AoA (Angle of Arrival).....	29
Time Difference of Arrival (TDoA) .....	30

					ДПБ.ПМп01.02.1760.00.000.ПЗ				
Змн.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата					
Розроб.		Медвідь М.В.			Система автоматизованого контролю переміщень транспортного засобу		Лім.	Арк.	Акрюшів
Перевір.							8	58	
Реценз.							НТУУ «КПІ» ПБФ, ПМ-п01		
Н. Контр.									
Затверд.		Лисарець А.В.							



TWR (Two-Way Ranging) .....	32
PDoA (Phase Difference of Arrival).....	33
2.2 Висновки по другому розділу .....	34
<b>РОЗДІЛ 3. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО</b>	
<b>КОНТРОЛЮ ПЕРЕМІЩЕНЬ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ .....</b>	<b>35</b>
3.1. Вимоги до проектування системи автоматизованого контролю .....	35
3.2. Розрахунок тензорезистора .....	39
3.3. Розрахунок механічних елементів системи автоматизованого контролю .	46
Пружний елемент .....	46
Тримач .....	48
Прокладка.....	49
Підлоговий покрив .....	49
3.4. Додаткові дані датчика системи автоматизованого контролю .....	49
3.5 Алгоритм роботи системи автоматизованого контролю.....	50
3.6 Знаходження необхідної швидкості керованого транспорту.....	53
3.7 Висновки по третьому розділу .....	54
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>56</b>
<b>ЛІТЕРАТУРА .....</b>	<b>57</b>
<b>ДОДАТКИ.....</b>	<b>59</b>

## ВСТУП

В країні триває війна, неминуче збільшується кількість людей з обмеженнями рухливості (ЛОР). Одним із способів полегшення життя таких людей є розробка та впровадження інноваційних технологій та автоматизованих систем-помічників, які забезпечують доступ до інформації та медичних послуг. Один з таких інтерфейсів - "підлоговий" інтерфейс - ґрунтується на визначенні розподілу маси рухомого об'єкту. Використання систем зважування є ключовим фактором для визначення розподілу маси рухомого об'єкту. Такі системи дозволяють вимірювати масу об'єкта і визначати, де саме на об'єкті знаходиться ЛОР, щоб надати їй доступ до інтерфейсу. Такі системи зважування вже застосовуються в різних галузях, наприклад, в транспортній логістиці, промисловості та медицині. Додатковою перевагою використання систем зважування є те, що вони можуть бути гнучкі та варіативні в своєму застосуванні. Наприклад, можна налаштувати систему зважування для різних типів об'єктів або для різних типів ЛОР, що може забезпечити кращий доступ для різних груп людей. Таким чином, застосування систем зважування для визначення розподілу маси рухомого об'єкту може бути ефективним рішенням для створення підлогового інтерфейсу, що дозволяє людям з обмеженнями рухливості контролювати електронні пристрої за допомогою рухів свого тіла. Такі інтерфейси можуть бути особливо корисними для людей з обмеженнями руху, які не можуть використовувати стандартні інтерфейси, такі як клавіатура або миша, і які не мають доступу до інших форм асистивної технології, таких як пристрої для відтворення мовлення або пристроїв для контролю над середовищем. Крім того, підлогові інтерфейси можуть бути корисними для всіх користувачів,

					<i>ДП.ПМп01.02.1760.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		10

незалежно від наявності обмежень рухливості. Вони можуть бути особливо зручними для використання в презентаціях, виставках, музеях та інших місцях, де користувачам потрібно взаємодіяти з електронними пристроями в незрозумілих середовищах. Зважаючи на те, що кількість людей з обмеженнями рухливості може збільшуватись в умовах війни, розробка та впровадження підлогових інтерфейсів може стати важливим кроком у покращенні якості життя цієї групи людей. Це також може сприяти їхній соціальній інтеграції та включенню в різноманітні аспекти життя. А так як найбільшою проблемою ЛОР є постійне керування транспортом пересування або транспортування власноруч, а також, додаючи, усі ці транспортні засоби, зазвичай не передбачають у собі електронної складової, вирішено створити систему контролю переміщень транспортних засобів, яка б встановлювалася у приміщенні, сприймала деформації, створювані рухом транспортних засобів і людей, на підлогу, і надавала дані у ПК для подальшого аналізу і формуванні команд керованому транспорту. Тобто, для користувача це матиме вигляд легкого простого, при вибиранні обслуговуючого транспорту – за цей час система з-за допомогою тензорезисторної підлоги «запам'ятає» користувача через його вагу і після цього обслуговуючий транспорт почне рух за траєкторією користувача, пристосовуючись до його швидкості. Про траєкторію і швидкість користувача транспорт сповіститься сервером, який надасть йому команду, проаналізувавши дані, отримані від тензорезисторної підлоги.

**Метою** роботи є створення системи автоматизованого контролю переміщень транспортного засобу.

					<i>ДП.ПМп01.02.1760.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		11

# РОЗДІЛ 1.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМ ВІДСЛІДКОВУВАННЯ РУХУ ТА ВАГОВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ

### 1.1 Стеження за рухом транспорту

Системи контролю руху транспорту використовуються для збирання, обробки та передачі інформації про транспортні засоби, що забезпечує можливість ефективного управління транспортним потоком. Такі системи зазвичай складаються з сенсорів, вузлів збору даних, передавачів, обчислювальних пристроїв та програмного забезпечення. Одним з найбільш поширених продуктів у цій галузі є система GPS. GPS дозволяє визначити місцезнаходження транспортного засобу за допомогою супутникової навігації. GPS використовуються як у приватному, так і у комерційному транспорті, а також у системах автоматичного контролю транспортного потоку. Іншою системою контролю руху транспорту є системи детекції транспорту за допомогою відеокамер. Ці системи забезпечують розпізнавання транспортних засобів за допомогою вбудованих алгоритмів комп'ютерного зору та штучного інтелекту. Такі системи зазвичай використовуються на дорогах з великим трафіком, де необхідно збирати велику кількість даних про транспортні засоби [1].

Окрім того, системи контролю руху транспорту включають у себе й системи вимірювання швидкості транспорту за допомогою радарів, системи вимірювання ваги транспортних засобів та системи збору даних про витрати палива. У світі існують різноманітні розробники, які займаються створенням продуктів для

					<i>ДП.ПМп01.02.1760.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		12

систем контролю руху транспорту. Наприклад, компанія TomTom пропонує рішення для моніторингу руху транспорту та управління транспортним потоком за допомогою GPS та інших технологій. Компанія також пропонує послуги з картографування та навігації, які дозволяють використовувати дані про транспортний потік для оптимізації маршрутів та уникнення заторів. Іншим провідним гравцем на ринку є компанія Siemens, яка пропонує інтегровані рішення для моніторингу руху транспорту та управління транспортним потоком. Рішення Siemens включають у себе сенсори, камери, системи радарів та програмне забезпечення, які дозволяють збирати, обробляти та передавати дані про транспортний потік. Крім того, компанія Cubic Transportation Systems пропонує системи контролю руху транспорту, які дозволяють забезпечувати ефективне управління транспортним потоком у великих містах та на транспортних вузлах. Рішення Cubic включають у себе сенсори, камери, системи детекції та програмне забезпечення, які дозволяють збирати, обробляти та передавати дані про доріжний трафік. Узагальнюючи, системи контролю руху транспорту є важливим елементом для забезпечення безпеки на дорогах та ефективного управління транспортним потоком. Різноманітні продукти та рішення, які пропонуються провідними розробниками, дозволяють збирати, обробляти та передавати дані про транспортні засоби, що забезпечує можливість ефективного управління транспортним потоком та зменшення кількості аварій на дорогах. здійснювати ефективне регулювання автомобільного трафіку, що сприяє зменшенню перевантаження доріг та покращенню пропускнуої здатності. Шляхом аналізу зібраних даних та використання інтелектуальних алгоритмів системи контролю руху можуть пропонувати оптимальні маршрути, розподіляти трафік по різних дорожних смугах та встановлювати оптимальні часи роботи світлофорів.

					<i>ДП.ПМп01.02.1760.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		13

## 1.2 Технології стеження за рухом транспорту

**GPS (Global Positioning System)** - це навігаційна система, яка складається з супутників, які обертаються навколо Землі та земних приймачів, що отримують сигнали від цих супутників [2]. Система розроблена та контролюється Департаментом оборони США, але вона відкрита для цивільних користувачів та використовується по всьому світу(рис.1.1).



Рисунок 1.1 – Сфери застосувань GPS [2]

GPS дозволяє користувачам точно визначати своє місцезнаходження на земній поверхні. Приймачі GPS отримують сигнали від трьох або більше супутників та використовують цю інформацію для розрахунку свого місцеперебування. GPS використовується для навігації в повітряному, морському

Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата

*ДП.ПМп01.02.1760.00.000.ПЗ*

Арк.

14

та наземному транспорті, для позиціонування наукових досліджень та для місцезнаходження в аварійних ситуаціях [3] ( рис.1.2).



Рисунок 1.2 – Позиціонування за допомогою трьох супутників [3]

GPS має декілька ключових переваг:

- забезпечення точного визначення місцеперебування в режимі реального часу;
- надійність технології;
- доступність (поширеність) технології, підтвердженням чого є застосування по всьому світу;

Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата

*ДП.ПМп01.02.1760.00.000.ПЗ*

Арк.

15

- можливість визначення місцезнаходження в будь-який час та в будь-яких умовах, включаючи погодні умови та нічний час.

Однак, GPS має і свої обмеження: сигнал GPS не може пройти через стіни будинків та інші перешкоди, тому в приміщеннях користування GPS є обмеженим (рис. 1.3); завадами сигналу є металеві конструкції, що знижує точність позиціонування [4].

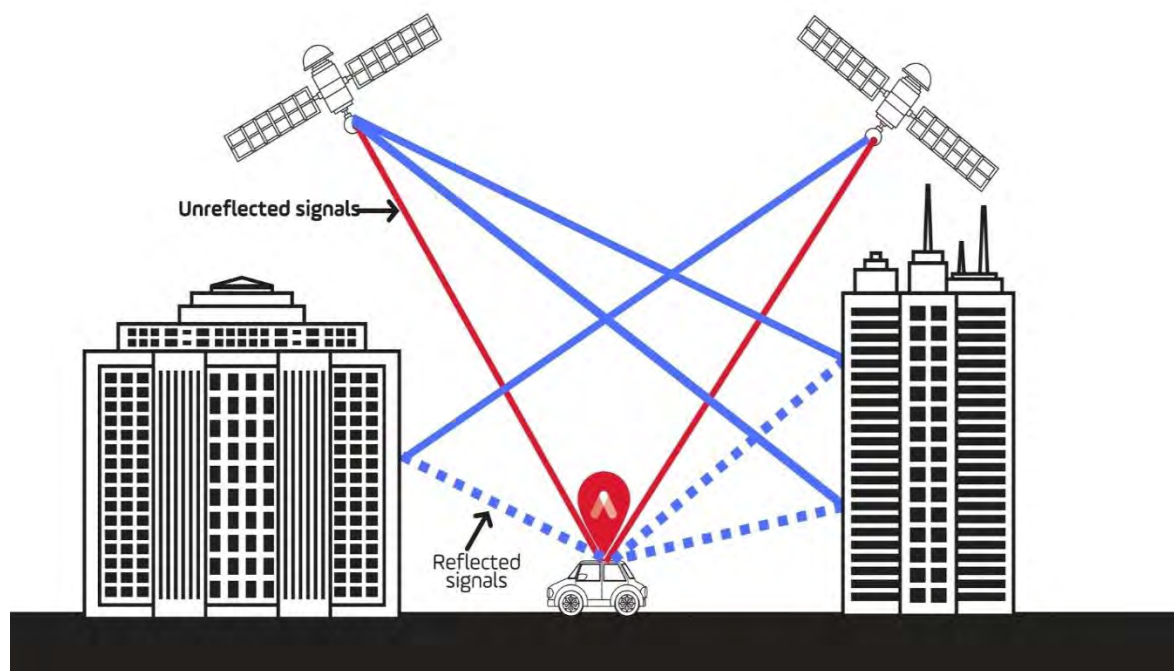


Рисунок 1.3 - Перешкоди та відбиття сигналу GPS [4]

Незважаючи на це, GPS залишається важливою технологією для навігації та місцезнаходження. У сучасному світі GPS використовується в різних сферах, включаючи автомобільну та повітряну навігацію, морську навігацію, туризм, спорт та геодезію. Також GPS використовується для створення мап, віртуальних турів та для більш точного визначення часу.

Для проектуємої системи автоматизованого контролю руху транспорту технологія GPS хоч і має широку зону покриття, але занадто низьку точність.



**RFID (Radio-Frequency Identification)** - це технологія, що дозволяє ідентифікувати об'єкти, що мають у собі спеціальну RFID-мітку, за допомогою бездротових радіохвиль. RFID-мітки зазвичай містять інформацію про об'єкт, до якого вони прикріплені, таку як номер серії, модель, ціна і т.д. Після того, як RFID-мітка зчитується, інформація може бути передана до системи обробки даних для подальшої обробки [5].

RFID технологія дозволяє відстежувати рух товарів в режимі реального часу, що дозволяє оптимізувати логістичні процеси, збільшити продуктивність та зменшити витрати на складські простори та перевезення товарів.

Одна з відмінностей RFID від GPS полягає в тому, що RFID-мітки можуть працювати в важких умовах, таких як місця зі зниженою видимістю або в середині будівель. Більшість міток можуть зчитуватись з відстані до 10 метрів, що дозволяє відстежувати мітки в реальному часі та виконувати різні завдання.

RFID технологія використовується в багатьох сферах, включаючи логістику, роздрібну торгівлю, виробництво, охорону, аеропорти та інші. Багато компаній, які виробляють обладнання RFID, включають в свої послуги розробку програмного забезпечення та систем управління для використання з RFID-мітками (рис.1.4).



Рисунок 1.4 – Схематичний показ системи RFID [5]

Основна відмінність RFID від GPS полягає в тому, що RFID працює в обмеженому радіусі дії, під час коли GPS може працювати у будь-якій точці планети, де є сигнал. RFID часто використовується для відстеження руху об'єктів в приміщеннях або на коротких відстанях на відкритих територіях. Однією з переваг використання RFID є зменшення витрат на ручну роботу та збільшення ефективності процесів, що може допомогти компанії збільшити прибуток. Однак, використання RFID-технології пов'язане зі значними витратами на встановлення і обслуговування системи, а також з питаннями щодо приватності та безпеки даних, оскільки інформація на мітках може бути чутливою.

У підсумку, RFID є потужною технологією ідентифікації, яка забезпечує бездротове зчитування та запис даних на об'єкти. Вона знайшла широке застосування в різних сферах і пропонує переваги, такі як точність, швидкість, реальний час відстеження та ефективне управління. Однак, важливо враховувати фінансові та технічні аспекти, а також питання приватності та безпеки при розгляді використання RFID-технології.

Однією з переваг використання RFID є те, що вона може працювати в умовах, де GPS може не працювати, таких як тунелі, підземні паркінги, склади та інші закриті приміщення. Також RFID може бути більш ефективним від GPS, якщо йдеться про відстеження більшої кількості об'єктів в обмеженому просторі.

Для проєктуємої системи автоматизованого контролю руху транспорту технологія RFID хоч і має можливість працювати у приміщеннях, але є недолік у великій кількості обладнання, яке створює велику кількість радіо перешкод і має порівняно велику ціну.

**Bluetooth-маяки (Bluetooth beacons)** є технологією (рис.1.5), яка використовує бездротовий протокол Bluetooth для передачі сигналів між пристроями. Вони невеликі пристрої, які висилають сигнали з певною частотою,

а інші пристрої можуть отримувати ці сигнали і використовувати їх для різних цілей, таких як визначення місцезнаходження, взаємодія з користувачами або збір даних [6].



Рисунок 1.5 – Технологія Bluetooth beacons [6]

Однією з провідних компаній у сфері розробки Bluetooth-маяків є Estimote. Вони пропонують різноманітні маяки, які можуть використовуватись у різних сценаріях, включаючи роздрібну торгівлю, готелі, музеї та інші. Estimote має власну платформу для управління маяками і збору даних. Іншою відомою компанією є Kontakt.io, яка спеціалізується на розробці Bluetooth-маяків і рішень для Internet of Things (IoT). Вони пропонують широкий спектр продуктів, які можуть використовуватись у різних галузях, включаючи роздрібну торгівлю, логістику та охорону. Gimbal є ще однією компанією, яка спеціалізується на технології Bluetooth-маяків. Вони пропонують рішення для точної локалізації, розумного маркетингу та аналітики даних. Головною особливістю Gimbal є їхній акцент на персоналізовану взаємодію з користувачами за допомогою маяків. У

Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата

*ДП.ПМп01.02.1760.00.000.ПЗ*

Арк.

19

порівнянні з GPS і RFID, Bluetooth-маяки мають свої відмінності, переваги і недоліки.

Переваги Bluetooth-маяків:

- Точність: Bluetooth-маяки зазвичай мають високу точність визначення місцезнаходження, особливо в закритих приміщеннях, де GPS може бути непрацездатним.
- Енергоефективність: Bluetooth-маяки мають низьке споживання енергії, що дозволяє їм працювати на довгих відстанях без необхідності частої заміни батарей.
- Взаємодія з мобільними пристроями: Багато сучасних мобільних пристроїв підтримують Bluetooth, що дозволяє легко взаємодіяти з Bluetooth-маяками.

Недоліки Bluetooth-маяків:

- Обмежена дальність передачі: Дальність передачі сигналу Bluetooth-маяків зазвичай обмежена, зокрема у закритих приміщеннях з багатошаровими стінами.
- Потреба в активному скануванні: Деякі пристрої можуть вимагати активного сканування для зчитування сигналу Bluetooth-маяка, що може призвести до збільшеного споживання енергії.

Bluetooth-маяки знайшли широке застосування в різних галузях, включаючи роздрібну торгівлю, музеї, аеропорти, готелі та логістику. Вони використовуються для навігації, просування товарів, збору аналітичних даних, контролю руху транспорту та багатьох інших цілей. Завдяки своїм можливостям і простоті використання, Bluetooth-маяки (рис.1.6) стають все більш популярними та відкривають нові перспективи для розширення функціональності транспортних систем та покращення взаємодії з користувачами [7].

					<i>ДП.ПМп01.02.1760.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		20

Для проєктуємої системи автоматизованого контролю руху транспорту технологія Bluetooth-маяків хоч і має велику доступність, поширеність та низьку вартість, але отримані дані Bluetooth-маяків не достатні для контролю переміщень транспорту.

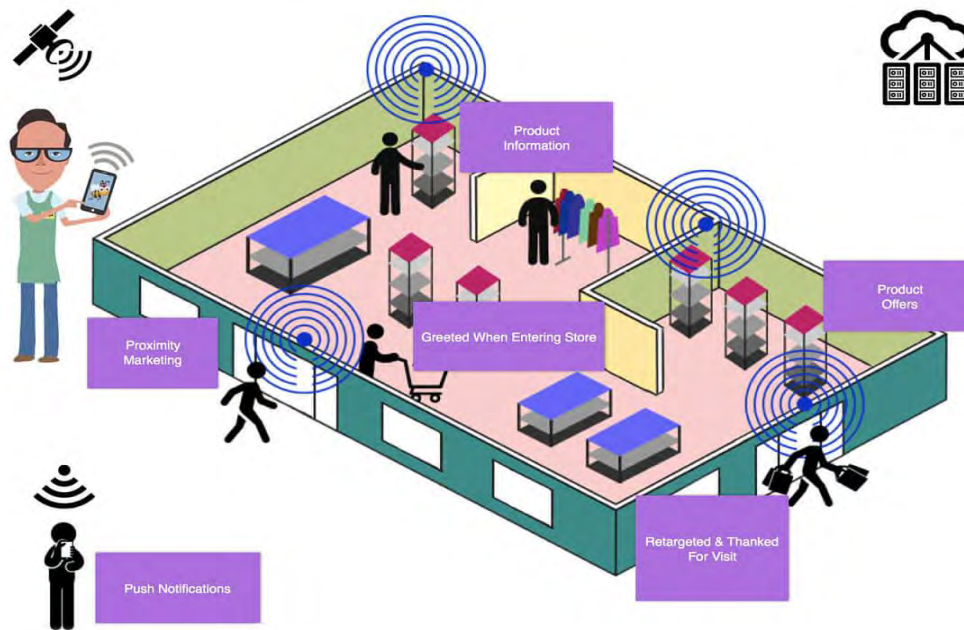


Рисунок 1.6 – Приклад застосування Bluetooth beacons у магазині [7]

**Навігація за допомогою Wi-Fi** використовує наявну інфраструктуру бездротових мереж Wi-Fi як найменш витратний варіант (рис.1.7). Методика визначення координат полягає в тому, що пристрій користувача сканує доступні точки доступу Wi-Fi, а потім надсилає інформацію про них на сервер, де ці дані порівнюються з базою даних координат цих точок доступу, і таким чином визначаються координати користувача. Нажаль, координати Wi-Fi точок доступу не є точно відомими і можуть змінюватися (наприклад, точку доступу перемістили або замінили на іншу), тому координати можуть бути неточними.

Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата

Точність в такому підході залишає бажати кращого бо похибка до 25 метрів, що є досить невизначеним результатом при тому що візкам потрібно переміщуватися у вузьких коридорах і торгових рядах [8].



Рисунок 1.7 - Wi-Fi навігація у офісі [8]

Правильним доповненням такої технології було б додати початкові Wi-Fi точки на початку і в кінці коридора, таким чином дозволяючи транспорту знайти точку входу в вузькі прямі місця. На далі можна було б розрахувати певну лінію руху транспорту і встановити пристрій слідкування за відстанню від перешкоди на правому боці транспорту, який би активував систему при зміні відстані між візком і стіною. При використанні спеціально створеної Wi-Fi інфраструктури точність може бути 3-5 метрів, але це вимагає значних витрат на створення та обслуговування такої системи, що може бути зменшена за рахунок внутрішньої

Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата

ДП.ПМп01.02.1760.00.000.ПЗ

Арк.

22

структури приміщень і спрощення поворотів, утворення прямолінійних структур. Крім того, ідентифікувати клієнтів за допомогою Wi-Fi та прив'язати їх місцезнаходження до карт приміщень складно. Починаючи з iOS 8, MAC-адреси пристроїв Apple (iPhone, iPad) постійно змінюються, щоб завадити "рекламному" слідуванню. Але можливо це можна обійти пропонуючи відвідувачам деякий додаток магазину, що може явно ідентифікувати покупця і для цього створений, а може слугувати онлайн-гідом по магазину.

Для проєктуємої системи автоматизованого контролю руху транспорту технологія Wi-Fi навігації при відносній простоті застосування, не володіє достатньою точністю визначення місцезнаходження.

**Геомагнітне позиціонування** ґрунтується на орієнтації за магнітним полем Землі і магнітною напруженістю та використовує геомагнітні аномалії як критерії для визначення місцезнаходження (аномалії виникають через нерівномірність геомагнітного поля) [9]. Цей метод полягає в фіксації геомагнітних аномалій та їх відображенні на карті території (рис.1.8), за якою планується орієнтуватися.

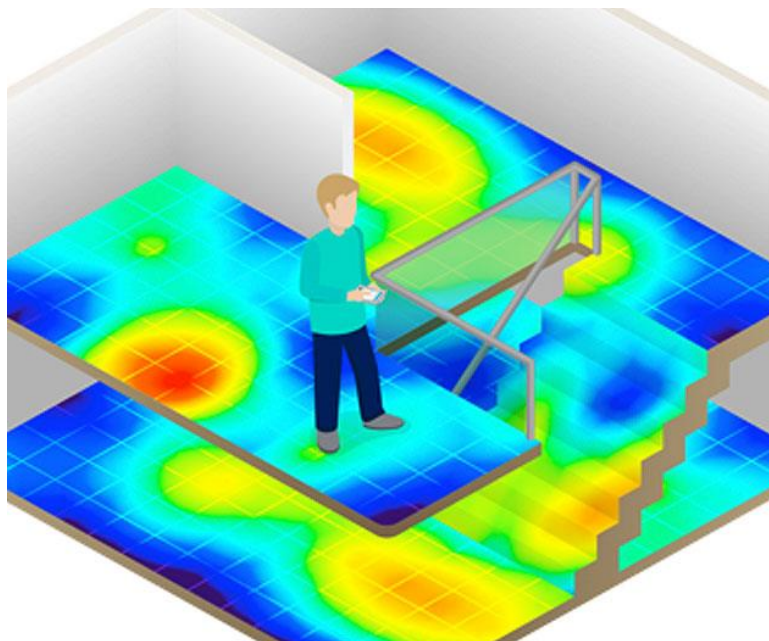


Рисунок 1.8 – Геомагнітна карта поверху [9]

Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата

*ДП.ПМп01.02.1760.00.000.ПЗ*

Арк.

23

Після цього навігація здійснюється за допомогою пристрою, у який вбудований магнітометр.

Прикладом практичної реалізації є система IndoorAtlas [10], розроблена командою вчених з університету Оулу у Фінляндії. Однак недоліком цього підходу є висока складність реалізації і не дуже висока точність. У приміщеннях зустрічається багато динамічно змінюються геомагнітних аномалій (проводка, яка змінює своє поле в залежності від підключених навантажень і значно змінює конфігурацію магнітного поля навколо, відвідувачі зі своїми радіоелектронними пристроями, стелажі, візки), що ускладнює навігацію, засновану на цьому методі орієнтування в просторі.

Але все ж проблеми надумані і можуть бути використані як допоміжні функції. Невелику точність можна уточнити додавши малих магнітних деталей. Тобто додавши у карту пристрої, які створюють магнітне поле і між якими на потрібно орієнтуватися. Така карта буде існувати і буде актуальна у моменти підключення обладнання до електромережі, але ж це нам і потрібно бо хто буде користуватися вимкненими електроприладами. І, якщо навіть так стається, що світло на початок роботи вимкнене, то по аналогії з людиною, яка заходить у темну кімнату, транспорт з маніпулятором спочатку доїде до магнітно підсвіченого участку і вімкне живлення.

Замість того щоб нарікати на змінність електромагнітних шумів приладів, потрібно спробувати їх класифікувати таким чином створивши ідентифікацію за типом і силою електрозавад. Нас буде цікавити і частота зміни магнітного поля. Таким чином зібравши усю інформацію можна буде попередньо визначити і занести до певного класу приладів новий пристрій.

Різні ж стелажі й візки можна використати як металеві і неметалеві магнітні осердя, таким чином на геомагнітній карті (рис.1.9) буде проступати інтер'єр, а

					<i>ДП.ПМп01.02.1760.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		24



візки зі своїми металевими стінками перетворюються у рухомі магнітні точки, яскравість якого можна регулювати кількістю матеріалу і формою «осердя».

Також такий метод дає можливість зафіксувати третю координату простору вираховавши її за зменшенням магнітної напруженості за рахунок віддалення від відомого джерела магнітного поля. Саме величина магнітної напруженості буде нашою координатою.



Рисунок 1.9 – Визначеність місцевості з-за допомогою IndoorAtlas [10]

Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата

ДП.ПМп01.02.1760.00.000.ПЗ

Арк.  
25

Для проєктуємої системи автоматизованого контролю руху транспорту технологія геомагнітного позиціонування має низьку точність і підвищення точності такої технології не дешево.

**Ultra Wideband (UWB)** - це технологія (рис.1.10) передачі сигналів з високою широкосмуговістю на короткі відстані [11]. Вона використовує частоти від декількох гігагерц до декількох сотень гігагерц і має значну ширину смуги пропускання - від 25% до 100%.

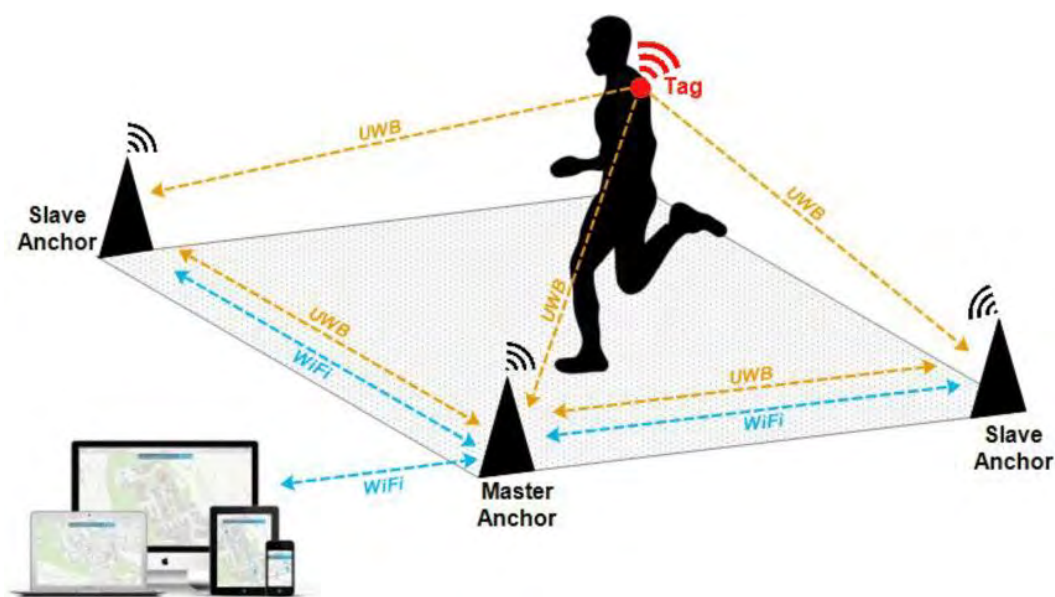


Рисунок 1.10- Робота технології UWB [11]

Ультраширокосмугова технологія знаходить застосування в різних галузях, включаючи бездротові комунікації, інтернет речей (IoT), медичні пристрої, автомобільну електроніку та інше. Вона здатна передавати великі обсяги даних з високою швидкістю із зменшеними затримками. Основною перевагою UWB є висока пропускна здатність, яка дозволяє передавати дані з великою швидкістю. Вона також має високу точність локалізації і здатна проникати через перешкоди, такі як стіни та перегородки. УБШ дозволяє визначати положення об'єктів у просторі з високою точністю, що знайшло застосування в системах indoor-

Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата

*ДП.ПМп01.02.1760.00.000.ПЗ*

Арк.

26

навігації та системах відстеження руху. Застосування UWB може бути ефективним у вимірювальних системах, системах безпеки, системах віддаленого керування та багатьох інших областях, де важлива швидкість передачі даних і висока точність локалізації. При визначенні місцезнаходження система використовує дуже короткі сигнали, які переміщуються зі швидкістю світла. Час їх прибуття обчислюється в широкому діапазоні пропускання, що дозволяє досягнути точності позиціонування об'єктів від 10 до 30 см.

Для проєктуємої системи автоматизованого контролю руху транспорту технологія UWB має занадто велику вартість та складність включення її у систему, не менш важливим фактором є порівняна складність заміни елементів обладнання технології.

**Тензовимірювання** - технологія, яка дозволяє виміряти напруження, що виникають в об'єкті під дією зовнішнього навантаження [1]. Використовуються тензодатчики, також відомі як тензовимірювальні пристрої або напружувачі. Струмові тензодатчики вимірюють зміни опору або витрати струму через провідні елементи, які змінюються внаслідок деформації об'єкта. Ці тензодатчики застосовуються, наприклад, у вагах, вантажних системах. Перетворювачі напруження вимірюють зміну напруги у пружних елементах.

### 1.3 Висновки по першому розділу

Для стеження за рухом транспорту застосовуються різні технології:

- GPS (Global Positioning System);
- RFID (Radio-Frequency Identification);
- Bluetooth-маяки (Bluetooth beacons);
- Wi-Fi;

Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата

*ДП.ПМп01.02.1760.00.000.ПЗ*

Арк.

27

- Геомагнітне позиціонування;
- Ultra Wideband (UWB).

Кожна з цих технологій має свої переваги та обмеження для застосування.

Аналіз особливостей застосування зазначених технологій свідчить про наступне .

- GPS є широко використовуваною та надійною технологією, але її застосування може бути неефективним в умовах внутрішніх приміщень або густонаселених міських районів;
- Wi-Fi навігація використовує існуючу Wi-Fi інфраструктуру, але має обмежену точність і може бути вразливою до змін в розташуванні точок доступу;
- геомагнітне позиціонування використовує геомагнітні аномалії для визначення місцезнаходження, але може мати меншу точність і вимагати синхронізації між базовими станціями;
- UWB використовується для передачі коротких високочастотних імпульсів на невеликі відстані і забезпечує високу точність, але може потребувати спеціальної інфраструктури.

Вибір технології для стеження за рухом транспорту залежить від конкретних вимог і обмежень проекту.

Застосування комбінування різних технологій може покращити точність і надійність системи стеження за переміщенням.

Розуміння особливостей та можливостей різних технологій спрощує вибір оптимального підходу для конкретного використання та сприяє підвищенню ефективності стеження за переміщенням об'єктів.

					<i>ДП.ПМп01.02.1760.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		28

## РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ СТВОРЕННЯ СИСТЕМ СТЕЖЕННЯ ЗА ПЕРЕМІЩЕННЯМ ТРАНСПОРТУ

### 2.1 Методи стеження за рухом транспорту

**АоА (Angle of Arrival)** – метод визначення місцезнаходження, який має такі переваги, як висока точність при невеликих обсягах інфраструктури [11]. Принцип роботи полягає в тому, що рухомі об'єкти випускають сигнали, які сприймаються датчиками відстеження. Приймальні пристрої отримують ці імпульси і дозволяють визначити місцезнаходження за кутом приходу та напрямком відносно мітки. При розрахунках (рис 2.1) також враховується рівень сигналу. Цей метод астосовується в таких областях:

- Визначення місцезнаходження об'єктів у реальному часі: АоА використовується для точного визначення місцезнаходження об'єктів, які знаходяться у русі. Це може бути застосовано для визначення місцезнаходження автомобілів, дронів або інших рухомих об'єктів з високою точністю у реальному часі;
- Телекомунікації: АоА може бути використано для покращення якості бездротового зв'язку та управління трафіком. Визначення кута приходу сигналу дозволяє точно встановити напрямок, з якого приходить сигнал, що може бути корисним для покращення якості зв'язку та зменшення перешкод;
- Безпека та нагляд: АоА може бути використано для нагляду та безпеки в об'єктах з великими просторами, такими як аеропорти, виставкові комплекси або громадські заходи. За допомогою визначення кута приходу

					<i>ДП.ПМп01.02.1760.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		29

можна виявляти неправильні дії або визначати місцезнаходження осіб для забезпечення безпеки та контролю доступу;

- AoA є ефективним методом для точного визначення місцезнаходження об'єктів у реальному часі з високою точністю, особливо при обмеженому обсязі інфраструктури.

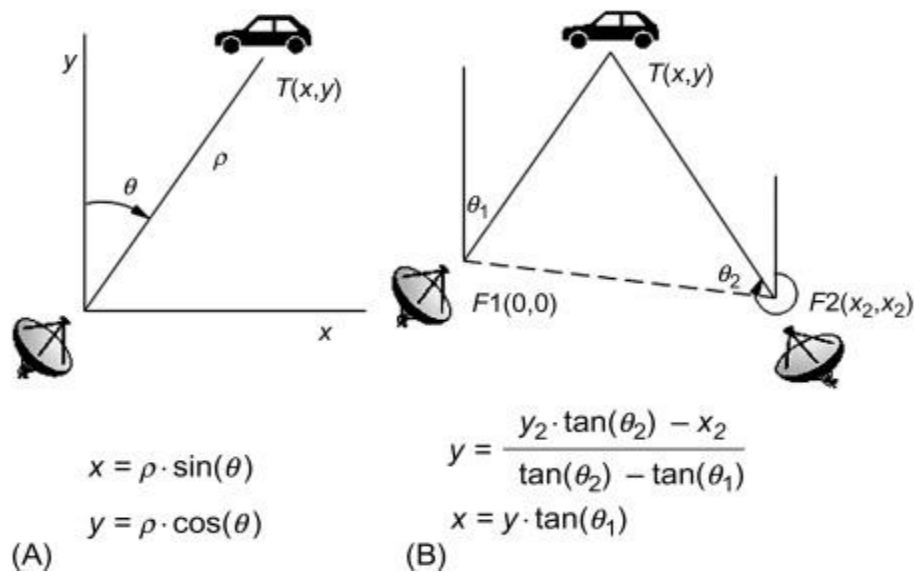


Рисунок 2.1 – Розрахунки методу AoA [11]

**Time Difference of Arrival (TDoA)** - метод визначення місцезнаходження, який має кілька переваг, зокрема економне споживання енергії [11]. Робочий принцип полягає в тому, що датчик періодично випромінює сигнали, які приймаються мітками за різні проміжки часу (залежно від відстані). Місцезнаходження датчика визначається за різницею в часі між сигналами. TDoA часто називають гіперболічним позиціонуванням. Оскільки методика базується на обчисленні часу прибуття сигналів, вона вимагає чіткої синхронізації між базовими станціями.

Цей метод застосовується для визначення місцезнаходження в реальному часі для великої кількості об'єктів. Він знайшов широке застосування у багатьох наступних галузях.

Індустрія транспорту: TDoA використовується для відстеження транспортних засобів, таких як автомобілі, вантажівки, поїзди і літаки. Це дозволяє визначати їх місцезнаходження і виконувати розкладання та координацію руху (рис 2.2).

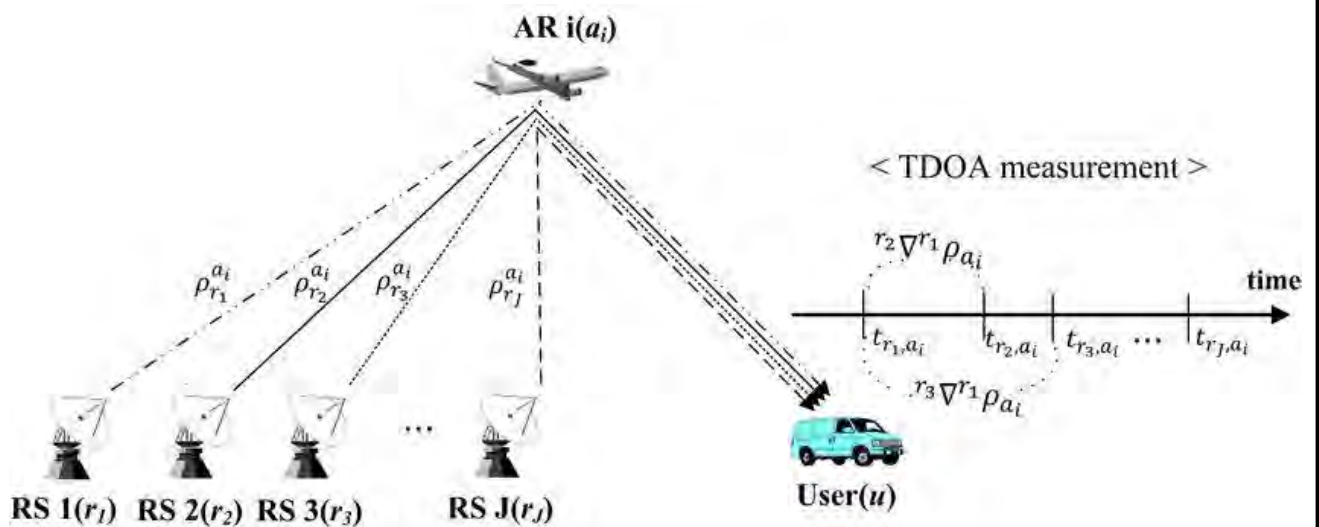


Рисунок 2.2 – Вимірювання різниці прибуття між сигналами [11]

Логістика та складське господарство: TDoA може бути використано для відстеження розташування товарів, контейнерів і обладнання на складах і в логістичних центрах. Це полегшує і оптимізує процеси інвентаризації та управління запасами.

Системи безпеки і відеоспостереження: TDoA може бути використано для визначення місцезнаходження відеокамер і безпекових датчиків у реальному часі. Це допомагає забезпечити ефективне ведення відеоспостереження та реагування на події безпеки.

Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата

Медичні системи: TDoA може бути використано для відстеження медичного обладнання, пацієнтів або медичного персоналу в лікарнях і медичних установах. Це дозволяє поліпшити координацію та ефективність надання медичних послуг.

Ці пріоритети зробили TDoA важливим інструментом для точного визначення місцезнаходження в різних галузях.

**TWR (Two-Way Ranging)** - метод визначення місцезнаходження, який має такі переваги, як позиційна стабільність та висока точність. Принцип роботи полягає в тому, що мітки випускають короткі імпульси, які сприймаються считувальними пристроями [11]. Відстань визначається за часом, який потрібно сигналам для відправлення та отримання (рис.2.3). Більш удосконаленою є методика SDS-TWR, яка застосовує подвійне вимірювання послідовно в двох різних напрямках. Цей метод застосовується в багатьох областях.

Визначення місцезнаходження обладнання: TWR використовується для визначення точного місцезнаходження обладнання, машин та інших рухомих активів. Це допомагає в плануванні та оптимізації розташування обладнання, управлінні ресурсами та забезпеченні ефективності виробничих процесів.

Індустрія: TWR може бути використано в промислових об'єктах для моніторингу руху та визначення місцезнаходження обладнання в реальному часі. Це допомагає виявляти некоректну роботу, запобігати зіткненням та поліпшувати безпеку на робочому місці.

Крім того, метод TWR може знайти застосування в інших промислових галузях. Наприклад, в сфері транспорту його можна використовувати для моніторингу руху транспортних засобів та визначення їхнього місцезнаходження з точністю. Це допомагає в плануванні маршрутів, управлінні транспортними потоками та покращенні загальної ефективності транспортних систем.

					<i>ДП.ПМп01.02.1760.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		32



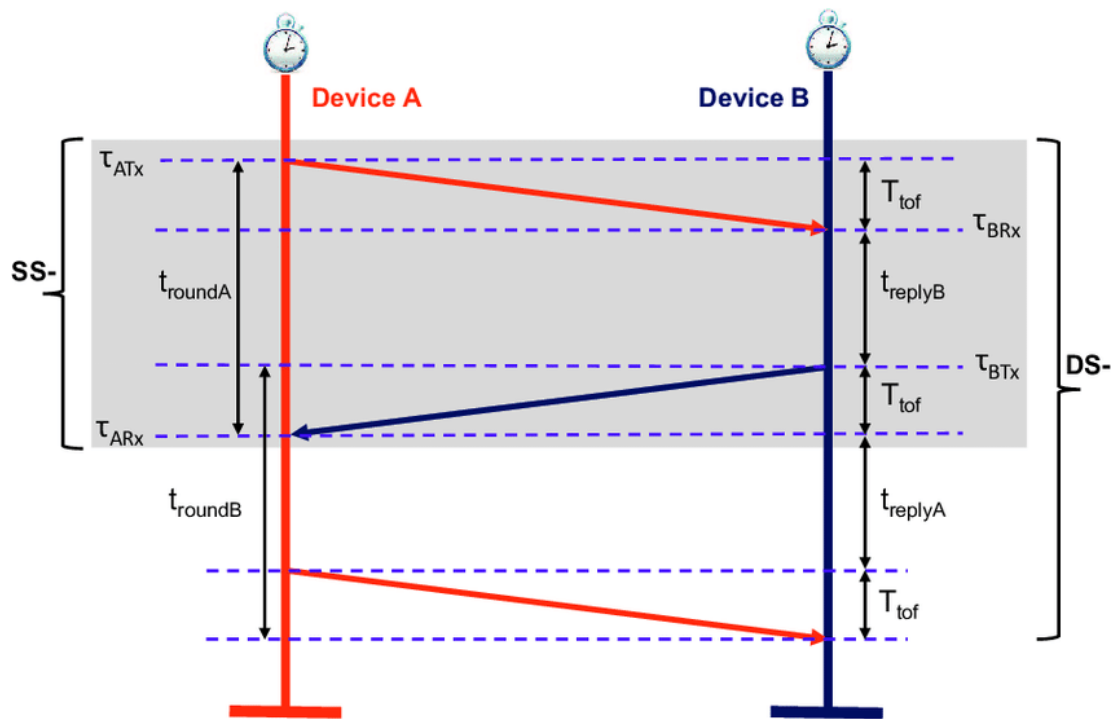


Рисунок 2.3 – Схематичний показ роботи TWR [11]

Логістика та складське господарство: TWR використовується для визначення місцезнаходження товарів, контейнерів та інвентарю на складах та в логістичних центрах. Це полегшує ведення обліку запасів, планування доставки та оптимізацію логістичних процесів. TWR є ефективним інструментом для точного визначення місцезнаходження в різних сферах діяльності, де важлива висока точність та позиційна стабільність.

**PDoA (Phase Difference of Arrival)** є методом стеження за переміщенням, який має свої особливості та вигоди [11]. Основною перевагою цього методу є його використання в умовах обмеженої інфраструктури. Принцип роботи PDoA полягає в оцінці різниці фаз між сигналами на приймаючих антенах. Імпульс, який надходить на антену, розташовану далі від приймального пристрою, затримується, що дозволяє обчислити місцезнаходження шуканого об'єкта. Кут сигналу визначається відносно точки прив'язки. Цей метод часто застосовується

в складських приміщеннях та інших об'єктах з великою кількістю майна. Він може бути корисним для визначення місцезнаходження об'єктів у просторі та надає додаткову інформацію про їхнє розташування. Для використання методу PDoA необхідна належна синхронізація між антенами та приймальними пристроями для точного вимірювання фазових різниць (рис.2.4).

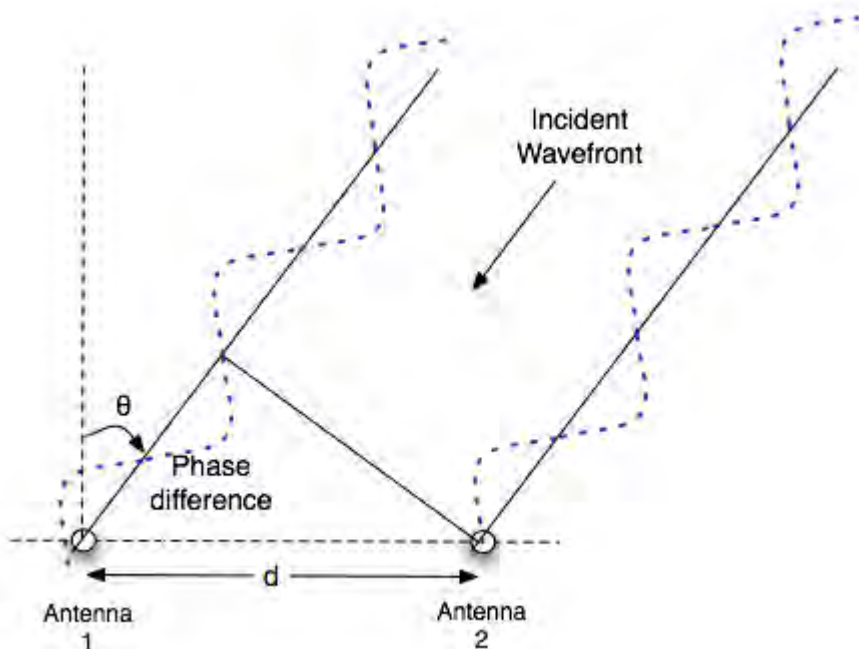


Рисунок 2.4 – Представлення принципу PDoA у вигляді графіку [11]

## 2.2 Висновки по другому розділу

Розглянуто методи створення систем стеження за переміщенням транспорту, зокрема AoA, TDoA, TWR та PDoA.

Кожен з цих методів базується на різних принципах вимірювання та обробки сигналів і може бути використаний в різних ситуаціях залежно від потреб та вимог системи.

Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата

ДП.ПМп01.02.1760.00.000.ПЗ

Арк.

34

## РОЗДІЛ 3.

### ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ ПЕРЕМІЩЕНЬ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ

#### 3.1. Вимоги до проектування системи автоматизованого контролю

При проектуванні системи автоматизованого контролю переміщення транспортного засобу необхідно враховувати деякі ключові вимоги.

Найперше це функціональність. Система повинна виконувати необхідні функції контролю, які передбачені вимогами. Це включає збір та аналіз даних про положення, швидкість та стан транспортного засобу, визначення відхилень від заданих параметрів, виявлення випадків порушень та забезпечення відповідних заходів. Усі ці якості будуть представлені у нашій системі, збір та аналіз даних реалізовані через зворотній зв'язок через підлогу або ще яку площину, на яку створює тиск керований транспортний засоб або людина. Також через зміну положення на контрольованій площині можна буде визначити швидкість об'єкту і напрям руху. Також буде відомим важливий фактор прискорення, що дозволить вирахувати різкість рухів об'єктів.

Різкість рухів об'єктів впливає на обчислювальну техніку, навколишнє середовище та безпеку.

У контексті обчислювальної техніки, різкість рухів об'єктів може створювати велику навантаження на систему, може призводити до перевантаження ресурсів та зниження продуктивності. Обробка інтенсивних та швидких змін вимагає спеціалізованих алгоритмів та оптимізації для забезпечення ефективності системи.

					<i>ДП.ПМп01.02.1760.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		35

Щодо навколишнього середовища, різкість рухів об'єктів може мати вплив на оточуючих. Наприклад, у випадку транспортних засобів, стрибки швидкості або різкі зміни напрямку можуть призводити до шуму, вібрацій та створювати небезпеку для інших учасників дорожнього руху та навколишніх людей. Для забезпечення безпеки необхідно дотримуватися правил дорожнього руху та використовувати заходи для мінімізації негативного впливу рухів об'єктів.

Нарешті, щодо безпеки, різкість рухів об'єктів може становити ризик для безпеки. Непередбачувані рухи можуть призводити до аварій, зіткнень та травм. Важливо вживати заходи для забезпечення безпеки, такі як розробка та впровадження систем автоматичного гальмування, контроль стану транспортних засобів, а також посилення свідомості водіїв щодо правил безпеки.

Таким чином, різкість рухів об'єктів має важливе значення для обчислювальної техніки, навколишнього середовища та безпеки, і вимагає вжиття відповідних заходів для забезпечення оптимальної працездатності та безпеки систем. Різкість рухів об'єктів також впливає на комфорт у користуванні та приємність оку.

У контексті комфорту, різкі та нестабільні рухи можуть створювати дискомфорт для користувачів. Наприклад, у випадку транспортних засобів, різкі зміни швидкості та напрямку руху можуть призводити до почуття нестабільності та незручності для пасажирів. Для поліпшення комфорту можуть використовуватися технології та рішення, які забезпечують більш плавні, прогнозовані та стабільні рухи об'єктів.

Крім того, різкість рухів об'єктів може впливати на приємність оку. Швидкі та різкі зміни можуть створювати спалахи, спотворення або розмиття образів, що може призводити до візуального дискомфорту для спостерігачів. Оптимізація

					<i>ДП.ПМп01.02.1760.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		36

рухів та використання плавних, збалансованих переходів може покращити візуальний комфорт і зробити користування більш приємним для користувачів.

Таким чином, різкість рухів об'єктів впливає не лише на обчислювальну техніку, навколишнє середовище, безпеку, але й на комфорт у користуванні та приємність оку. Розробка рішень, спрямованих на зменшення різкості рухів та оптимізацію їх стабільності, може покращити користувацький досвід та задоволення від використання системи.

Тож було вирішено створити рухи і маневри транспорту максимально наближені за швидкістю і плавністю до людських. Також за нетипічністю рухів можна судити про стан об'єкту. Рухи об'єкту можуть відтворювати важливу інформацію про його стан та фізичні характеристики. Наприклад, якщо транспортний засіб демонструє нечіткі або незвичні рухи, це може свідчити про проблеми з його колесами, підвіскою або іншими компонентами. Нетипові рухи можуть бути показником несправності або потреби в технічному обслуговуванні. У випадку людини, рухові аномалії можуть вказувати на проблеми зі здоров'ям або травмами. Наприклад, незвичайні похибліві рухи можуть бути ознакою координаційних проблем, а нестабільність при ходьбі може вказувати на проблеми з рівновагою. Використання специфіки рухів людини дозволяє виявляти можливі проблеми зі здоров'ям та вчасно реагувати на них.

Розпізнавання нетипічних рухів може базуватися на використанні сенсорів, камер, вимірювальних пристроїв та аналізі отриманих даних. Застосування алгоритмів машинного навчання, комп'ютерного зору та інших технологій дозволяє виявляти нетипові рухи та здійснювати відповідні заходи в залежності від контексту, наприклад, викликати сповіщення оператора або автоматично активувати захисні механізми.

					<i>ДП.ПМп01.02.1760.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		37

Таким чином, розпізнавання та аналіз нетипічних рухів дозволяє отримати додаткову інформацію про стан об'єкту, будь то транспортний засіб чи людина. Це допомагає виявляти проблеми, приймати відповідні заходи та забезпечувати безпеку та оптимальну роботу системи.

Надійність є важливою характеристикою систем автоматизованого контролю. Це означає, що система повинна забезпечувати безперебійну роботу протягом тривалого періоду часу і вміти працювати відповідно до встановленого графіка, незалежно від кількості робочих годин на добу.

Однак, в разі виникнення проблем або несправностей, важливо мати можливість відновити роботу системи швидко і з використанням обмежених ресурсів. Це означає, що система повинна мати вбудовану ремонтоспроможність, яка дозволяє ефективно виявляти та виправляти несправності без значних затрат. Модульність також є важливою характеристикою, яка сприяє забезпеченню надійності та легкості обслуговування системи. Здатність відокремити та замінити окремі елементи системи дозволяє швидко відновити її роботу та зменшити вплив несправностей на загальну продуктивність.

Крім того, система повинна бути здатна працювати з сумісними стандартами та пристроями. Це означає, що при необхідності заміни елемента системи, його можна замінити аналогічним, відповідним стандартам, що спрощує обслуговування та забезпечує сумісність з іншими компонентами.

Забезпечення надійності, ремонтоспроможності, модульності та сумісності є важливими аспектами проектування систем автоматизованого контролю. Врахування цих факторів допомагає забезпечити безперебійну роботу системи, зручне обслуговування та ефективне управління потенційними проблемами.

Враховуючи усі вище описані ризики і фактори, поставлені завдання перед проєктуємою системою і також деякі конструктивні особливості, вирішено

					<i>ДП.ПМп01.02.1760.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		38

використати у ролі перетворювача механічних деформацій у струм комплекс заходів, а саме:

- у якості пружного елемента вибрана силіконова напівкуля, форма деформації якої дозволить рівно розподілити навантаження на тензорезистори механічного типу ;
- у комплексі до пружного елемента вибрані тензорезистори механічного типу, будова яких має теоретичні переваги над простими тензорезисторами такі як: можливість не використовувати міст Уінстона для підсилення сигналу; порівняно низька вартість матеріалу, можливість робити кращі перепади опору, які значно перевищують теплове розширення матеріалу і роблять теплове розширення більш помітним, щоб можливо було його відкинути як систематичну похибку;
- у будові півкулі можливі прорізи для налагодження модуля пружності і примусової вентиляції механічних тензорезисторів, шляхом зтиску і розтиску внутрішнього повітряного об'єму півкулі.

### 3.2. Розрахунок тензорезистора

Щоб виконати поставлену перед нами задачу, спробуємо розрахувати приблизні необхідні параметри.

Першим за важливістю і тим, що є основним функціоналом тензорезистора, є коефіцієнт відносної тензочутливості

$$k = \frac{\Delta R/R}{\Delta l/l}$$

Відповідно до попередньої формули явище видозміни сигналу характеризується як на визначений відсоток зміни довжини провідника змінюється на певний відсоток опір провідника. Перед тим, як робити розрахунок коефіцієнт відносної тензочутливості представимо наш вимірюючий провідник або механічний резистор (рис 3.1).



Рисунок 3.1 – Механічний резистор

Представлена модель являє собою стрічкоподібний провідник зігнутий за правилом цього випадку, а саме:

- від згину до згину провідника 2 мм, не враховуючи початкові елементи до перших згинів і верхні згини, які чітко підганяються під висоту тензорезисторного елемента;
- кут згину являє собою 90 градусів;
- кут між осями «гармошок» 12 градусів;

Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата

*ДП.ПМп01.02.1760.00.000.ПЗ*

Арк.

40



- у даному випадку загальна висота елемента 20 мм, що є не позначеним поділками діапазоном вимірювань, тобто  $l$ ;
- з низу розташовані клейми для з'єднань з іншими електричними елементами;
- зверху розташований або буде розташований елемент кріплення, який буде вибраний в залежності від матеріалу пружного елемента.

Усі представлені параметри є виключно експериментальними і не являються обов'язковими.

Розглянемо ж далі принцип роботи такого механічного резистора. Принцип роботи є у тому, що при деформації пружного елемента кулі тензорезистори змінюють свою конструкцію замикаючи ланки між собою, тим самим зменшуючи шлях струму.

$$k = \frac{\Delta R/R}{\Delta l/l} = \frac{\frac{\Delta R}{R}}{\frac{m}{n}},$$

де  $n$  -кількість усього ланок, а  $m$  – кількість зімкнутих між собою ланок.

Тобто маючи десять рівних ділянок, ми отримаємо п'ять пар замикання. І це відповідно веде до того, що кожне замикання наступної пари веде до зменшення шляху струму на п'яту частину, що також зменшення на п'яту частину і опору.

Таким чином ми отримуємо дещо схоже до дільників напруги і компараторів [12]. Наприклад, з-за допомогою одної пари замикання можливо утворити механізм «є-немає». Тобто роздільна здатність залежить від кількості пар на певній довжині механічного провідника. Так як нам точність визначення

маси другорядна, а більш цікавить локалізація маси і її швидкість, до візьмемо вісімнадцять пар замикання тобто в нас буде вісімнадцять положень або поділок характеризуючих завдану деформацію і тиск. Тобто:

$$k = \frac{\Delta R/R}{\Delta l/l} = \frac{\frac{\Delta R}{R}}{\frac{m}{n}} = \frac{\frac{\Delta R}{R}}{\frac{R}{18}}$$

$m$  – величина виключно змінна.

Наступним параметром з яким вважаю за необхідне розібратися це опір.

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

Як видно з представленої вище формули, в нас з'явилися замість одної цілих три змінні. Довжину і поперечний переріз провідника залишається на власний розсуд інженера, це і буде зроблено. А ось питомий опір потрібно розглянути, відповідно це розгляд матеріалу механічного тензорезистора. Висунемо вимоги до матеріалу механічного тензорезистора.

Основні вимоги до матеріалу провідників включають:

- Висока електрична провідність: матеріал повинен мати властивість ефективно проводити електричний струм без суттєвих втрат;
- Відповідна механічна міцність: матеріал повинен володіти достатньою міцністю та стійкістю до фізичного навантаження, щоб забезпечувати надійну та стійку роботу провідника протягом тривалого часу;
- Гнучкість або пластичність: в деяких випадках вимагається, щоб матеріал провідника був гнучким або пластичним, щоб забезпечити його пристосування до різноманітних форм та гнучкість під час укладання або монтажу.

					<i>ДП.ПМп01.02.1760.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		42

Судячи з принципу роботи краще було б брати щось з гарним опором, щоб перепад був кращий, але також треба враховувати здатності наявних джерел струму і розсіюване тепло. І це все потрібно встановлювати експериментально. При виборі матеріалу провідника на першому етапі розглянемо мідь, оскільки вона є широко поширеним матеріалом і має декілька переваг для провідних додатків. Мідь відома своєю високою електричною провідністю, що забезпечує ефективний перенесення електричного струму. Будучи гнучким матеріалом, вона також легко пристосовується до різних форм і може бути використана у гнучких конструкціях.

Проте, при виборі провідника також треба враховувати кілька інших факторів. Наприклад, для досягнення кращого ефективности можна враховувати опір матеріалу провідника. Матеріали з вищим опором, ніж мідь, можуть створювати більший перепад напруги і забезпечувати кращу передачу енергії в деяких ситуаціях. Однак, при виборі матеріалу провідника, також необхідно враховувати можливості наявних джерел струму. Застосування матеріалу з надмірно високим опором може потребувати більш потужних джерел струму для забезпечення вимаганої потужності.

Крім того, треба враховувати розсіюване тепло [12]. Під час передачі електричного струму провідник може нагріватися через ефект

$$P = I^2 * R,$$

де  $I$  - сила струму, а  $R$  - опір провідника. Важливо забезпечити відповідну вентиляцію або використовувати матеріал з хорошою теплопровідністю, щоб уникнути надмірного нагрівання і зберегти ефективність системи.

Остаточний вибір матеріалу провідника залежить від конкретних умов і вимог системи. Проведення експериментів та вимірювань допоможе встановити

					<i>ДП.ПМп01.02.1760.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		43

оптимальний матеріал, який враховує електричні, механічні, теплові та експлуатаційні характеристики системи.

$$R = \frac{P}{I^2},$$

Як видно з попередньої формули, в нас дві невідомі  $I$ -струм і  $P$  – теплота. Визначимося зі струмом. В сфері електроніки це зазвичай 1 А.

$$R = P.$$

Судячи з остаточного виду формули, на потрібно підібрати матеріал по потужності. Візьмемо потужність 4кВт. Отже:

$$R = \rho \frac{l}{s} = 4000 \text{ Ом}.$$

Поперечний переріз не цікавить на даний момент. Тож хай матиме значення 2,5 мм<sup>2</sup>.

Довжина провідника має підкорятися такій формулі:

$$2 * l = L_T,$$

де  $L_T$ - це довжина самого механічного тензорезистора.

Таким чином  $l$  взяте приблизно 40 мм. Підставимо дані:

$$R = \rho \frac{l}{s} = \rho * \frac{40 \text{ мм}}{2.5 \text{ мм}^2} = 4000 \text{ Ом},$$

$$\rho_{max} = \frac{4000 \text{ Ом}}{16 \text{ мм}} = 250 \frac{\text{кОм}}{\text{м}}.$$

Згідно наших розрахунків матеріал [12] для даного випадку має мати питомий опір не більший за  $\rho_{max}$ . Розглянемо доступні варіанти на таблиці 3.1:

					<i>ДП.ПМп01.02.1760.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		44

Таблиця 3.1

Метал	$\rho$ , Ом*мм <sup>2</sup> /м	Метал	$\rho$ , Ом*мм <sup>2</sup> /м
Срібло	0,015...0,0162	Молібден	0,054
Мідь	0,01707...0,018	Вольфрам	0,055
Мідь 6N	0,01673	Цинк	0,059
Золото	0,023	Індій	0,0837
Алюміній	0,0262...0,0295	Нікель	0,087
Іридій	0,0474	Залізо	0,099
Натрій	0,0485	Платина	0,107

Хоч візуально вибір великий, але доступністю і необхідними властивостями вирізняється мідь. Однією з найвидатніших властивостей міді є його висока електрична провідність. Мідь має велику кількість вільних електронів, які можуть вільно рухатися в металевій решітці. Це забезпечує ефективну передачу електричного струму без значних втрат.

Крім того, мідь також відома своєю високою теплопровідністю. Це означає, що вона добре передає тепло, що є важливою властивістю для електричних додатків, які можуть нагріватися при проходженні струму.

Мідь також характеризується високою механічною міцністю та гнучкістю [13]. Вона має добрі механічні властивості, які дозволяють їй пристосовуватися

до різних форм і резистентність до деформацій. Це дозволяє використовувати мідь у гнучких провідниках, де необхідна здатність згинатися без пошкодження.

Загалом, мідь є матеріалом з високою електричною провідністю, високою теплопровідністю, механічною міцністю та гнучкістю, що робить її важливим матеріалом для провідників і різних електричних додатків.

Тобто теперішній опір механічного тензорезистора при 20 градусах є:

$$R = \rho \frac{l}{S} = 0.0175 \text{ Ом} * \frac{\text{мм}^2}{\text{м}} * \frac{0.040 \text{ м}}{2.5 \text{ мм}^2} = 0,28 \text{ мОм}.$$

Перерахуймо кількість тепла

$$P = I^2 * R,$$

$$P = 1^2 \text{ А} * 0,28 \text{ мОм} = 0,028 \text{ мВт}.$$

Дані значення дозволяють судити про великий запас конструкції по допустимій потужності і можливість вибрати матеріал провідника з більшим питомим опором.

### **3.3. Розрахунок механічних елементів системи автоматизованого контролю**

#### **Пружний елемент**

Що до пружного елемента, то потрібно створити максимальне переміщення у 20 мм. Також потрібно розрахувати і вибрати матеріал пружного елемента представленого на рис 3.2.

					<i>ДП.ПМп01.02.1760.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		46

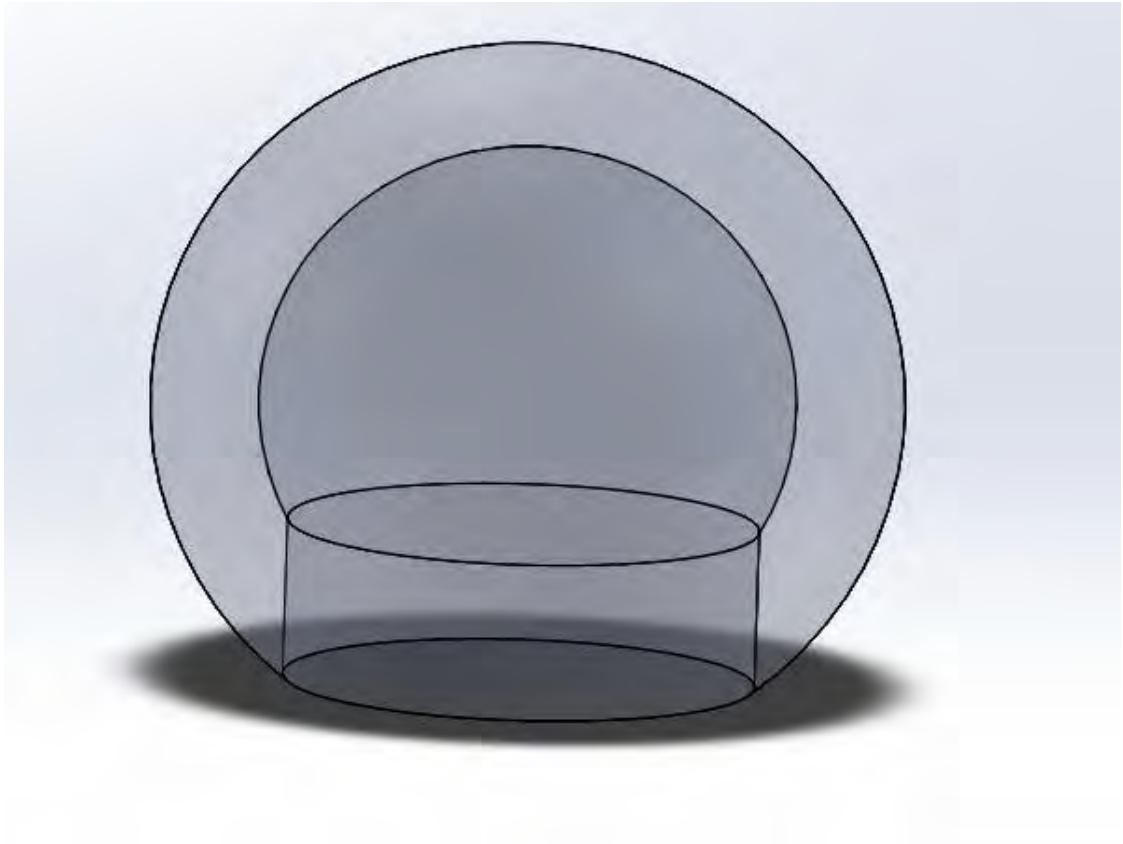


Рисунок 3.2 – Пружний елемент 3D- модель

В цьому допоможе закон Гука

$$\Delta l = \frac{F * l}{E * S}$$

З цієї формули виводимо необхідний модуль Юнга:

$$E = \frac{F * l}{\Delta l * S}$$

Розрахуємо експериментальну силу F:

Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата

*ДП.ПМп01.02.1760.00.000.ПЗ*

Арк.

47

$$F = m * (v + gt),$$

масу  $m$  візьмемо за 100 кг, швидкість  $v$  за нуль, а час 1 секунда.

$$F = 100\text{кг} * \left(0 + 9.81 * \frac{\text{м}}{\text{с}^2} * 1\text{с}\right) = 9613.8\text{ Н.}$$

Розрахуємо площу поперечного перерізу:

$$S = \pi * r^2 = 3.14 * 40^2 = 5024\text{ мм}^2.$$

Підставимо отримані значення:

$$E = \frac{F * l}{\Delta l * S} = \frac{9613.8\text{ Н} * 80\text{мм}}{20\text{мм} * 5024\text{ мм}^2} = 7.654\text{ МПа.}$$

Бачимо орієнтовне значення модулю Юнга. Датчик з пружним елементом з матеріалу з таким модулем Юнга матиме границю вимірювання приблизно на 100 кілограмах. За матеріал вирішено брати силікони (або суміші силіконів) або полімери за стандартом ТУ У6 00152 135 028-96.

Також грані сполучення з Тримачем обробити за п'ятим квалітетом з шорсткістю  $Ra=0.08$ .

### Тримач

Основними вимогами до цієї деталі є:

- сполучаюча поверхня тримача з поверхнею пружного елемента і нижня поверхня тримача мають бути як умога перпендикулярними і

					<i>ДП.ПМп01.02.1760.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		48



на свій четвертий квалітет допустиме відхилення має бути не більше за  $0.0008^\circ$  а шорсткість має бути  $Ra=0.8$ ;

- також висота тримача має бути достатньою щоб забезпечувати простір для «згигу-розгину» тензорезисторів, у даному випадку 20 мм;
- нижня частина тримача має бути горизонтальною з допуском у  $0.003^\circ$

### **Прокладка**

Основне завдання прокладок забрати надлишкову силу, яка перевищує вимірювальний діапазон тензодатчиків, у даному випадку 20 мм. Їх товщина розраховується під кожний випадок.

### **Підлоговий покрив**

Вибирається і розраховується користувачем. Часто краще налагоджувати чутливість і діапазон тензодатчиків під вже вибраний підлоговий покрив, бо він також має свої прогини і деформації.

## **3.4. Додаткові дані датчика системи автоматизованого контролю**

Щоб правильно працювати з такого роду тензорезисторним датчиком, необхідно при роботі з вихідними даними використовувати такі попередні підготовки :

- слід назвати кожен з датчиків двох координатним номером;
- щоб уникнути теплових ефектів, в будові пружного елемента можуть бути такі варіації конструктивних особливостей : вакуумна – відсутність будь якого передатчика тепла; і з прорізами – зміна коефіцієнтів пружності плюс примусова вентиляція при зтиску-розтягу, доречі друкування на 3D принтері часто не є герметичним,

					<i>ДП.ПМп01.02.1760.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		49

що дозволить нам мати легку вентиляцію при «стиску-розтиску», так як тепле повітря часто рухається у гору, то більше прорізів має бути вгорі пружного елемента, але потрібно не забувати що від цього змінюється модуль пружності пружного елемента;

- попередньо вимкнути дані або не враховувати з місць підлоги, де стоять нерухомі об'єкти будівлі - також бажано під них взагалі не розташовувати датчики;
- фізична частина системи базується на використанні Arduino Uno і її ПЗ Arduino IDE.

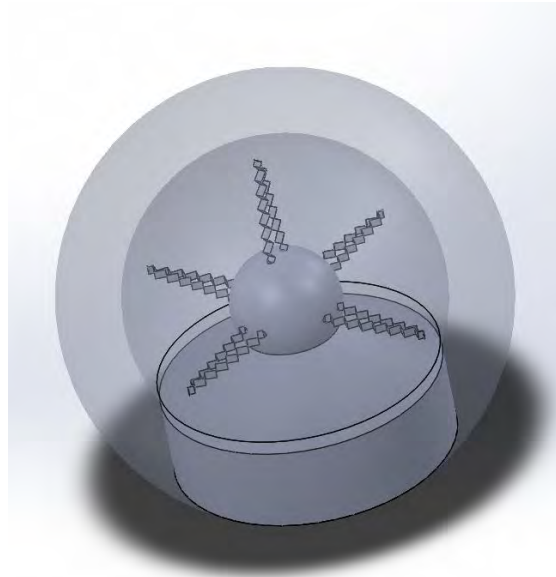


Рисунок 3.3 – Тензорезисторний модульний датчик

### 3.5 Алгоритм роботи системи автоматизованого контролю

Алгоритм є лише однією складовою частиною функціоналу і його можна модифікувати та доповнити залежно від потреб і вимог спеціаліста. У процесі розробки алгоритму було використано принципи методу Angle of Arrival (AOA).

					<i>ДП.ПМп01.02.1760.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		50

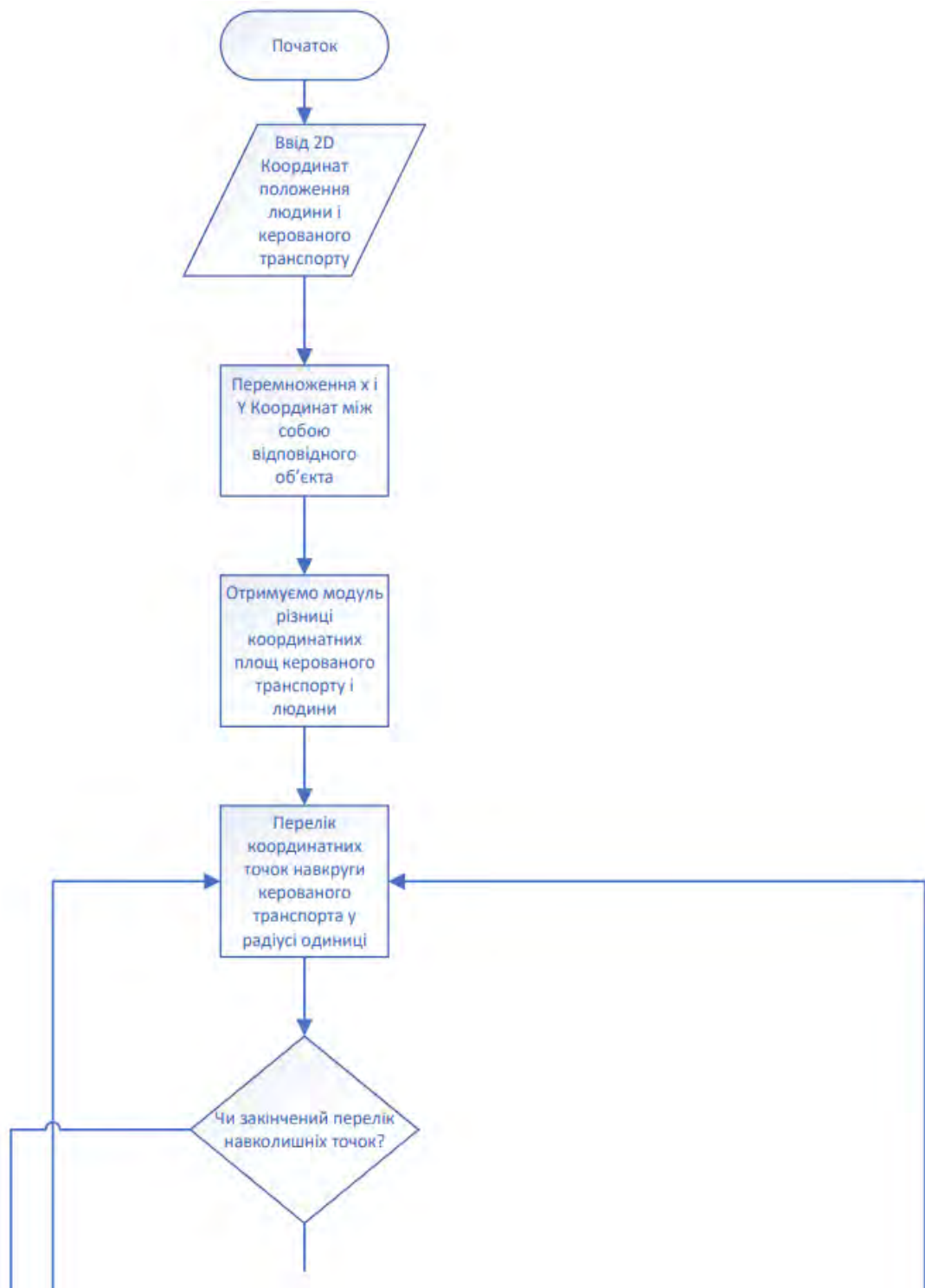


Рисунок 3.4 – Алгоритм пошуку найкоротшого шляху

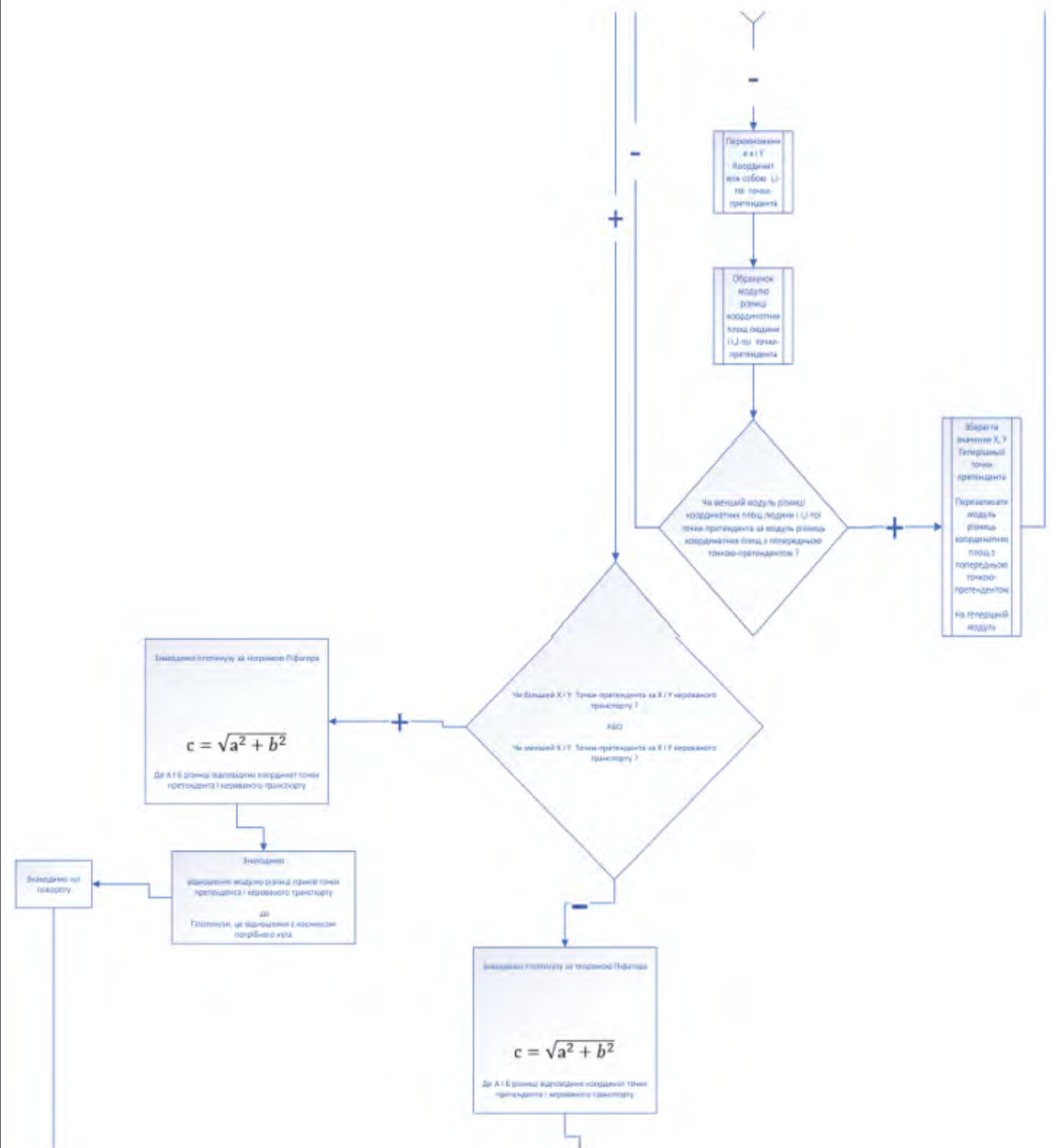


Рисунок 3.4 – Алгоритм пошуку найкоротшого шляху (продовження)

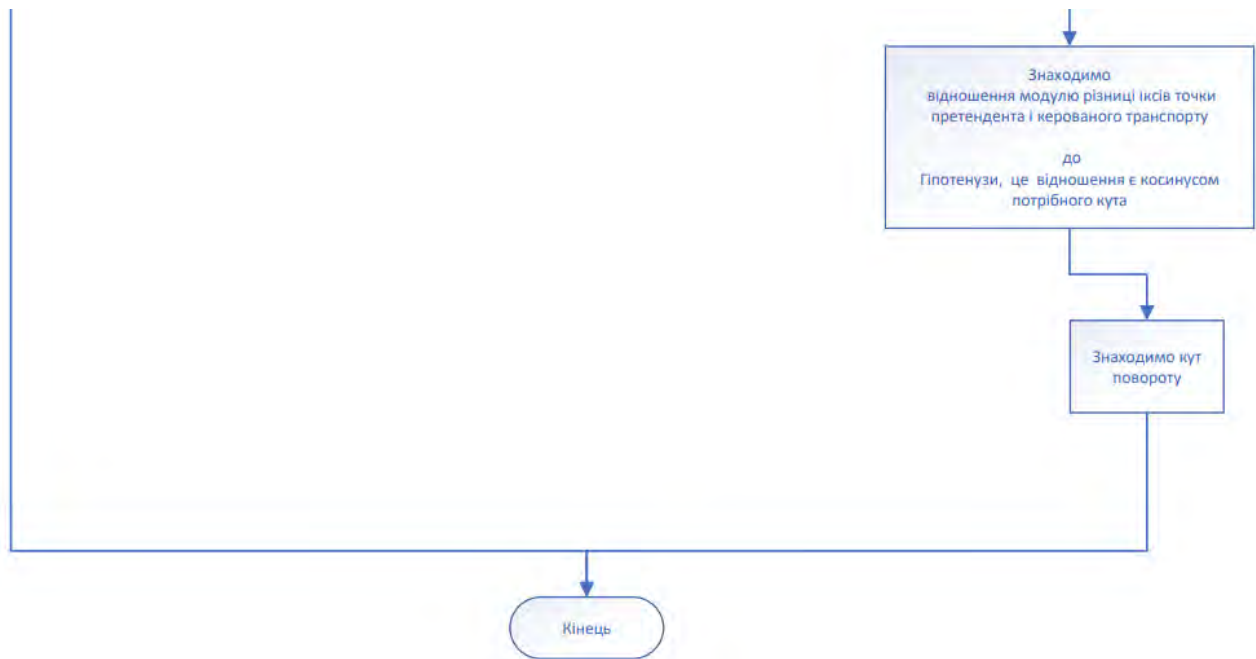


Рисунок 3.4 – Алгоритм пошуку найкоротшого шляху (закінчення)

### 3.6 Знаходження необхідної швидкості керованого транспорту

Необхідно знайти швидкість рівну швидкості користувача для подальших маневрів (наздоганяння, слідування). Спробуємо розібратися з цим наступною формулою:

$$F = m * (v + gt).$$

З формули бачимо, що нам для розрахунку швидкості  $(v + gt)$  необхідна маса  $m$ .

Масу користувача система отримає при «неявній авторизації» користувача, наприклад, коли він зайде на деякі ваги у підлозі, щоб узяти наш транспорт.

Час ми отримаємо з системи і він буде рівним:

Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата

$$t = \frac{\Delta T}{2},$$

де  $\Delta T$  – час між закінченням попередньої сили кроку і початком дії сили наступного кроку, приблизний графік сили кроків у часі показаний на рис 3.5.

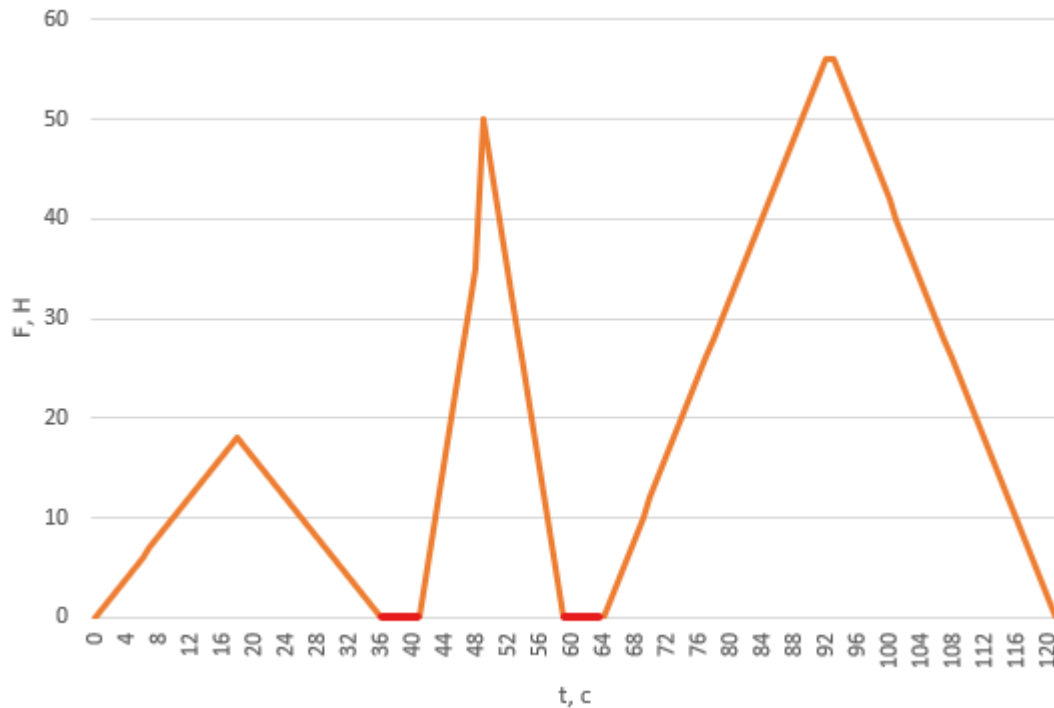


Рисунок 3.5 – Графік приблизного представлення сили кроку розподіленої у часі і інших часових характеристик ( червоним позначено графік у час  $\Delta T$ )

$$V = (v + gt) = \frac{F(t)}{m_0}.$$

Таким чином отримується швидкість, необхідна для подальших маневрів.

### 3.7 Висновки по третьому розділу

Сформульовано вимоги до властивостей системи автоматизованого контролю за рухом транспорту, а саме: функціональності, надійності, ремонтоспроможності, модульності, простоти сервісного обслуговування.

Функціональність системи окреслюється:

- отриманням та аналізом даних про положення, швидкість, напрям руху, прискорення та стан транспортного засобу;
- визначенням відхилень від заданих параметрів;
- виявленням випадків порушень та забезпеченням відповідних заходів.

Надійність системи характеризується безперебійною роботою протягом тривалого періоду часу і можливістю працювати відповідно до встановленого графіка, незалежно від кількості робочих годин на добу.

Ремонтоспроможність системи ґрунтується на ефективному виявленні та виправленні несправностей без значних затрат.

Модульність структури системи сприяє забезпеченню надійності та легкості її обслуговування шляхом заміни окремих елементів та зменшення впливу несправностей на загальну продуктивність.

Простота сервісного обслуговування полягає у можливості заміни елемента системи аналогічним, відповідним стандартам, що спрощує обслуговування та забезпечує сумісність з іншими компонентами.

За результатами розрахунку обґрунтовано вибір матеріалу тензорезистора, що є чутливим елементом системи керування.

Сформульовано підготовчі заходи для підключення чутливих елементів системи для організації її коректного функціонування.

Розроблено алгоритм визначення найкоротшого шляху.

Здійснено розрахунок швидкості керованого транспорту.

					<i>ДП.ПМп01.02.1760.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		55

## ВИСНОВКИ

В дипломному проєкті проаналізовано технології, що застосовуються для розв'язання задач стеження за рухом транспорту; розглянуто методи створення систем автоматизованого спостереження за рухомим об'єктом.

Результати досліджень показують важливість стеження за рухом транспорту в контексті забезпечення безпеки, оптимізації транспортного руху та ефективного використання ресурсів.

У першому розділі проведений аналіз різних технологій стеження за рухом транспорту, а саме: GPS, RFID, Bluetooth-маяки, навігація за допомогою Wi-Fi та геомагнітне позиціонування.

Кожна з цих технологій має свої переваги та обмеження. Вибір технології для створення системи стеження за рухомим об'єктом залежить від конкретних вимог та умов використання.

У другому розділі детально розглянуті методи створення систем стеження за переміщенням транспорту, зокрема AoA, TDoA, TWR та PDoA. Кожен з цих методів базується на різних принципах вимірювання та обробки сигналів і може бути використаний в різних ситуаціях залежно від потреб та вимог системи.

У третьому розділі здійснено проєктування системи автоматизованого контролю переміщень транспортного засобу. Встановлені вимоги до проєктування системи автоматизованого контролю, розраховані параметри системи та пружного елемента, а також враховані додаткові дані датчика системи. Цей розділ визначає практичну реалізацію інженерного рішення для забезпечення точного та ефективного контролю переміщень транспортного засобу.

					<i>ДП.ПМп01.02.1760.00.000.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		56



## ЛІТЕРАТУРА

1. Система автоматизованого контролю розподілу ваги рухомого об'єкту: стаття / М.В. Медвідь, Писарець А. В. – Київ: КПІ, 2023. – 3 с
2. «Gps Global Positioning System Concept Chart». [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.dreamstime.com/gps-global-positioning-system-concept-chart>
3. «New air force satellites launched to improve gps». [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://techcrunch.com/2016/02/05/new-air-force-satellites-launched-to-improve-gps/>
4. «GPS-Accuracy-Bouncing-Multipath». [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://argustracking.zendesk.com/hc/en-us/articles/333757037696-GPS-Accuracy-Bouncing-Multipath->
5. «What is rfid». [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.asiarfid.com/ru/what-is-rfid.html>
6. «Bluetooth beacon technology advantages». [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.acrylicwifi.com/en/blog/bluetooth-beacon-technology-advantages/>
7. «Технология UWB. Особенности и примеры использования». [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://nvgn.ru/blog/technologiya-uw-b-osobennosti-primeri-ispolzovaniya/>
8. «Endless possibilities with geomagnetic indoor positioning». [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://appdeveloper magazine.com/Endless-possibilities-with-geomagnetic-indoor-positioning/>

Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата

*ДП.ПМп01.02.1760.00.000.ПЗ*

Арк.

57

9. «The proposed UWB positioning system architecture». [Електронний ресурс].  
Режим доступу: [https://www.researchgate.net/figure/The-proposed-UWB-positioning-system-architecture\\_fig1\\_336832935](https://www.researchgate.net/figure/The-proposed-UWB-positioning-system-architecture_fig1_336832935)
10. «Time difference of arrival TDOA measurement in the first-step». [Електронний ресурс]. Режим доступу:  
[https://www.researchgate.net/figure/Time-difference-of-arrival-TDOA-measurement-in-the-first-step\\_fig2\\_277964979](https://www.researchgate.net/figure/Time-difference-of-arrival-TDOA-measurement-in-the-first-step_fig2_277964979)
11. «Phase difference measurement of a signal sampled with two different sampling». [Електронний ресурс]. Режим доступу:  
<https://dsp.stackexchange.com/questions/62268/phase-difference-measurement-of-a-signal-sampled-with-two-different-sampling-fre>
12. Загальна електротехніка і основи електроніки: навчальний посібник /  
Співак В.М., Гуржий А.М., Нельга А.Т., Ітякін О.С.– Київ: КПІ, 2020. –  
266 с.
13. Афтанділянц Є.Г. Матеріалознавство: Підручник. К.: Вища освіта, 2012.-  
с 548.