

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
(повна назва)

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації
та робототехніки
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)
Розроблення системи автоматизації для виявлення потенційно небезпечних
ситуацій при роботі з навантажувачем
на виробничих підприємствах
(тема)

Виконав:

здобувач 6 року навчання,
групи КІТПВм-23-1

Зінченко Д. О.

(прізвище, ініціали)

Спеціальність 174 Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми Освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Комп'ютерно-інтегровані
технологічні процеси та виробництва
(повна назва освітньої програми)

Керівник доц. каф. КІТАР Жарікова І. В.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри

(підпис)

(прізвище, ініціали)

2025р.

Я, як студент ХНУРЕ, розумію та підтримую політику закладу з академічної доброчесності. Я не надавав та не одержував недозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

25.12.2024

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'D. O. Zinchenko', with a stylized flourish at the end.

Зінченко Д.О.

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Факультет _____ АКТ _____
Кафедра _____ КІТАР _____
Рівень вищої освіти _____ другий (магістерський) _____
Спеціальність _____ 174 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології _____
Тип програми _____ Освітньо-професійна _____
Освітня програма _____ Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси та _____
виробництва _____
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав.кафедри _____
(підпис)

«__» _____ 2024р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві _____ Зінченко Дмитру Олександровичу _____
(шифр і назва)

1. Тема роботи: _____ Розроблення системи автоматизації для виявлення _____
потенційно небезпечних ситуацій при роботі з навантажувачем _____
на виробничих підприємствах _____

Затверджена наказом університету від _____ 22.11.2024 № 1231Ст _____

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії _____ 17.01.2025 р. _____

3. Вихідні дані до роботи: 3.1 Вилковий навантажувач; _____

3.2 Середовище розробки – Arduino IDE; _____

3.3 Тип підприємства – приладобудівне виробництво _____

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі: 4.1 Вступ; _____

4.2 Аналіз сучасних методів і систем виявлення потенційно небезпечних _____

ситуацій при роботі з навантажувачем; 4.3 Розробка концепту та структури _____

системи; 4.4 Вибір апаратного забезпечення розроблюваної системи; _____

4.5 Розрахунок розробленої системи на стійкість; 4.6 Розробка схеми _____

підключення; 4.7 Складання макету системи виявлення потенційно _____

небезпечних ситуацій; 4.8 Обґрунтування методів розробки; _____

4.9 Розробка загального алгоритму роботи системи; _____

4.10 Реалізація програми розрахунку відстані на базі Arduino Uno; _____

4.11 Реалізація функцій ідентифікації та розпізнавання об'єктів; _____

4.12 Експериментальні дослідження та аналіз отриманих результатів; _____

4.13 Висновки _____

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій Графічний демонстраційний матеріал в форматі PowerPoint(*.ppt) – 19 сторінок формату А4

6. Консультанти розділів роботи

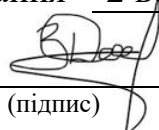
Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по-батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз сучасних методів і систем виявлення потенційно небезпечних ситуацій при роботі з навантажувачем	22.09.2024-09.10.2024	виконано
2	Розробка концепту та структури системи	10.10.2024-13.10.2024	виконано
3	Вибір апаратного забезпечення розроблюваної системи	14.10.2024-18.10.2024	виконано
4	Розрахунок розробленої системи на стійкість	19.10.2024-23.10.2024	виконано
5	Розробка схеми підключення	24.10.2024-27.10.2024	виконано
6	Складання макету системи виявлення потенційно небезпечних ситуацій	28.10.2024-06.11.2024	виконано
7	Обґрунтування методів розробки	07.11.2024-16.11.2024	виконано
8	Розробка загального алгоритму роботи системи	17.11.2024-22.11.2024	виконано
9	Реалізація програми розрахунку відстані на базі Arduino Uno	23.11.2024-01.12.2024	виконано
10	Реалізація функцій ідентифікації та розпізнавання об'єктів	02.12.2024-08.12.2024	виконано
11	Експериментальні дослідження та аналіз отриманих результатів	09.12.2024-15.12.2024	виконано

Дата видачі завдання 2 вересня 2024 р.

Здобувач


(підпис)

Керівник роботи

(підпис)

доц. каф. КІТАР Жарікова І. В.

(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 80 с., 7 табл., 23 рис., 4 дод., 24 джерела.

ВИЛКОВИЙ НАВАНТАЖУВАЧ, ПОТЕНЦІЙНІ НЕБЕЗПЕКИ, АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА, КОМП'ЮТЕРНИЙ ЗІР, УЛЬТРАЗВУКОВИЙ ДАТЧИК, ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ, ARDUINO UNO.

Мета дослідження – підвищення ефективності керування вилковим навантажувачем на виробничому підприємстві за рахунок впровадження використання технологій Інтернету речей.

Об'єкт дослідження – процес експлуатації вилкових навантажувачів на виробничому підприємстві.

Предмет дослідження – методи та технології автоматизованого виявлення потенційно небезпечних ситуацій у процесі роботи з навантажувачем на виробництві.

У кваліфікаційній роботі було проведено аналіз сучасних методів і систем виявлення потенційно небезпечних ситуацій при роботі з навантажувачем. Розроблено концепт та структуру системи. Проведено вибір апаратного забезпечення розроблюваної системи та розрахунок розробленої системи на стійкість. Розроблено схему підключення та зібрано макет системи виявлення потенційно небезпечних ситуацій. Проведено обґрунтування методів розробки. Розроблено загальний алгоритм роботи системи. Реалізовано програми розрахунку відстані на базі Arduino Uno та функції ідентифікації та розпізнавання об'єктів. Проведено експериментальні дослідження та аналіз отриманих результатів.

Отримані результати роботи можна віднести до Цілі сталого розвитку 9 «Промисловість, інновації та інфраструктура», а саме 9.4

ABSTRACT

Explanatory note: 80 pages, 7 tables, 23 figures, 4 app, 24 sources.

FORKLIFT, POTENTIAL HAZARDS, AUTOMATED SYSTEM, COMPUTER VISION, ULTRASOUND SENSOR, INTERNET OF THINGS, ARDUINO UNO.

The purpose of the study is to increase the efficiency of forklift control at a manufacturing enterprise through the use of Internet of Things technologies.

The object of the study is the process of operating free forklifts at a manufacturing enterprise.

The subject of the study is methods and technologies for automated detection of dangerous situations during work with a forklift at work.

In the qualification work, an analysis of modern methods and a system for detecting dangerous situations when working with a forklift was carried out. The concept and structure of the system were developed. The hardware of the developed system was selected and the stability calculation of the developed system was performed. A connection diagram was developed and a mock-up of the system for detecting detected dangerous situations was assembled. The development methods were substantiated. A general algorithm for the system has been developed. A program for calculating the location based on Arduino Uno and identifying and recognizing objects has been implemented. Experimental studies and analysis of the results obtained have been conducted.

The results obtained can be attributed to Sustainable Development Goal 9 “Industry, Innovation and Infrastructure”, in particular point 9.4.

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень	9
Вступ.....	10
1 Аналіз сучасних методів і систем виявлення потенційно небезпечних ситуацій під час роботи з навантажувачем	12
1.1 Аналіз можливих небезпечних ситуацій у процесі роботи з навантажувачами на виробничих підприємствах	12
1.2 Аналіз методів виявлення потенційно небезпечних ситуацій	13
1.3 Аналіз існуючих систем автоматизованого виявлення потенційно небезпечних ситуацій	15
1.4 Постановка задач дослідження	19
2 Розробка структури автоматизованої системи виявлення потенційно небезпечних ситуацій	21
2.1 Розробка концепту та структури системи	21
2.2 Вибір апаратного забезпечення розроблюваної системи.....	27
2.3 Розрахунок розробленої системи на стійкість	36
2.4 Розробка схеми підключення апаратних модулів.....	43
2.5 Складання макету системи виявлення потенційно небезпечних ситуацій	45
2.6 Висновки до 2 розділу	49
3 Розробка програмного забезпечення системи виявлення потенційно небезпечних ситуацій	50
3.1 Обґрунтування методів розробки	50
3.2 Розробка загального алгоритму роботи системи	51
3.3 Реалізація програми розрахунку відстані на базі Arduino Uno	55
3.4 Реалізація функцій ідентифікації та розпізнавання об'єктів	60
3.5 Експериментальні дослідження та аналіз отриманих результатів.....	67

3.6 Охорона праці.....	71
3.7 Висновки до 3 розділу	74
Висновки	75
Перелік джерел посилання	77
Додаток А Скетч програми прошивки плати Arduino Uno для знаходження відстані до об'єктів з використанням двох ультразвукових датчиків HC-SR04	81
Додаток Б Програмний код системи автоматизованого виявлення потенційно небезпечних ситуацій при роботі з навантажувачем на виробничих підприємствах.....	84
Додаток В Апробація результатів наукових досліджень.....	89
Додаток Г Демонстраційний матеріал	96

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

КЗР – коефіцієнт зниження ризику;

САК – структурна схема керування;

CSI – camera serial interface;

GPIO – general-purpose input/output;

OS – операційна система;

PCB – автоматичної генерації друкованих плат;

SPI – serial peripheral interface.

ВСТУП

В умовах стрімкої автоматизації промислових процесів і впровадження технологій Індустрії 4.0 необхідність забезпечення безпечного середовища для працівників стає одним із ключових завдань. Навантажувачі як засоби переміщення вантажів часто використовуються у середовищах із високою динамікою роботи та ризиками, такими як обмежені простори, великі навантаження та велика кількість працівників. Помилки оператора чи технічні несправності можуть призводити до аварій, травм або навіть смертельних випадків. Саме тому виявлення потенційно небезпечних ситуацій за допомогою сучасних автоматизованих систем дозволяє мінімізувати ці ризики, зменшуючи кількість нещасних випадків і збільшуючи продуктивність праці.

Також актуальність теми підсилюється зростанням вимог до дотримання міжнародних стандартів безпеки (ISO, OSHA тощо) та впровадженням принципів сталого розвитку. Інтеграція систем виявлення небезпечних ситуацій у виробничі процеси сприяє зниженню витрат підприємств на компенсації, ремонт техніки та зупинку роботи через різноманітні інциденти. Такі рішення є важливими у контексті конкурентоспроможності підприємств, оскільки демонструють відповідальність керівників підприємств за здоров'я своїх працівників і підтримують позитивний імідж компанії, тож розроблення подібних систем є не лише сучасним технологічним викликом, але й необхідністю для забезпечення ефективного та безпечного функціонування виробничих підприємств.

Мета дослідження – підвищення ефективності керування вилковим навантажувачем на виробничому підприємстві за рахунок впровадження використання технологій Інтернету речей.

Об'єкт дослідження – процес експлуатації вилкових навантажувачів на виробничому підприємстві.

Предмет дослідження – методи та технології автоматизованого виявлення потенційно небезпечних ситуацій у процесі роботи з навантажувачем на виробництві.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз можливих небезпечних ситуацій у процесі роботи з навантажувачами на виробничих підприємствах;
- провести аналіз методів виявлення потенційно небезпечних ситуацій;
- провести аналіз існуючих систем автоматизованого виявлення потенційно небезпечних ситуацій;
- розробити концепт та структуру системи;
- провести вибір апаратного забезпечення розроблюваної системи;
- провести розрахунок розробленої системи на стійкість;
- розробити схему підключення;
- провести складання макету системи виявлення потенційно небезпечних ситуацій;
- провести обґрунтування методів розробки;
- розробити загальний алгоритм роботи системи;
- реалізувати програму розрахунку відстані на базі Arduino Uno;
- реалізувати функції ідентифікації та розпізнавання об'єктів;
- провести експериментальні дослідження та аналіз отриманих результатів.

Кваліфікаційна робота виконана згідно ДСТУ 3008-15 [1], керуючись навчальним посібником з дипломного проектування [2] та методичними вказівками [3], а результати кваліфікаційної роботи отримали апробацію в тезах доповіді [4].

1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ І СИСТЕМ ВИЯВЛЕННЯ ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИХ СИТУАЦІЙ ПІД ЧАС РОБОТИ З НАВАНТАЖУВАЧЕМ

1.1 Аналіз можливих небезпечних ситуацій у процесі роботи з навантажувачами на виробничих підприємствах

Робота з навантажувачем на виробничих підприємствах є потенційно небезпечною через низку факторів, які можуть призвести до аварій, травм або фатальних наслідків. Розуміння та аналіз таких ситуацій є важливою складовою процесу розробки системи автоматизованого виявлення небезпек. Наведемо основні небезпечні ситуації, що можуть виникати під час експлуатації навантажувача.

Однією з основних причин небезпечних ситуацій є неправильне завантаження та розміщення вантажів. Це може призвести до дисбалансу навантажувача, що збільшує ризик його перекидання або втрати вантажу. Часто працівники не дотримуються стандартів вагового обмеження або розташування вантажу, що також є причиною аварій [5].

Ще однією проблемою може стати те, що навантажувачі призначені для роботи на обмежених просторах. Висока швидкість або неправильне маневрування можуть спричинити зіткнення з іншими транспортними засобами, спорудами або пішоходами. Також недотримання правил дорожнього руху всередині підприємства може призвести до аварій. Робота в зонах з обмеженою видимістю, таких як склади або промислові цехи, підвищує ризик зіткнень. Часто оператори навантажувачів не мають повної видимості простору навколо, що може призвести до наїзду на людей, предмети або інші транспортні засоби.

Людський фактор часто стає причиною аварій. Оператори навантажувачів, які працюють тривалий час або зазнають стресу, можуть помилятися через втому або неуважність. Це збільшує ймовірність помилок, таких як неправильне маневрування, недостатня оцінка відстаней, що може призвести до небезпечних ситуацій.

Також навантажувачі часто працюють у складних умовах, а саме на висоті, на нерівних поверхнях або в середовищах з небезпечними речовинами. Ці фактори збільшують ризик небезпечних ситуацій, особливо якщо оператори не дотримуються правил безпеки або використовують неналежне обладнання [6].

1.2 Аналіз методів виявлення потенційно небезпечних ситуацій

Розробка автоматизованих систем виявлення небезпечних ситуацій на виробничих підприємствах є важливим аспектом забезпечення безпеки працівників і оптимізації роботи з технікою. При цьому різні підходи до виявлення небезпек дозволяють ефективно аналізувати середовище та дії оператора, що особливо актуально для роботи з навантажувачами. Одним з основних підходів є використання відеокамер у поєднанні з алгоритмами комп'ютерного зору, які дозволяють реєструвати події, що відбуваються навколо навантажувача, та виявляти потенційно небезпечні об'єкти, наприклад, людей, інші машини або статичні перешкоди. Камери дають змогу отримати візуальну інформацію, яку системи аналізують для виявлення будь-яких змін у середовищі, що можуть бути індикаторами безпеки.

Ще одним важливим підходом є використання ультразвукових датчиків, що забезпечують можливість визначення відстані до об'єктів. Такі датчики працюють на основі звукових хвиль, які відбиваються від поверхні об'єктів,

і дозволяють системі точно оцінювати відстань до потенційної перешкоди. У поєднанні з відеокамерами ці датчики значно підвищують точність виявлення небезпечних ситуацій, особливо в умовах обмеженої видимості або в ситуаціях, коли об'єкти знаходяться поза полем зору оператора.

Важливою складовою сучасних методів виявлення потенційно небезпечних ситуацій є використання штучного інтелекту, що дозволяє аналізувати зібрані дані та розпізнавати загрози з високою точністю. Алгоритми машинного навчання, застосовані до аналізу зображень і даних з сенсорів, можуть класифікувати об'єкти та визначати їх потенційну небезпеку. Штучний інтелект надає системам здатність до адаптивного навчання, що дозволяє покращувати їхню ефективність з часом, виходячи з аналізу попередніх ситуацій [7]. Це підвищує надійність виявлення небезпечних умов під час роботи навантажувача.

Інтеграція сенсорів у систему безпеки вилкового навантажувача дозволяє покращити управління транспортним засобом та зменшити ризик аварій. Мікроконтролери, які керують обробкою сигналів від ультразвукових датчиків, забезпечують своєчасне реагування на небезпеку. Окрім того, ці системи можуть бути з'єднані з автоматичними системами аварійного гальмування, що значно скорочує час реакції у критичних ситуаціях. Застосування таких методів дозволяє зменшити залежність від людського фактору, мінімізуючи можливі помилки оператора під час роботи з навантажувачем.

Методи візуалізації навколишнього середовища також відіграють важливу роль у забезпеченні безпеки. Системи, що забезпечують візуальне подання інформації оператору, дозволяють йому краще орієнтуватися в робочому просторі та швидко реагувати на зміни у навколишньому середовищі. Наприклад, відображення даних з камери та ультразвукових датчиків на екрані або дисплеї забезпечує повну картину того, що

відбувається навколо навантажувача, що дозволяє уникати зіткнень або інших аварійних ситуацій.

Важливим напрямком розвитку є створення технологій інтерфейсу «людина-машина», що дозволяє операторам взаємодіяти з системами виявлення потенційних загроз в інтуїтивно зрозумілий спосіб. Це включає не тільки візуалізацію інформації, але й використання звукових і вібраційних сигналів для попередження оператора про потенційні небезпеки. Усі перераховані методи виявлення й обробки небезпечних ситуацій створюють основу для ефективної системи захисту операторів і підвищення безпеки на виробничих підприємствах.

1.3 Аналіз існуючих систем автоматизованого виявлення потенційно небезпечних ситуацій

У сучасних умовах технології автоматизованого виявлення небезпечних ситуацій активно впроваджуються у різних галузях промисловості, зокрема у сфері транспортування та логістики, де використовуються навантажувачі. Існує чимало реалізованих систем, які базуються на сучасних технологіях, таких як комп'ютерний зір, ультразвукові датчики, системи штучного інтелекту та автоматичні системи аварійного гальмування. Ці системи мають на меті забезпечити безпеку операцій з важкими транспортними засобами та мінімізувати ризик аварій, що можуть призвести до травм або пошкодження обладнання. Розглянемо декілька прикладів таких рішень.

Однією з найвідоміших систем виявлення потенційно небезпечних ситуацій є система «SICK Visionary-B» (рис. 1.1), яка розроблена німецькою компанією SICK AG. Ця система використовує тривимірні камери та датчики для сканування простору навколо навантажувача.

Завдяки технології стереовізії система може створювати 3D-карту навколишнього середовища в режимі реального часу. Це дозволяє виявляти об'єкти, що можуть стати причиною зіткнень, навіть якщо вони знаходяться поза полем зору оператора. Камери забезпечують точне розпізнавання перешкод, таких як люди або інші транспортні засоби, і надають інформацію оператору через візуальні або звукові сигнали [8].



Рисунок 1.1 – Система «SICK Visionary-B»

Ще одним прикладом є система «SmartFork» (рис. 1.2), розроблена компанією Vetter Forks. Вона спеціалізується на покращенні безпеки й ефективності роботи навантажувачів за допомогою інтелектуальних вилок. Ця система оснащена камерами та сенсорами, вбудованими у вилки навантажувача, що дозволяє оператору бачити зону завантаження з різних кутів. Крім того, вона має функцію автоматичного виявлення перешкод, що можуть виникнути під час підйому або транспортування вантажів. Система SmartFork допомагає операторам краще оцінювати робоче середовище, знижуючи ризик помилок і зіткнень під час завантаження або розвантаження вантажів [9].



Рисунок 1.2 – Система «SmartFork»

Автоматизована система «Toyota SAS» (System of Active Stability) (рис. 1.3) є одним з ключових компонентів забезпечення безпеки навантажувачів від Toyota.

Ця система працює на основі збору даних про положення навантажувача та вантажу.

Вона використовує датчики, які постійно моніторять нахил кузова та вилки навантажувача, і в разі виявлення нестабільної ситуації автоматично стабілізує його шляхом корекції нахилу.

Це значно знижує ризик перекидання навантажувача, особливо під час роботи на нерівних поверхнях або за умови перевезення важких вантажів. Система SAS також має функцію автоматичного зниження швидкості в разі небезпеки [10].

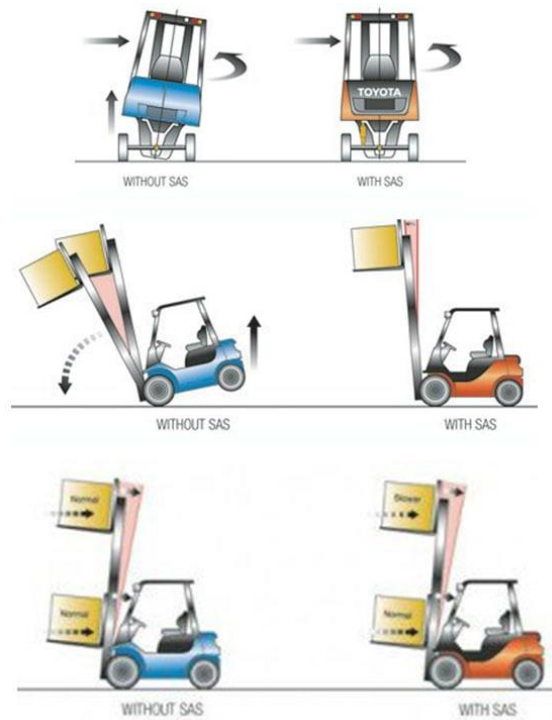


Рисунок 1.3 – Система «Toyota SAS»

Американська компанія Raymond також впровадила інноваційні системи безпеки для своїх навантажувачів. Однією з таких є система «Raymond Virtual Reality Simulator», яка дозволяє операторам тренуватися в безпечному середовищі, відтворюючи реальні сценарії роботи з навантажувачем. Це допомагає знижувати рівень помилок операторів, особливо новачків, завдяки інтерактивному навчальному процесу. Окрім тренувальної функції, система використовує реальні дані для аналізу небезпечних ситуацій, таких як надто близьке під'їждання до об'єктів або неправильне маневрування, що дозволяє вдосконалювати роботу операторів і знижувати ризик аварій [11].

Іншим прикладом є система «BlueSpot» (рис. 1.4), розроблена компанією Linde Material Handling. Вона використовує проєкційні світлові індикатори, які попереджають людей на виробничому майданчику про наближення навантажувача. Система BlueSpot проєктує яскраві світлові сигнали на підлогу перед навантажувачем, що дозволяє пішоходам або іншим операторам бачити рух транспорту навіть у ситуаціях з обмеженою

видимістю. Це значно зменшує кількість інцидентів на підприємствах, де пересування людей і техніки відбувається в одному просторі [12].



Рисунок 1.4 – Система «BlueSpot»

Після проведеного аналізу можна підсумувати, що сучасні системи автоматизованого виявлення небезпечних ситуацій пропонують широкий спектр рішень, що базуються на різних технологіях. Вони не лише підвищують рівень безпеки на виробництві, але й допомагають знижувати витрати на ремонт обладнання та лікування постраждалих. Кожна з описаних систем має свої унікальні особливості та способи інтеграції, проте спільною рисою є їхня здатність виявляти потенційні загрози та допомагати операторам навантажувачів уникати небезпечних ситуацій у реальному часі.

1.4 Постановка задач дослідження

В ході проведеного аналізу у першому розділі, було виявлено, що тема даного дослідження є актуальною. Метою даного дослідження є підвищення ефективності керування вилковим навантажувачем на виробничому підприємстві за рахунок впровадження використання технологій Інтернету речей. Об'єктом дослідження є процес експлуатації вилкових навантажувачів на виробничому підприємстві. Предметом дослідження є методи та

технології автоматизованого виявлення потенційно небезпечних ситуацій у процесі роботи з навантажувачем на виробництві. Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити наступні завдання:

- розробити концепт та структуру системи;
- провести вибір апаратного забезпечення розроблюваної системи;
- провести розрахунок розробленої системи на стійкість;
- розробити схему підключення;
- провести складання макету системи виявлення потенційно небезпечних ситуацій;
- провести обґрунтування методів розробки;
- розробити загальний алгоритм роботи системи;
- реалізувати програму розрахунку відстані на базі Arduino Uno;
- реалізувати функції ідентифікації та розпізнавання об'єктів;
- провести експериментальні дослідження та аналіз отриманих результатів.

2 РОЗРОБКА СТРУКТУРИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ВИЯВЛЕННЯ ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИХ СИТУАЦІЙ

2.1 Розробка концепту та структури системи

Концепт автоматизованої системи виявлення потенційно небезпечних ситуацій для вилочного навантажувача передбачає інтеграцію декількох датчиків і камер для забезпечення безпеки на складі чи в іншому промисловому середовищі. Основна ідея системи полягає в тому, щоб забезпечити реальний моніторинг і швидке реагування на перешкоди, що можуть загрожувати безпеці роботи вилового навантажувача. Система буде оснащена передніми та задніми ультразвуковими датчиками, які постійно вимірюють відстань до перешкод, що дозволяє виявляти будь-які об'єкти, що наближаються до навантажувача з різних напрямків. Ці датчики допомагають виявляти перешкоди, що можуть бути непомітні для оператора навантажувача, забезпечуючи надійний захист.

Крім того, система використовує камеру, розташовану спереду навантажувача, для забезпечення візуального моніторингу переднього простору. Камера забезпечує високий рівень деталізації та дозволяє системі розпізнавати потенційні загрози, такі як люди, інші транспортні засоби або незвичні перешкоди. Зображення з камери обробляються за допомогою алгоритмів комп'ютерного зору, які аналізують сцену в реальному часі та визначають потенційно небезпечні ситуації. У разі виявлення загрози, система автоматично подає сигнал тривоги або активує системи аварійного гальмування для запобігання можливих аварій.

Таким чином, інтеграція датчиків і камер у систему забезпечує всебічний контроль за безпекою навколишнього середовища навантажувача, значно знижуючи ризики та покращуючи загальний рівень безпеки у процесі

роботи у складських або виробничих умовах. Графічне представлення запропонованого концепту автоматизованої системи виявлення потенційно небезпечних ситуацій під час роботи з навантажувачем представлено на рисунку 2.1.

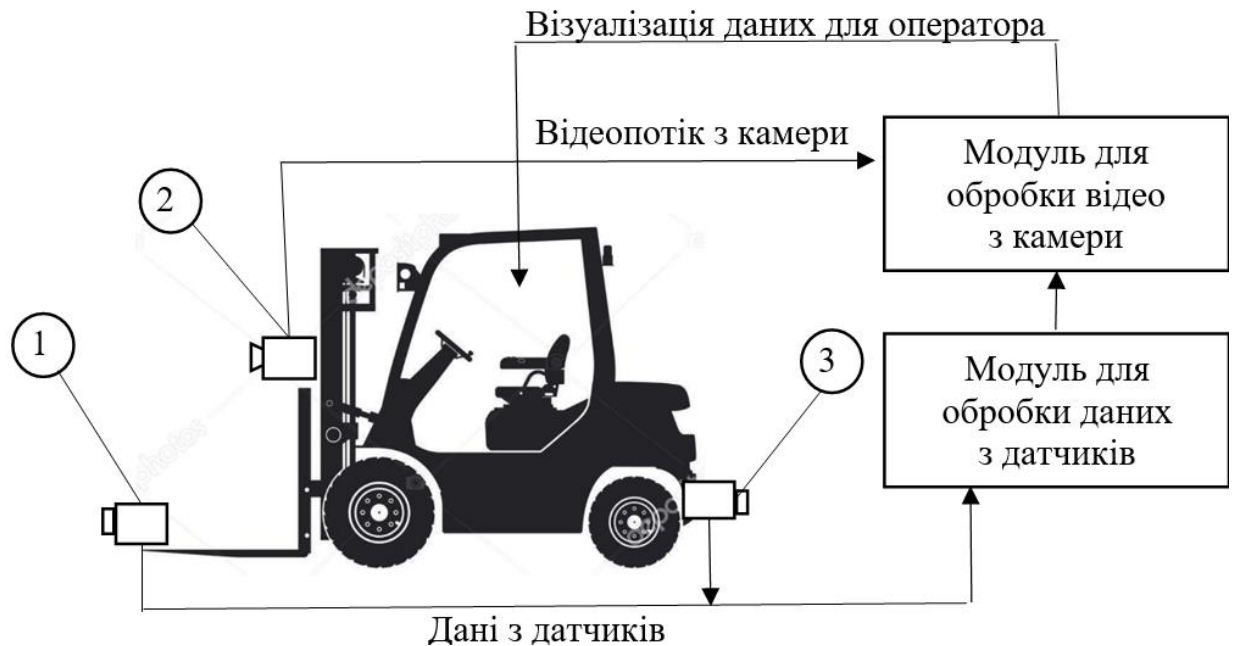


Рисунок 2.1 – Концепт розроблюваної автоматизованої системи виявлення потенційно небезпечних ситуацій

Опишемо призначення всіх елементів розроблюваної автоматизованої системи виявлення потенційно небезпечних ситуацій, представлених на рисунку 2.1:

- 1, 3 – ультразвукові датчики відстані, що дозволяють отримати дані про відстань до об'єктів в робочій зоні навантажувача;

- 2 – камера, яка встановлюється на раму підйомного елемента навантажувача, що дає можливість оператору бачити робочу зону навантажувача при встановленні та знятті вантажів, якщо оператор фізично не може цього бачити;

- модуль обробки відео з камери разом із модулем обробки даних з ультразвукових датчиків дозволяє не тільки бачити робочу зону

навантажувача з відстанню до об'єктів, але й дає можливість використовувати штучні мережі для розпізнавання й ідентифікації, що дозволить покращити ефективність керування навантажувачем і зменшити вірогідність виникнення потенційно небезпечних ситуацій.

Наявність такої системи дозволяє виявляти й уникати можливих аварійних ситуацій, що можуть виникнути через невидимі перешкоди, людські помилки чи технічні несправності. Без ефективної системи моніторингу ризику суттєво зростають, що може призвести до серйозних травм, пошкоджень обладнання та фінансових витрат. Такий підхід дозволить підвищити безпеку й ефективність операцій на складах і в промислових умовах. На базі розробленого концепту (рис. 2.1) розробимо структурну схему автоматизованої системи виявлення потенційно небезпечних ситуацій для роботи з навантажувачем.

Структурна схема допомагає візуалізувати всі компоненти системи, включаючи датчики, камери й алгоритми обробки даних, що забезпечують комплексний підхід до безпеки. Це дозволяє створити інтегроване рішення, яке поєднує різні технології для забезпечення максимальної точності та надійності виявлення загроз. Крім того, розробка такої схеми допомагає у плануванні та реалізації відповідних заходів, що підвищують ефективність роботи навантажувача, зменшують ризики аварій і покращують загальну безпеку на робочому місці. Розроблена структурна схема автоматизованої системи виявлення потенційно небезпечних ситуацій наведена на рисунку 2.2. Опишемо призначення всіх елементів розробленої структурної схеми (рис. 2.2):

– елемент «Камера» у структурній схемі автоматизованої системи виявлення потенційно небезпечних ситуацій для навантажувача має ключове призначення забезпечення візуального моніторингу переднього простору навантажувача. Камера здійснює зйомку у реальному часі, надаючи чітке зображення навколишнього середовища, що дозволяє системі виявляти

перешкоди, які не видно з місця водія. Зображення з камери обробляються алгоритмами комп'ютерного зору, які аналізують сцени для розпізнавання людей, інших транспортних засобів або об'єктів, які можуть створити загрозу. Виявлені небезпеки сигналізуються системі, що дозволяє взяти заходів для уникнення аварійних ситуацій або автоматично активувати функції аварійного гальмування;

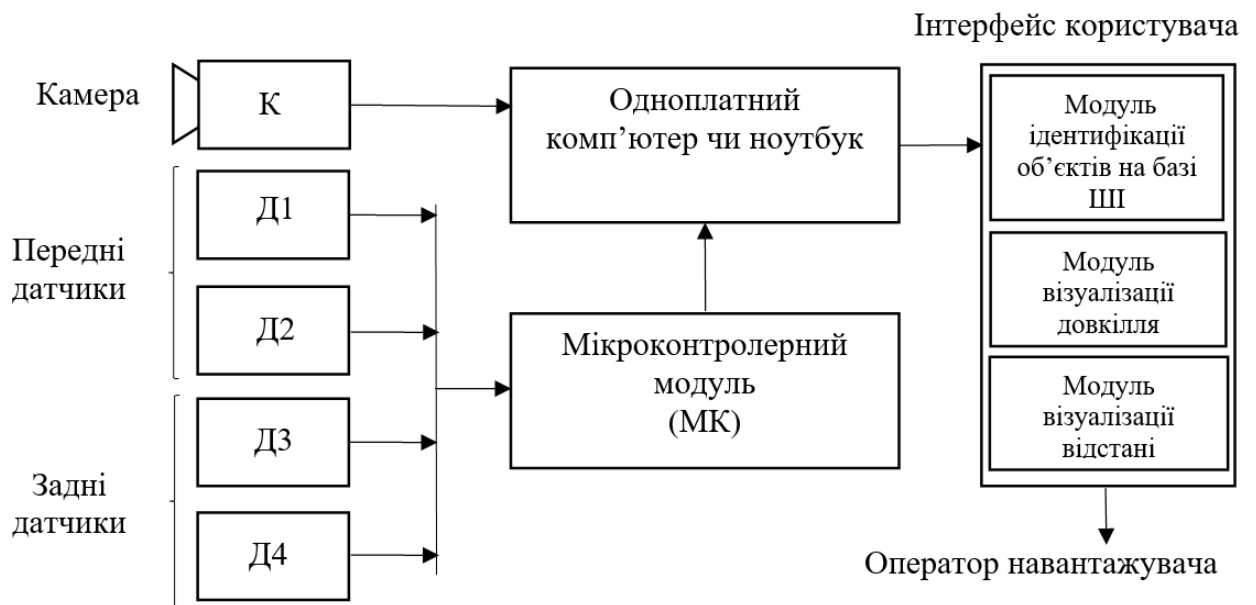


Рисунок 2.2 – Розроблена структурна схема автоматизованої системи виявлення потенційно небезпечних ситуацій при роботі з навантажувачем

– елементи Д1-Д4 у структурній схемі автоматизованої системи виявлення потенційно небезпечних ситуацій на навантажувачі представляють ультразвукові датчики, розміщені на різних частинах конструкції навантажувача. Датчики Д1 і Д2 розташовані спереду навантажувача та забезпечують моніторинг переднього простору, виявляючи перешкоди або об'єкти, що наближаються до фронтальної частини навантажувача. Датчики Д3 і Д4, розміщені ззаду, виконують аналогічну функцію для задньої частини навантажувача, дозволяючи виявляти перешкоди або об'єкти, що можуть знаходитися позаду або вбік від задньої частини. За допомогою ультразвукових сигналів ці датчики вимірюють відстань до навколишніх

об'єктів, що дозволяє системі вчасно реагувати на потенційні загрози, знижуючи ризик аварій та покращуючи безпеку операцій;

– елемент «Одноплатний комп'ютер чи ноутбук» виконує роль основного обробного центру, який керує всіма функціями системи. Він відповідає за обробку даних, отриманих від ультразвукових датчиків і камери, та виконує алгоритми комп'ютерного зору для виявлення потенційних загроз. Цей комп'ютер обробляє інформацію в реальному часі, що дозволяє швидко реагувати на будь-які небезпечні ситуації, забезпечуючи точність і оперативність у прийнятті рішень. Він також забезпечує зберігання й аналіз даних, які надходять від сенсорів, що допомагає у моніторингу ефективності роботи системи та її вдосконаленні. Важливою функцією є взаємодія з іншими компонентами системи, такими як сигнальні пристрої або системи аварійного гальмування, для забезпечення безпечної роботи навантажувача;

– елемент «Мікроконтролерний модуль» виконує ключову роль у обробці сигналів від датчиків (Д1...Д4). Мікроконтролер відповідає за збирання та первинну обробку даних, що надходять від ультразвукових датчиків, забезпечуючи точність у визначенні відстані до перешкод. Мікроконтролер також виконує алгоритми для обробки сигналів і прийняття рішень у реальному часі, таких як активація сигналів тривоги або систем аварійного гальмування. Це дозволяє оперативно реагувати на потенційні загрози, забезпечуючи безпеку під час роботи навантажувача. Крім того, мікроконтролер може зберігати та передавати дані для подальшого аналізу і вдосконалення системи;

– елемент «Модуль ідентифікації об'єктів на базі штучного інтелекту» забезпечує високоточне розпізнавання та класифікацію об'єктів у реальному часі. Цей модуль обробляє зображення, отримані від камери, використовуючи алгоритми машинного навчання для ідентифікації різних об'єктів, таких як люди, інші транспортні засоби або перешкоди. Завдяки

передовим технологіям ШІ, модуль здатний точно визначати тип і місце розташування об'єктів, що дозволяє системі адекватно реагувати на різні ситуації. Ідентифіковані об'єкти передаються до центрального обробного центру для подальшого аналізу та прийняття рішень. Модуль ШІ допомагає знижувати ймовірність помилок, забезпечуючи більш точне визначення загроз і підвищуючи загальний рівень безпеки під час роботи навантажувача;

– елемент «Модуль візуалізації довкілля» забезпечує відображення реального стану навколишнього середовища на екрані для водія чи оператора. Цей модуль обробляє дані з камери та сенсорів, створюючи детальну картину того, що відбувається навколо навантажувача. Він дозволяє оператору візуально оцінити ситуацію та швидко виявити перешкоди, об'єкти або людей, що можуть створити загрозу. Візуалізація у реальному часі забезпечує інтуїтивно зрозумілий інтерфейс для прийняття рішень і сприяє безпеці під час маневрування навантажувачем. Модуль також може відображати інформацію про потенційні небезпеки та сигнали тривоги, що дозволяє оперативно реагувати на небезпечні ситуації. Це забезпечує комплексний підхід до управління безпекою, значно знижуючи ризики аварій і полегшуючи процес контролю над навантажувачем;

– елемент «Модуль візуалізації відстані» забезпечує відображення інформації про відстань до об'єктів з навколишнього середовища. Цей модуль обробляє дані, отримані від ультразвукових датчиків, і перетворює їх у зрозумілу візуалізацію, яку можна спостерігати на екрані або дисплеї у кабіні оператора навантажувача. Він надає оператору інформацію про відстань до перешкод спереду та ззаду навантажувача, що дозволяє точно оцінити безпечну дистанцію під час маневрування. Модуль може відображати цю інформацію у вигляді графічних індикаторів або числових значень, що полегшує розуміння ситуації та дозволяє швидко реагувати на наближення до перешкод. Це допомагає знижувати ризики можливих

зіткнень та аварій, забезпечуючи більшу точність і безпеку під час роботи з навантажувачем.

2.2 Вибір апаратного забезпечення розроблюваної системи

На апаратні модулі, що зазначені в розробленій структурній схемі автоматизованої системи виявлення потенційно небезпечних ситуацій для навантажувача (рис. 2.2), накладається кілька важливих обмежень. По-перше, датчики, такі як ультразвукові, мають бути здатні функціонувати у різних умовах освітлення та температури, щоб забезпечити стабільну та точну роботу за будь-яких атмосферних умов. Вони повинні мати високу чутливість і точність, щоб точно вимірювати відстань до об'єктів і виявляти перешкоди, що може вимагати дорогих і складних технологій. Камера, розташована на навантажувачі, має забезпечувати високу роздільну здатність і чіткість зображення, навіть за умови поганого освітлення, що потребує потужного обробного обладнання та належного освітлення.

Мікроконтролерний модуль має бути здатний швидко обробляти дані з усіх датчиків, що накладає вимоги до його обчислювальної потужності та швидкості обробки. Він також має бути надійним і витривалим, щоб працювати в умовах вібрацій, ударів і температурних коливань, що характерно для промислових середовищ. Модуль ідентифікації об'єктів на базі штучного інтелекту потребує потужних обчислювальних ресурсів для навчання та виконання алгоритмів розпізнавання, що може вимагати спеціалізованого обладнання або потужних серверів.

Модулі візуалізації, як відстані, так і довкілля, мають забезпечувати реальний час відображення даних, що ставить вимоги до швидкості оновлення й якості зображення. Вони також мають бути інтегровані з іншими компонентами системи, щоб забезпечити безперебійну передачу інформації та зменшити затримки. Загалом, усі апаратні компоненти мають бути

інтегровані в компактний і захищений корпус, щоб витримувати вплив зовнішніх факторів та забезпечувати довговічність і надійність системи.

Виходячи з вищеперерахованих обмежень на технічні характеристики, які накладаються на апаратні модулі, проведемо аналіз та виберемо їх для розробки макета. Як одноплатний комп'ютер чи ноутбук (рис. 2.3), пропонується використовувати мінікомп'ютер Raspberry PI 4 Model B 4 GB, загальний вид якого представлено на рисунку 2.3, а його технічні характеристики наведено у таблиці 2.1.

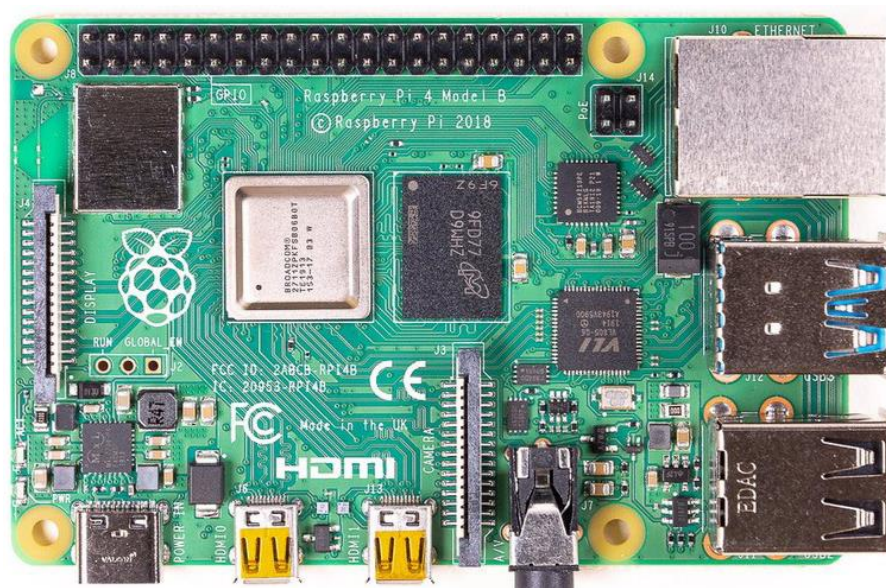


Рисунок 2.3 – Загальний вид мінікомп'ютера Raspberry PI 4 Model B 4 GB

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики мінікомп'ютера Raspberry PI 4 Model B 4 GB [13]

Характеристика	Опис
1	2
Процесор	Broadcom BCM2711, Quad-core Cortex-A72 (ARM v8) 64-bit, 1.5 GHz
Оперативна пам'ять	4 GB LPDDR4-3200 SDRAM
Сховище	microSD (вбудоване сховище, не включає в комплект)

Продовження таблиці 2.1

1	2
Порти USB	2 x USB 3.0, 2 x USB 2.0
Графічний вихід	2 x micro-HDMI, підтримка до 4Кр6
Мережа	Gigabit Ethernet, 802.11ac Wi-Fi, Bluetooth 5.0
GPIO	40 пінів GPIO, підтримка UART, I2C, SPI, PWM
HDMI	2 x micro-HDMI (до 4Кр60)
Аудіо	Підтримка аудіо через HDMI або 3,5 мм аудіо вихід
Відео кодеки	H.265 (4Кр60), H.264 (1080р60)
Живлення	5V DC через USB-C (мінімум 3 А)
Розміри	85,6 мм × 56,5 мм × 17 мм
Вага	46 г
Операційна система	Підтримує різні ОС на основі Linux (Raspberry Pi OS, Ubuntu, тощо)
Ціна	~ 150 \$

Мінікомп'ютер Raspberry Pi 4 Model B з 4 ГБ оперативної пам'яті пропонує ряд переваг для розробки автоматизованої системи виявлення потенційно небезпечних ситуацій для навантажувача. По-перше, потужний процесор Quad-core Cortex-A72 і 4 ГБ оперативної пам'яті забезпечують достатню обчислювальну потужність для обробки даних з камери та сенсорів у реальному часі. Вбудовані порти USB 3.0 дозволяють швидку передачу даних, що є важливим для обробки великих обсягів інформації, отриманої від різних датчиків. Мережеві можливості Raspberry Pi 4, включаючи Gigabit Ethernet і 802.11ac Wi-Fi, забезпечують стабільний зв'язок і можливість віддаленого моніторингу системи [13].

Крім того, підтримка двох мікро-HDMI виходів дозволяє підключати декілька дисплеїв для візуалізації даних і результатів обробки у реальному

часі. GPIO піни на Raspberry Pi 4 забезпечують гнучкість у підключенні додаткових сенсорів і пристроїв, що може бути корисно для інтеграції з іншими компонентами системи. Компактний розмір і відносно низька вартість Raspberry Pi 4 роблять його економічно вигідним вибором для проєктів, що потребують вбудованих комп'ютерних рішень.

Операційна система, що підтримує Raspberry Pi 4, пропонує широкий спектр програмного забезпечення для розробки та інтеграції систем, включаючи бібліотеки для обробки зображень і даних, що спрощує реалізацію складних алгоритмів. Такі характеристики роблять Raspberry Pi 4 Model B гарним рішенням для створення ефективної та економічної автоматизованої системи безпеки для навантажувача.

Як датчики Д1...Д4 розроблюваної системи виявлення потенційно небезпечних ситуацій для навантажувача пропонується використовувати ультразвуковий датчик HC-SR04, загальний вид якого представлено на рисунку 2.4, а його технічні характеристики наведено в таблиці 2.2.



Рисунок 2.4 – Загальний вид ультразвукового датчика HC-SR04 [14]

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики ультразвукового датчика HC-SR04

Характеристика	Опис
1	2
Тип	Ультразвуковий датчик відстані
Діапазон вимірювання	Від 2 см до 400 см

Продовження таблиці 2.2

1	2
Роздільна здатність	0,3 см
Точність	± 3 мм або ± 1 % від відстані
Частота ультразвуку	40 кГц
Робоча напруга	5 В DC
Споживана потужність	15 мА у режимі очікування, до 20 мА під час вимірювання
Вимірювання часу	Від 0,03 с до 0,4 с
Кут огляду	Прямий, без можливості змінювати кут огляду
Вимірювальні сигнали	Ультразвукові імпульси
Підключення	4 пінів: VCC, Trig, Echo, GND
Габарити	45 мм \times 20 мм \times 15 мм
Вага	~ 8 г
Ціна	~ 1 \$

Як можна бачити з таблиці 2.2, ультразвуковий датчик HC-SR04 має кілька переваг для розробки автоматизованої системи виявлення потенційно небезпечних ситуацій для навантажувача. Широкий діапазон вимірювання від 2 см до 400 см дозволяє ефективно виявляти перешкоди на різних відстанях від навантажувача. Висока точність до ± 3 мм забезпечує детальне вимірювання відстані, що є критично важливим для своєчасного виявлення потенційних загроз. Крім того, датчик працює за напруги всього 5 В DC, що робить його сумісним із багатьма контролерами та мікроконтролерами. Низьке споживання енергії, до 20 мА під час вимірювання, гарантує економічність в експлуатації. Простота підключення та використання, а також відсутність потреби в спеціальному калібруванні роблять HC-SR04

зручним і ефективним інструментом для інтеграції в систему безпеки навантажувача [14].

Для візуалізації отриманих даних з камери та ультразвукового датчику в розроблюваній системі виявлення потенційно небезпечних ситуацій для навантажувача необхідно обрати дисплей для виведення інформації, необхідної оператору. У рамках даної розробки пропонується використовувати дисплей Raspberry Pi 4.0inch LCD 480 x 320 Resistive Touch Screen, загальний вид якого представлено на рис. 2.5, а його технічні характеристики наведено в табл. 2.3.



Рисунок 2.5 – Загальний вид дисплея Raspberry Pi 4.0inch LCD 480 × 320 Resistive Touch [15]

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики дисплея Raspberry Pi 4.0inch LCD 480x320 Resistive Touch

Характеристика	Опис
1	2
Розмір екрану	480 пікселів × 320 пікселів
Тип сенсора	Резистивний сенсор
Тип підключення	GPIO (підключається через GPIO пін або через шину SPI)
Яскравість	Від 200 кд/м ² до 300 кд/м ²

Продовження таблиці 2.3

1	2
Контрастність	400 : 1
Кут огляду	Приблизно 60° по горизонталі і вертикалі
Час відгуку	30 мс
Колірна палітра	65 К кольорів (16-бітний)
Сенсорне управління	Підтримка натискань і свайпів
Споживана потужність	100-200 мА за 5 В DC
Інтерфейс	SPI або GPIO
Розміри	92 мм × 65 мм × 8 мм
Вага	Від 70 до 80 г
Ціна	~ 30 \$ – 40 \$

Як можна бачити з таблиці 2.3, дисплей Raspberry Pi 4.0-inch LCD 480 × 320 Resistive Touch пропонує кілька важливих переваг для розробки автоматизованої системи виявлення потенційно небезпечних ситуацій для навантажувача. Роздільна здатність 480 пікселів × 320 пікселів забезпечує чітке відображення інформації, що дозволяє легко відслідковувати дані з сенсорів і камер. Резистивний сенсорний екран дозволяє інтуїтивно управляти системою за допомогою дотиків, що підвищує зручність користування й оперативність в управлінні. Висока яскравість екрану до 300 кд/м² і контрастність близько 400:1 гарантують достатню видимість в умовах різного освітлення, що важливо для роботи у промислових умовах. Хоча кут огляду обмежений, дисплей все ж забезпечує достатню видимість для інтерактивних елементів. Час відгуку 30 мс дозволяє швидко реагувати на дії оператора, що критично для безпеки. Невеликі розміри та вага дисплея

роблять його зручним для інтеграції в систему навантажувача без значного впливу на загальний розмір і вагу обладнання [15].

У даному дослідженні пропонується використовувати спеціалізовану камеру для мінікомп'ютера Raspberry Pi 4 Model B 4 GB – камеру FPV Waveshare RPi Camera (B), загальний вид якої представлено на рисунку 2.6, а її технічні характеристики наведено у таблиці 2.4.



Рисунок 2.6 – Загальний вид камери FPV Waveshare RPi Camera (B) [16]

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики камери FPV Waveshare RPi Camera (B)

Характеристика	Опис
1	2
Модель	Waveshare RPi Camera (B)
Тип сенсора	5-мегапіксельний сенсор OV5647
Роздільна здатність	2592 пікселів × 1944 пікселів (5 MP)
Розмір сенсора	1/4 дюйма
Фокусна відстань	3,6 мм
Кут огляду	Приблизно 62°
Максимальна роздільна здатність відео	1080p (Full HD) при 30 fps
Тип підключення	CSI (Camera Serial Interface) через з'єднувач Raspberry Pi

Продовження таблиці 2.4

1	2
Формат відео	H.264
Частота кадрів	До 30 fps
Тип об'єктива	Фіксований
Формат зображення	JPEG, BMP, PNG
Кут огляду	Широкий
Габарити	25 мм × 24 мм × 9 мм
Вага	3 г
Ціна	~ 20 \$

Як можна бачити з таблиці 2.4, камера FPV Waveshare RPi Camera (B) є підходящим рішенням, розроблюючи автоматизовану систему виявлення потенційно небезпечних ситуацій для роботи навантажувачем, завдяки своїм високим технічним характеристикам. З роздільною здатністю 5 мегапікселів і можливістю запису відео у Full HD 1080p при 30 кадрах за секунду, ця камера забезпечує чітке та детальне зображення, що критично важливо для точного виявлення небезпек. Широкий кут огляду, приблизно 62°, дозволяє камері охоплювати велику площу перед навантажувачем, що сприяє ранньому виявленню об'єктів і перешкод. Висока якість відео та підтримка формату H.264 забезпечують ефективну передачу та збереження відео, що полегшує моніторинг і аналіз ситуацій. Компактні розміри та легкість камери роблять її зручною для інтеграції в обмежений простір навантажувача, не додаючи зайвого навантаження на конструкцію. Завдяки підключенню через CSI інтерфейс до Raspberry Pi камера легко інтегрується з обробними системами для реального часу аналізу та прийняття рішень [16].

2.3 Розрахунок розробленої системи на стійкість

Розрахунок стійкості розробленої системи є критично важливим для забезпечення її надійності та ефективності в реальних умовах експлуатації. Він допомагає визначити, як система реагує на зовнішні збурення та внутрішні зміни, що дозволяє впевнитися в її стабільності навіть за непередбачених обставин або помилок у вхідних даних. Це також сприяє оптимізації використання ресурсів, таких як процесорна потужність і енергоспоживання, забезпечуючи їх ефективне використання. Поліпшення продуктивності системи є ще однією важливою причиною для проведення розрахунків, оскільки вони допомагають визначити, чи система зберігає необхідний рівень продуктивності за умови змін навантаження або умов експлуатації. Для автоматизованої системи виявлення потенційно небезпечних ситуацій, вилочного навантажувача, стійкість є критично важливою для запобігання помилковим спрацьовувань або пропуску реальних небезпек. Крім того, розрахунок стійкості гарантує безпеку, запобігаючи нестабільності або небезпечним коливанням, які можуть призвести до аварій або збитків. Адаптація до змін у навколишньому середовищі або роботі компонентів також є важливою, адже стійкість дозволяє системі зберігати свою функціональність і ефективність в умовах змін. Нарешті, розрахунок стійкості допомагає перевірити, чи проєктоване рішення відповідає технічним вимогам і чи концепція здатна забезпечити очікувану продуктивність і надійність.

Відповідно до обраних у підрозділі 2.2 апаратних модулів, розробимо схему керування для автоматизованої системи виявлення потенційно небезпечних ситуацій для навантажувача. Структурна схема керування (САК) автоматизованої системи виявлення потенційно небезпечних ситуацій представлена на рисунку 2.7.

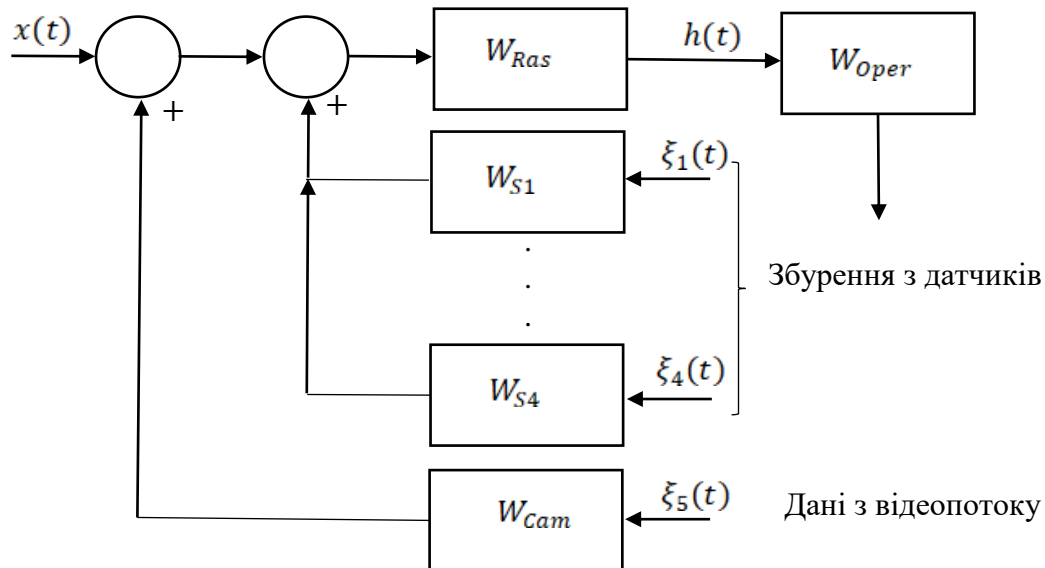


Рисунок 2.7 – САК автоматизованої системи виявлення потенційно небезпечних ситуацій

Опишемо призначення всіх елементів САК (рис. 2.7):

- $x(t)$ – вхідний вплив;
- $h(t)$ – вихідний вплив;
- $\xi_1(t), \dots, \xi_4(t)$ – вплив збурення з ультразвукових датчиків HC-SR04;
- $\xi_5(t)$ – вплив збурення з камери FPV Waveshare RPi Camera (B);
- W_{Cam} – передатна функція камери FPV Waveshare RPi Camera (B);
- W_{S1}, \dots, W_{S4} – передатна функція ультразвукового датчика HC-SR04;
- W_{Ras} – передатна функція мінікомп'ютера Raspberry Pi 4 Model B з 4 ГБ.

Опишемо розроблену САК автоматизованої системи виявлення потенційно небезпечних ситуацій у вигляді передатних функцій першого або другого порядку.

Мінікомп'ютер (W_{Ras}) обробляє дані з сенсорів і виконує алгоритми обробки зображень. Для простоти можна моделювати його як систему з затримкою та підсиленням.

$$W_{Ras}(s) = \frac{K}{Ts+1}, \quad (2.1)$$

де K – коефіцієнт підсилення, залежний від обчислювальної потужності;
 T – затримка системи, яка визначається часом обробки даних.

Ультразвуковий датчик HC-SR04 (W_{S1}, \dots, W_{S4}) вимірює відстань до об'єкта та може бути змодельований як система з фільтрацією сигналу та затримкою:

$$W_{S1, \dots, S4}(s) = \frac{K}{Ts+1}, \quad (2.2)$$

де K – коефіцієнт підсилення, що відповідає чутливості датчика;
 T – затримка вимірювання відстані, визначена часом відгуку датчика.

Камера (W_{Cam}) є сенсором в системі автоматичного керування і її роль полягає у зборі візуальної інформації для подальшого аналізу. Камера сама по собі не має передавальної функції у класичному сенсорно-активному значенні, але вона може бути представлена як частина системи в обробці зображень і виявленні об'єктів. У цьому випадку її характеристика може бути представлена через матрицю перетворення або фільтрацію зображень, але конкретна передатна функція залежить від алгоритмів обробки зображень:

$$W_{Cam}(s) = \frac{K}{Ts+1}, \quad (2.3)$$

де K – коефіцієнт підсилення, залежить від швидкості обробки зображень;
 T – відповідає часу затримки у процесі передачі зображення в систему.

Дисплей (W_{Oper}) відображає інформацію та може мати затримку на оновлення екрану та сенсорну відповідь:

$$W_{Oper}(s) = \frac{K}{Ts+1}, \quad (2.4)$$

де K – коефіцієнт підсилення, що відповідає за чіткість і яскравість зображення;

T – затримка, яка включає час оновлення екрану і час відгуку сенсора.

Системна модель САК може бути описана як каскад елементів з передатними функціями першого порядку, де загальна передатна функція розімкнутої системи буде добутком індивідуальних функцій кожного елемента:

$$W_{total}(s) = W_{Cam} \cdot W_{Ras} \cdot W_{S1, \dots, S4}(s) \cdot W_{Oper}(s). \quad (2.5)$$

Передатна функція замкненої системи буде виглядати наступним чином:

$$W_{close}(s) = \frac{W_{Cam} \cdot W_{Ras} \cdot W_{S1, \dots, S4}(s) \cdot W_{Oper}(s)}{1 + W_{Cam} \cdot W_{Ras} \cdot W_{S1, \dots, S4}(s) \cdot W_{Oper}(s)}. \quad (2.6)$$

Підставимо в (2.5) та (2.6) передатні функції з (2.1)-(2.4) та отримаємо передатну функцію $W_{open}(s)$ розімкнутої та замкнутої $W_{close}(s)$ систем:

$$W_{open}(s) = \frac{K_{Ras} \cdot K_{Cam} \cdot K_{S1, \dots, S4} \cdot K_{Oper}}{(T_{Ras}^{s+1}) \cdot (T_{Cam}^{s+1}) \cdot (T_{S1, \dots, S4}^{s+1}) \cdot (T_{Oper}^{s+1})}; \quad (2.7)$$

$$W_{close}(s) = \frac{\frac{K_{Ras} \cdot K_{Cam} \cdot K_{S1, \dots, S4} \cdot K_{Oper}}{(T_{Ras}^{s+1}) \cdot (T_{Cam}^{s+1}) \cdot (T_{S1, \dots, S4}^{s+1}) \cdot (T_{Oper}^{s+1})}}{1 + \frac{K_{Ras} \cdot K_{Cam} \cdot K_{S1, \dots, S4} \cdot K_{Oper}}{(T_{Ras}^{s+1}) \cdot (T_{Cam}^{s+1}) \cdot (T_{S1, \dots, S4}^{s+1}) \cdot (T_{Oper}^{s+1})}}. \quad (2.8)$$

Виходячи з технічних характеристик вибраних апаратних модулів з таблиці 2.1-2.4, виберемо наступні параметри, які представлені в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Параметри для передатних функцій розроблюваної САК автоматизованої системи виявлення потенційно небезпечних ситуацій

Апаратний модуль	Коефіцієнт посилення, K	Константа часу (T), с
Камера FPV Waveshare RPi Camera (B)	1	0,1
Мінікомп'ютер Raspberry Pi 4 Model B	1	0,05
Ультразвуковий датчик HC-SR04	1	0,02
Дисплей Raspberry Pi 4.0inch LCD	1	0,03

Підставимо значення з таблиці 2.5 у вирази (2.7) та (2.8):

$$W_{open}(s) = \frac{1}{(0,05s+1) \cdot (0,01s+1) \cdot (0,02s+1) \cdot (0,03s+1)}; \quad (2.9)$$

$$W_{close}(s) = \frac{1}{(0,05s+1) \cdot (0,01s+1) \cdot (0,02s+1) \cdot (0,03s+1) + 1}. \quad (2.10)$$

Передатна функція розімкненої системи $W_{open}(s)$ та замкненої системи $W_{close}(s)$ отримані з підставленими значеннями технічних параметрів для кожного з елементів системи. Це дозволяє оцінити динамічні характеристики системи та вплив різних компонентів на її поведінку.

Для перевірки стійкості системи автоматичного управління за допомогою критерієм Гурвіца потрібно виконати кілька кроків. Система вважається стійкою, коли усі визначники Гурвіца, які складені з коефіцієнтів характеристичного рівняння, є додатними (за $a_0 > 0$) [17]. Щоб визначити стійкість, скористаємось передавальною функцією системи у замкнутому стані $W_{close}(s)$. Визначимо характеристичне рівняння замкненої системи:

$$(0,05s + 1) \cdot (0,01s + 1) \cdot (0,02s + 1) \cdot (0,03s + 1) + 1 = 0. \quad (2.11)$$

Розкриємо дужки та спростимо:

$$(0,05s + 1) \cdot (0,01s + 1) = 0,0005s^2 + 0,06s + 1; \quad (2.12)$$

$$(0,02s + 1) \cdot (0,03s + 1) = 0,0006s^2 + 0,05s + 1. \quad (2.13)$$

Потім множимо ці два вирази:

$$(0,0005s^2 + 0,06s + 1) \cdot (0,0006s^2 + 0,05s + 1). \quad (2.14)$$

Розкриваємо дужки:

$$3 \cdot 10^{-7}s^4 + 6,1 \cdot 10^{-5}s^3 + 0,0041s^2 + 0,11s + 1. \quad (2.15)$$

Отже, характеристичне рівняння замкненої системи буде мати наступний вигляд:

$$3 \cdot 10^{-7}s^4 + 6,1 \cdot 10^{-5}s^3 + 0,0041s^2 + 0,11s + 2 = 0. \quad (2.16)$$

Для перевірки стійкості критерієм Гурвіца потрібно побудувати головний визначник Гурвіца:

$$\begin{array}{cccc} a_1 & a_3 & 0 & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & 0 \\ 0 & a_0 & a_2 & a_4 \end{array}, \quad (2.17)$$

де a_0, a_1, a_2, a_3, a_4 – коефіцієнти характеристичного рівняння;

$$a_0 = 3 \cdot 10^{-7}, a_1 = 6,1 \cdot 10^{-5}, a_2 = 0,041, a_3 = 0,11, a_4 = 2. \quad (2.18)$$

Заповнимо головний визначник Гурвіца:

$$\begin{array}{cccc} 6,1 \cdot 10^{-5} & 0,11 & 0 & 0 \\ 3 \cdot 10^{-7} & 0,041 & 2 & 0 \\ 0 & 6,1 \cdot 10^{-5} & 0,11 & 0 \\ 0 & 3 \cdot 10^{-7} & 0,041 & 2 \end{array} \quad (2.19)$$

Всі визначники Гурвіца мають бути позитивними для стійкості системи. Розрахуємо визначники Гурвіца:

$$a_0 = 3 \cdot 10^{-7} > 0; \quad (2.20)$$

$$\Delta_1 = a_1 = 6,1 \cdot 10^{-5} > 0; \quad (2.21)$$

$$\begin{aligned} \Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix} &= a_1 a_2 - a_0 a_3 = 6,1 \cdot 10^{-5} \cdot 0,041 - \\ &- 3 \cdot 10^{-7} \cdot 0,11 = 2,171 \cdot 10^{-7} > 0; \end{aligned} \quad (2.22)$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 \\ a_0 & a_2 & a_4 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix} = a_3 \Delta_2 = 0,11 \cdot 2,171 \cdot 10^{-7} = 2,38 \cdot 10^{-8} > 0; \quad (2.23)$$

$$\Delta_4 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & 0 & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & 0 \\ 0 & a_0 & a_2 & a_4 \end{vmatrix} = a_4 \Delta_3 = 2 \cdot 2,38 \cdot 10^{-8} = 4,76 \cdot 10^{-8} > 0. \quad (2.24)$$

Як можна бачити з (2.20) – (2.24), всі необхідні та достатні умови стійкості виконані, тобто визначники більше 0. Отже, розроблену САК можна вважати стійкою.

2.4 Розробка схеми підключення апаратних модулів

Вибір середовища Fritzing для розробки схеми підключення апаратних модулів автоматизованої системи виявлення потенційно небезпечних ситуацій для навантажувача обґрунтовано кількома важливими аспектами.

По-перше, Fritzing є зручним і зрозумілим інструментом для створення електричних схем, що дозволяє легко візуалізувати та проектувати з'єднання між компонентами, такими як мінікомп'ютер Raspberry Pi 4, ультразвукові датчики HC-SR04, дисплей і камера. Цей інтерфейс надає інтуїтивно зрозумілі інструменти для створення схем, що допомагає швидше та точніше зібрати необхідні з'єднання [18].

По-друге, Fritzing підтримує велику бібліотеку компонентів, що дозволяє швидко знайти та включити в схему всі необхідні елементи системи, зокрема специфічні модулі, які використовуються в проєкті. Середовище також дозволяє створювати кастомізовані компоненти, що забезпечує високу гнучкість у разі необхідності використання нестандартних або специфічних елементів.

По-третє, Fritzing пропонує функцію автоматичної генерації друкованих плат (PCB), що дозволяє перетворити прототипні схеми на готові до виготовлення плати. Це особливо корисно для подальшого виготовлення апаратних частин системи та забезпечення їх надійності.

Нарешті, простий у використанні інтерфейс і можливість спільної роботи з іншими інженерами та розробниками через обмін схемами робить Fritzing гарним вибором для розробки системи виявлення небезпечних ситуацій, де точність і надійність з'єднань є критично важливими для забезпечення ефективної роботи навантажувача.

Розроблена схема з'єднань розроблюваного макета автоматизованої системи виявлення небезпечних ситуацій при роботі з навантажувачем приведена на рисунку 2.8.

Як можна бачити з рисунку 2.8, для підключення ультразвукових датчиків HC-SR04 та модулю дисплея Raspberry Pi 4.0inch LCD 480 × 320 Resistive Touch до Raspberry Pi 4 Model B з 4 ГБ пропонується використовувати шину General-purpose input/output (GPIO). Відповідно до технічних характеристик модуля дисплея Raspberry Pi 4.0inch LCD 480 × 320 Resistive Touch для підключення до Raspberry Pi 4 Model B пропонується використовувати інтерфейс Serial Peripheral Interface (SPI), який на шині GPIO Raspberry Pi 4 Model B приходить на піни GPIO10, GPIO9, GPIO11 та отримують наступні сигнали: SCLK, MOSI, MISO з модуля дисплею.

Для подачі живлення дисплейний модуль Raspberry Pi 4.0inch LCD 480 × 320 Resistive Touch підключається до наступних пінів: 5V power та Ground. Ультразвукові датчики HC-SR04 теж підключаються до Raspberry Pi 4 Model B через шину GPIO, але під час підключення потрібно врахувати рівень TTL сигналу, тобто для HC-SR04 TTL дорівнює 5 В, а для шини GPIO Raspberry Pi 4 Model B TTL дорівнює 3,3 В, внаслідок цього в схемі підключення використовуються резистори на 1 кОм та 2 кОм, що дозволяє знизити рівень сигналу до 3,3 В, що не пошкодить функціонуванню шини GPIO Raspberry Pi 4 Model B.

Камера FPV Waveshare RPi Camera (B) підключається до Raspberry Pi 4 Model B через спеціалізований інтерфейс: Camera Serial Interface (CSI) [16].

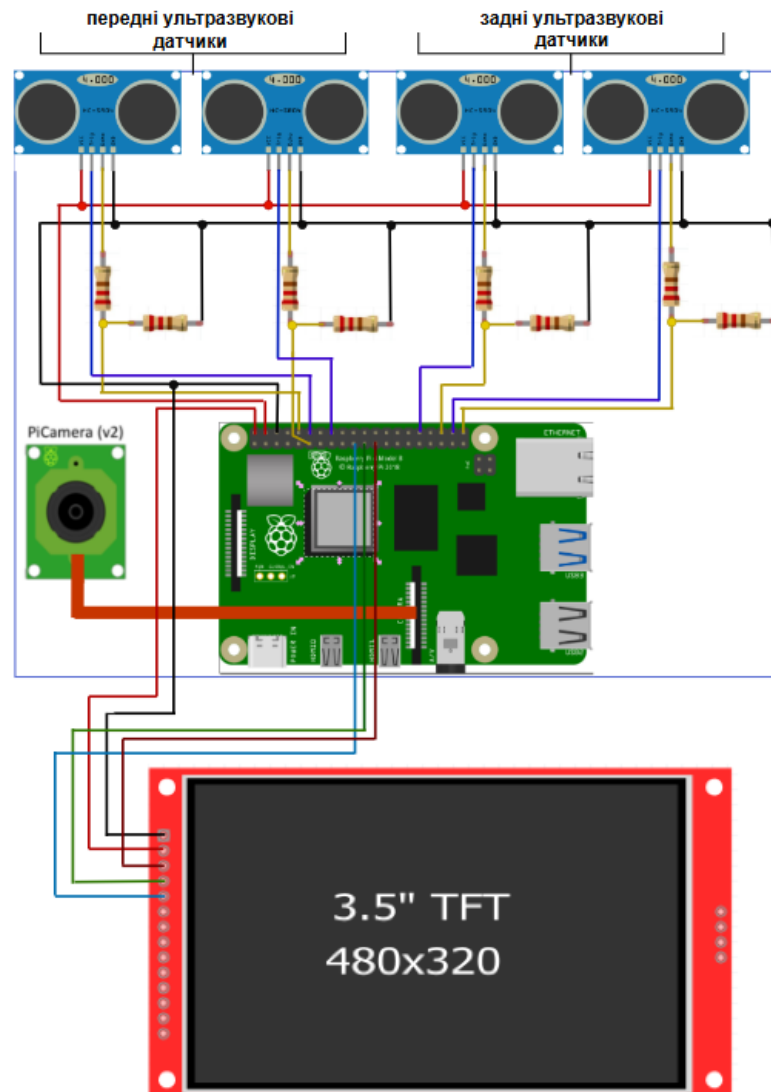


Рисунок 2.8 – Схема з'єднань розроблюваного макета автоматизованої системи виявлення небезпечних ситуацій при роботі з навантажувачем в середовищі Fritzing [18]

2.5 Складання макету системи виявлення потенційно небезпечних ситуацій

Рішення внести зміни в розроблений макет автоматизованої системи виявлення потенційно небезпечних ситуацій для навантажувача, використовуючи плату Arduino Nano для підключення ультразвукових датчиків і передачі даних через USB-порт на комп'ютер, а також отримання

потокowego відео з камери ноутбука, обумовлено кількома важливими факторами.

По-перше, у зв'язку з війною в Україні, існує суттєва проблема з доступністю та вартістю компонентів, таких як Raspberry Pi 4 Model B з 4 ГБ, дисплею Raspberry Pi 4.0 inch LCD 480 × 320 Resistive Touch і камери FPV Waveshare RPi Camera (B) для нього. Це робить рішення значно дорожчим і ускладнює реалізацію проєкту. Arduino Nano є значно дешевшим і більш доступним варіантом, що дозволяє зменшити витрати на апаратні компоненти без значного компромісу в якості функціоналу системи.

По-друге, використання плати Arduino Nano дозволяє швидко реалізувати підключення ультразвукових датчиків і передавати їх дані через USB на комп'ютер, де вже розроблено програмне забезпечення для обробки даних на мові Python. Це рішення забезпечує гнучкість і можливість швидкої адаптації без потреби перепроєктування всього системного макету. Важливо, що програма розроблена на мові Python для ідентифікації об'єктів на базі штучного інтелекту для ноутбука, може бути перенесена на Raspberry Pi 4 Model B з 4 ГБ із мінімальними доопрацюваннями завдяки підтримці мови Python на обох операційних платформах. Це забезпечує плавний перехід і можливість подальшого масштабування системи без значних витрат часу та ресурсів.

Таким чином, прийняте рішення оптимізує витрати та спрощує розробку, одночасно забезпечуючи можливість подальшого удосконалення та масштабування системи за умови переходу на більш потужні апаратні рішення в майбутньому, без втрати функціоналу розроблюваної системи відповідно до вимог ТЗ. Виходячи з цього пропонується наступна модель програмного забезпечення для системи автоматизованого виявлення потенційно небезпечних ситуацій при роботі з навантажувачем на виробничих підприємствах, яка представлена на рисунку 2.9.

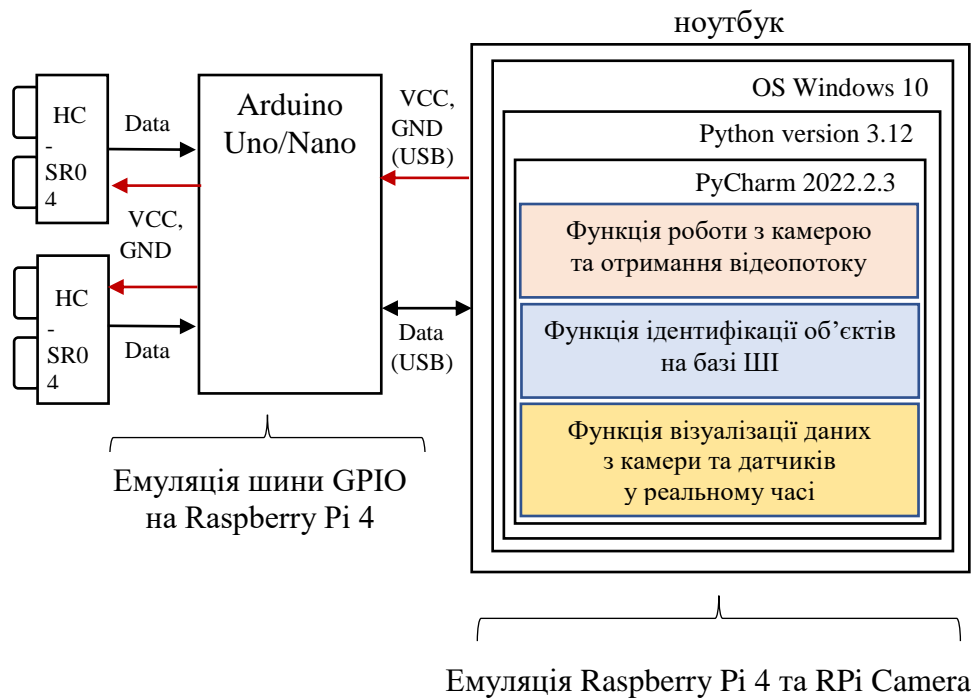


Рисунок 2.9 – Структурна схема макета для розробки програмного забезпечення для системи автоматизованого виявлення потенційно небезпечних ситуацій при роботі з навантажувачем на виробничих підприємствах

Як можна бачити з розробленої структурної схеми макета для тестування програмного забезпечення системи автоматизованого виявлення потенційно небезпечних ситуацій при роботі з навантажувачем, використання плати Arduino Uno або Nano дає можливість підключити датчики HC-SR04 для отримання даних відстані до об'єктів із можливістю проведення розрахунків у режимі реального часу на мікроконтролерному модулі. Отримана інформація через USB-порт ноутбука або персонального комп'ютера передається для подальшої обробки та візуалізації у розроблювану систему автоматизованого виявлення потенційно небезпечних ситуацій при роботі з навантажувачем. Для емуляції роботи з Raspberry Pi 4 Model B пропонується використовувати ноутбук із вбудованою камерою, це дає можливість отримувати потокове відео про навколишнє середовище. Як операційна система (OS) в запропонованому макеті буде використовуватися

OS Windows 10, хоча її архітектура відрізняється від архітектури OS Raspberry, яка побудована на базі платформи сімейства OS Unix та використовується на однопалатному комп'ютері Raspberry Pi 4 Model B. Але інтерпретована об'єктно-орієнтована мова програмування високого рівня Python є кросплатформовою. Кросплатформенність (міжплатформність) – здатність програмного забезпечення працювати з кількома апаратними платформами або операційними системами. Внаслідок цього можна казати, що розроблене програмне забезпечення для системи автоматизованого виявлення потенційно небезпечних ситуацій при роботі з навантажувачем на базі макета (рис. 2.9), буде добре працювати на Raspberry Pi 4 Model B (рис. 2.8) із мінімальним виправленнями програмних функцій. Виходячи з цього, на рисунку 2.10 наведено фотографію розробленого макета для розробки та проведення експериментів програмного забезпечення проєктованої системи автоматизованого виявлення потенційно небезпечних ситуацій при роботі з навантажувачем.

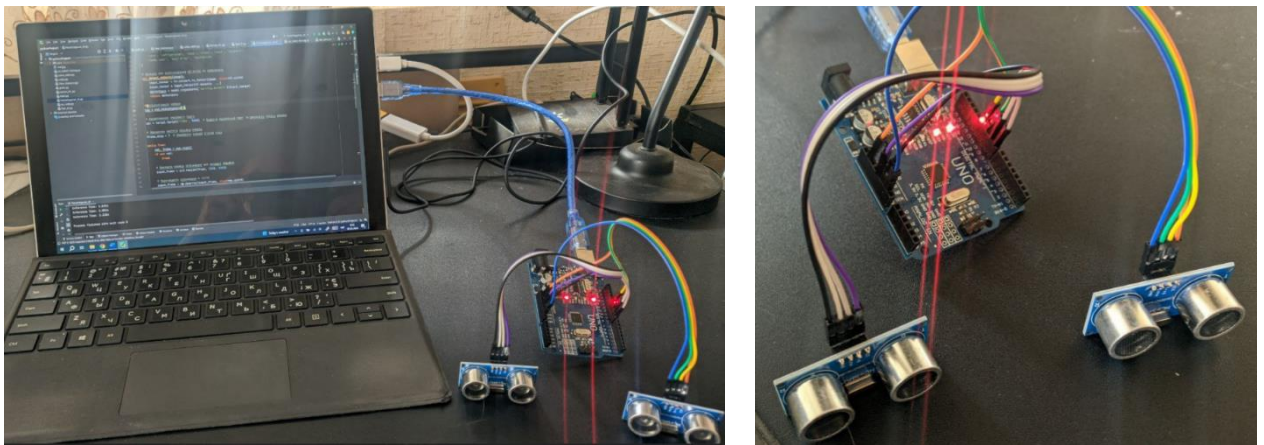


Рисунок 2.10 – Розроблений макет для розробки та проведення експериментів програмного забезпечення проєктованої системи автоматизованого виявлення потенційно небезпечних ситуацій при роботі з навантажувачем

2.6 Висновки до 2 розділу

У ході написання другого розділу кваліфікаційної роботи було розроблено концепт та структуру системи автоматизованого виявлення потенційно небезпечних ситуацій при роботі з навантажувачем на виробничих підприємствах. На основі аналізу вимог і завдань системи сформовано її основні функціональні модулі та визначено принципи їх взаємодії. Наступним етапом був вибір апаратного забезпечення, було обрано оптимальні компоненти для забезпечення стабільної та ефективної роботи системи, враховуючи специфіку виробничих умов. Після, проведено розрахунки стійкості розробленої системи до зовнішніх впливів, що дозволило підтвердити її надійність у реальних умовах експлуатації. Далі було розроблено схему підключення, яка забезпечує коректну інтеграцію всіх компонентів системи. Заключним етапом другого розділу було складання макету системи виявлення потенційно небезпечних ситуацій, що дозволило оцінити функціональність запропонованих рішень на практиці.

У результаті другого розділу було розроблено основу для реалізації системи, що відповідає поставленим вимогам і забезпечує високий рівень безпеки при роботі з навантажувачами.

3 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ ВИЯВЛЕННЯ ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИХ СИТУАЦІЙ

3.1 Обґрунтування методів розробки

Вибір мови програмування Python для розробки системи автоматизованого виявлення потенційно небезпечних ситуацій при роботі з вилковим навантажувачем є обґрунтованим з кількох ключових причин. Python відзначається своєю високою читабельністю та простотою синтаксису, що дозволяє розробникам швидко й ефективно створювати програмні рішення і здійснювати налаштування, особливо для реалізації складних алгоритмів. Мова має потужну екосистему бібліотек і фреймворків, таких як TensorFlow [19], Keras [20] і OpenCV [21], які спрощують реалізацію алгоритмів машинного навчання й обробки зображень. Це особливо корисно для розробки модулів розпізнавання й ідентифікації об'єктів у робочій зоні навантажувача, забезпечуючи точність і швидкість обробки даних .

Python також надає зручні інструменти для візуалізації даних, що дозволяє інтегрувати візуалізацію інформації з датчиків у єдиному інтерфейсі користувача. Бібліотеки, такі як Matplotlib і Plotly, забезпечують можливості для створення графіків і візуальних репрезентацій даних, що полегшує моніторинг і аналіз ситуації у реальному часі. Крім того, Python має гарну підтримку інтеграції з різними апаратними компонентами та системами, що дозволяє легко реалізувати комунікацію між датчиками, камерою та інтерфейсом користувача.

Важливою перевагою є активна спільнота Python, яка забезпечує доступ до великої кількості ресурсів, прикладів коду і рішень для різних технічних викликів. Це дозволяє швидше вирішувати проблеми та знаходити оптимальні рішення. Python також добре підтримується на платформах, таких

як Raspberry Pi, що робить його гарним рішенням для подальшого масштабування й адаптації системи в майбутньому. Таким чином, Python забезпечує ефективність розробки, гнучкість і можливість інтеграції сучасних технологій штучного інтелекту для реалізації комплексної системи автоматизованого виявлення небезпечних ситуацій [22].

3.2 Розробка загального алгоритму роботи системи

Під час розробки загального алгоритму роботи програмного забезпечення для системи автоматизованого виявлення потенційно небезпечних ситуацій при роботі з навантажувачем важливо врахувати кілька ключових аспектів. Оскільки система містить ультразвукові датчики HC-SR04, підключені до плати Arduino Uno або Arduino Nano для вимірювання відстані, та використовує Python для обробки і візуалізації даних із камери, важливо забезпечити безперебійну та точну інтеграцію компонентів.

По-перше, потрібно правильно налаштувати комунікацію між ультразвуковими датчиками і Arduino, включаючи точні алгоритми для вимірювання відстані та передачі даних через USB на комп'ютер. Важливо забезпечити безперебійне та точне зчитування показників відстані, враховуючи можливі перешкоди або помилки в даних. На Python-стороні необхідно реалізувати надійний інтерфейс для прийому даних через USB, обробки інформації та інтеграції її з відеопотоком.

По-друге, програма на Python має бути спроектована так, щоб ефективно обробляти відео з камери, реалізувати алгоритми розпізнавання об'єктів і ідентифікації на базі штучного інтелекту. Це включає в себе налаштування та тренування моделей машинного навчання для точної ідентифікації об'єктів у робочій зоні навантажувача. Важливо також реалізувати механізми для обробки помилок та адаптації до змін в умовах навколишнього середовища.

По-третє, для забезпечення зрозумілого інтерфейсу оператора навантажувача потрібно створити інтуїтивно зрозумілу візуалізацію даних. Це включає виведення інформації на основі даних з датчиків і результатів обробки відео. Важливо, щоб інтерфейс був зручним для використання у реальному часі та дозволяв швидко реагувати на потенційні небезпеки.

Останнім аспектом є забезпечення стабільності та швидкодії системи. Вона має бути здатна обробляти дані у реальному часі без затримок, що може вплинути на ефективність роботи навантажувача. Потрібно провести тестування системи в умовах, максимально наближених до реальних, для виявлення можливих проблем і їх усунення.

Таким чином, у процесі розробки алгоритму необхідно забезпечити точну інтеграцію апаратних компонентів і програмного забезпечення, ефективну обробку даних, інтуїтивно зрозумілий інтерфейс для користувача та високу надійність системи.

Виходячи з перерахованих вище аспектів, які потрібно врахувати під час розробки загального алгоритму роботи системи автоматизованого виявлення потенційно небезпечних ситуацій при роботі з навантажувачем, розроблено загальний алгоритм, який зображено на рисунку 3.1.

Наведемо опис кожного блока розробленого загального алгоритму системи автоматизованого виявлення потенційно небезпечних ситуацій.

Блок «Ініціалізація системи» визначає початкові етапи роботи програмного забезпечення, забезпечуючи підключення та налаштування всіх апаратних компонентів. На цьому етапі програма запускається на Python, відбувається з'єднання з Arduino через USB для обміну даними з ультразвуковими датчиками, а також налаштовується камера для отримання відеопотоку. Це створює основу для подальшої обробки даних і забезпечує функціональність системи.

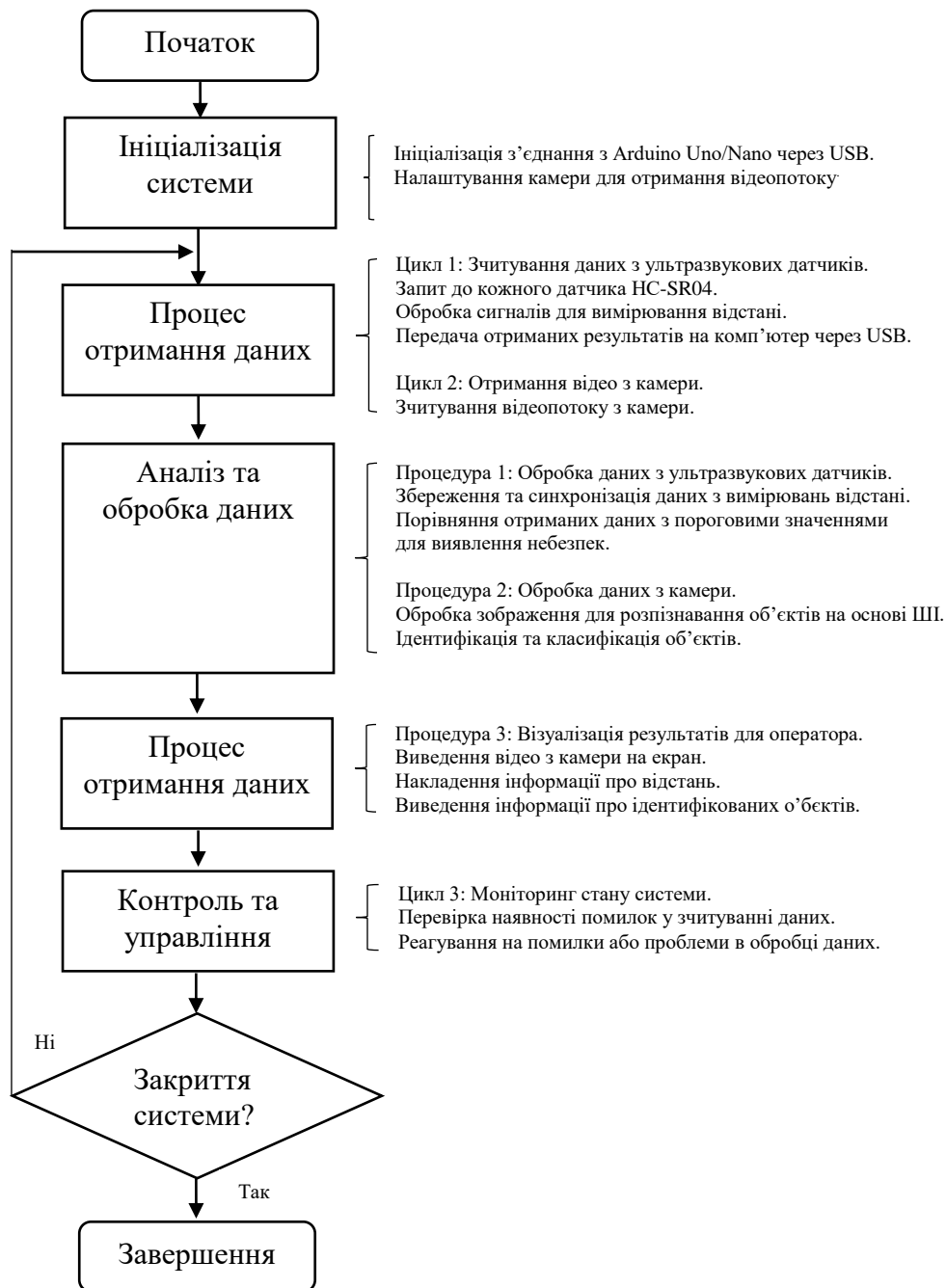


Рисунок 3.1 – Розроблений загальний алгоритм системи автоматизованого виявлення потенційно небезпечних ситуацій при роботі з навантажувачем

Блок «Процес отримання даних» складається з наступних циклів:

– цикл 1, «Отримання даних з ультразвукових датчиків» включає регулярне зчитування даних з ультразвукових датчиків HC-SR04. Датчики здійснюють вимірювання відстані у визначеному напрямку та передають ці дані на комп'ютер через USB. Це забезпечує точність та актуальність

інформації про відстані, що необхідна для подальшого аналізу та виявлення потенційних небезпек;

– цикл 2, «Отримання відео з камери» передбачає зчитування відеопотоку з вбудованої камери. На цьому етапі здійснюється передача отриманих відеокадрів для подальшого використання.

Блок «Аналіз та обробка даних» складається з наступних процедур:

– процедура 1, «Обробка даних з ультразвукових датчиків» включає аналіз і синхронізацію даних, отриманих з ультразвукових датчиків. Дані порівнюються зі встановленими пороговими значеннями для виявлення потенційних небезпек. Цей етап забезпечує своєчасне реагування на можливі загрози, підвищуючи безпеку роботи з навантажувачем;

– процедура 2, «Обробка даних з камери» зосереджена на виконанні алгоритмів розпізнавання об'єктів на основі зображень з камери. Обробка включає визначення та класифікацію об'єктів. Це дозволяє точніше оцінити ситуацію у робочій зоні та забезпечити оперативне реагування на небезпечні ситуації.

Блок «Процес отримання даних» складається з наступних процедур: процедура 3, «Візуалізація результатів для оператора» передбачає виведення на екран оператора оброблених даних, отриманих із попереднього блоку. Це включає відображення відеопотоку, що надходить з камери, накладання інформації про виявлені та класифіковані об'єкти, а також відображення відстаней до об'єктів з навколишнього середовища. Цей етап забезпечує оператору навантажувача чітке уявлення про ситуацію у робочій зоні та дозволяє швидко реагувати на будь-які небезпеки.

Блок «Контроль та управління» складається з наступних циклів: цикл 3, «Моніторинг стану системи» включає перевірку та контроль за функціонуванням системи. Регулярно перевіряються дані на наявність помилок у зчитуванні та обробці, а також реагування на технічні проблеми.

Це забезпечує надійність і стабільність роботи системи, що є критично важливим для її ефективності та безпеки.

Блок «Закриття системи» передбачає завершення роботи програми, вимикання камери та розрив з'єднання з Arduino. На цьому етапі також зберігаються всі дані і лог-файли роботи системи. Це дозволяє завершити сеанс роботи системи правильно та підготуватися до наступного використання, забезпечуючи цілісність і збереження важливих даних.

3.3 Реалізація програми розрахунку відстані на базі Arduino Uno

Вибір середовища Arduino IDE для розробки програми розрахунку відстані до об'єкта у системі автоматизованого виявлення потенційно небезпечних ситуацій при роботі з навантажувачем є обґрунтованим рішенням завдяки його простоті та доступності. Arduino IDE забезпечує зручний та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс для програмування плат Arduino, що є гарним для швидкої розробки та тестування коду, особливо для новачків. Платформи Arduino, такі як Arduino Uno і Arduino Nano, пропонують надійну апаратну підтримку для роботи з ультразвуковими датчиками, що дозволяє здійснювати точні вимірювання відстані без складних налаштувань. Arduino IDE підтримує широкий спектр бібліотек і модулів, що спрощує інтеграцію різних датчиків і периферійних пристроїв, таких як HC-SR04. Крім того, середовище Arduino IDE дозволяє легко здійснювати налаштування серійного порту для передачі даних на зовнішні пристрої, що є критично важливим для інтеграції з іншими системами обробки даних. Стабільність і популярність середовища Arduino IDE забезпечують доступ до численних ресурсів і прикладів, що сприяють швидкій реалізації проєктів і вирішенню можливих проблем. Таким чином, використання Arduino IDE забезпечує ефективне середовище для розробки та тестування програмного забезпечення для системи автоматизованого

виявлення небезпек, дозволяючи досягти високої надійності та точності у розрахунках відстані.

Виходячи з вище перерахованих переваг обраного середовища розробки Arduino IDE, для написання програми обробки даних з ультразвукових датчиків HC-SR04, процес розробки почнеться зі створення алгоритму. Під час розробки алгоритму необхідно врахувати, що отримані дані в ході розрахунку відстані до об'єкту мають відповідно до структурної схеми макета системи автоматизованого виявлення потенційно небезпечних ситуацій при роботі з навантажувачем на виробничих підприємствах (рис. 2.8) передаватися через COM-порт на ноутбук. Виходячи з цього, пропонується наступний алгоритм розрахунку відстані до об'єкту, який представлено на рисунку 3.2.

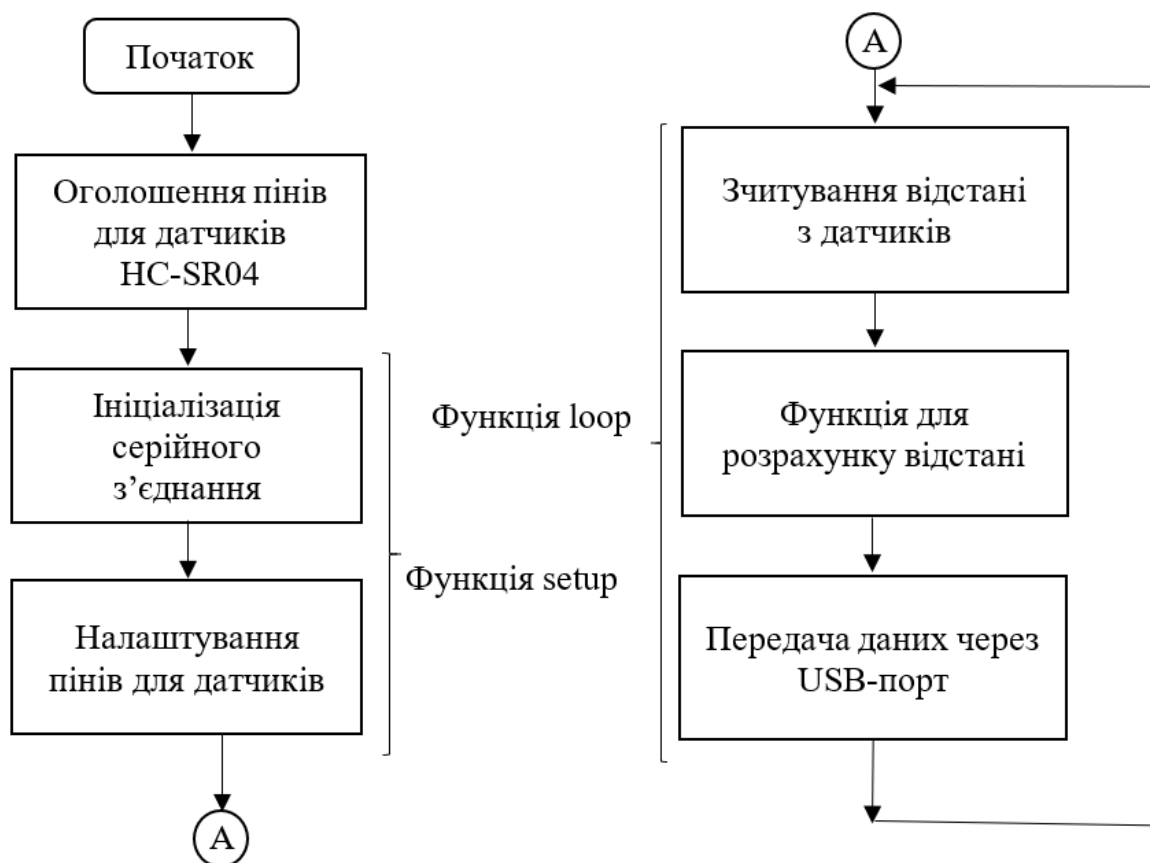


Рисунок 3.2 – Алгоритм роботи скетчу для Arduino Uno з розрахунку відстані до об'єкту на базі ультразвукових датчиків HC-SR04

Розглянемо програмну реалізацію головних функцій у розробленому скетчі розрахунку відстані до об'єкту на базі ультразвукових датчиків HC-SR04 для модуля Arduino Uno.

Функція `getDistance` призначена для вимірювання відстані до об'єкта за допомогою ультразвукового датчика. Вона спочатку скидає сигнал на піні `Trig`, потім відправляє короткий імпульс на цей пін для активації датчика. Після цього функція вимірює тривалість імпульсу, що відбивається від об'єкта та повертається на пін `Echo`, використовуючи функцію `pulseIn`. У результаті функція повертає тривалість імпульсу, яка може бути використана для розрахунку відстані до об'єкта. Приклад реалізації функцій наведено нижче:

```
long getDistance(int trigPin, int echoPin) {  
    // Очистити сигнал на пині Trig  
    digitalWrite(trigPin, LOW);  
    delayMicroseconds(2);  
    // Відправити імпульс на пін Trig  
    digitalWrite(trigPin, HIGH);  
    delayMicroseconds(10);  
    digitalWrite(trigPin, LOW);  
    // Читання тривалості імпульсу з пину Echo  
    long duration = pulseIn(echoPin, HIGH);  
    return duration;  
}
```

Цей фрагмент коду використовується для вимірювання відстані до об'єкта за допомогою першого ультразвукового датчика. Спочатку він викликає функцію `getDistance` для отримання тривалості ультразвукового імпульсу, що відбивається від об'єкта. Потім тривалість імпульсу конвертується у відстань в одиницях см/мс, множачи її на коефіцієнт 0,0344 (швидкість звуку у сантиметрах за мікросекунду) та ділячи на два для обліку

того, що імпульс проходить шлях в обидві сторони – до об'єкта і назад. У результаті розраховується відстань до об'єкта, яка зберігається у змінній `distance1`.

```
// Зчитування відстані з першого датчика HC-SR04
```

```
long duration1 = getDistance(trigPin1, echoPin1);
```

```
float distance1 = duration1 * 0.0344 / 2.0;
```

Цей фрагмент коду виводить вимірне значення відстані до об'єкта на монітор порта для подальшого перегляду. Використовується команда `Serial.print` для передачі текстового повідомлення "Distance 1: " та значення відстані `distance1` в сантиметрах. Далі `Serial.println` додає одиницю виміру "cm" і переносить курсор на новий рядок. Це дозволяє відобразити результати вимірювань у зручному для читання форматі.

```
Serial.print("Distance 1: ");
```

```
Serial.print(distance1);
```

```
Serial.println("cm");
```

Цей фрагмент коду відповідає за форматування та передачу даних від Arduino через USB-порт для подальшої обробки. Використовуючи `Serial.print`, передаються рядки "D1:" і "D2:" разом із значеннями відстаней `distance1` і `distance2`, розділеними комами. Завершальний виклик `Serial.println` додає символ нового рядка після останнього значення. Це дозволяє зовнішній програмі, наприклад, написаній на Python, отримувати дані у чітко визначеному форматі для подальшого аналізу й обробки.

```
Serial.print("D1:");
```

```
Serial.print(distance1);
```

```
Serial.print(",D2:");
```

```
Serial.println(distance2);
```

Повний лістинг скетчу розрахунку відстані до об'єкту на базі ультразвукових датчиків HC-SR04 для системи автоматизованого виявлення

потенційно небезпечних ситуацій при роботі з навантажувачем наведено у Додатку А.

Наступним кроком необхідно провести налаштування середовища Arduino IDE для прошивки мікроконтролерного модуля Arduino Uno. Для цього потрібно встановити наступні налаштування меню Tools, як показано на рисунку 3.3.

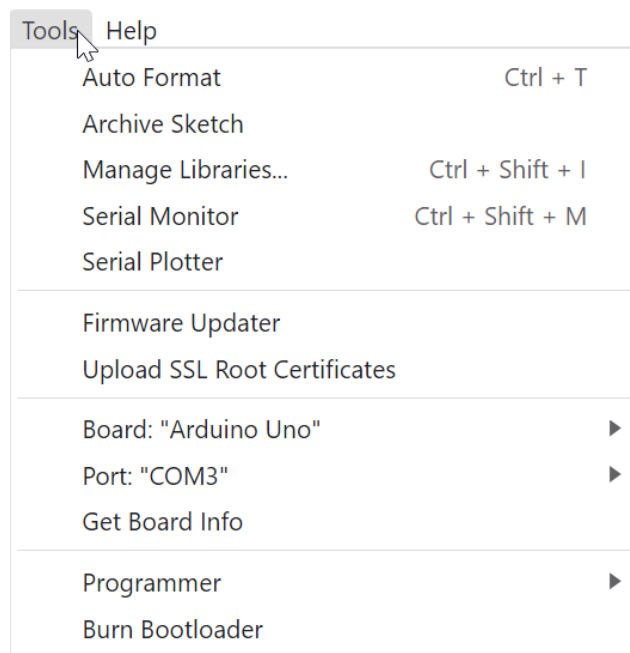


Рисунок 3.3 – Налаштування меню Tools для прошивки мікроконтролерного модуля Arduino Uno через порт «Com3»

Після вдалої компіляції та прошивки мікроконтролерного модуля Arduino Uno в середовищі Arduino IDE “Serial Monitor” можна побачити результат розрахунку відстані до об’єкта, який отримується з двох ультразвукових датчиків HC-SR04, фрагмент роботи “Serial Monitor” наведено на рисунку 3.4, а на рисунку 3.5 наведено фрагмент графіку залежності вимірюваної відстані до об’єкта у часі.

```

Output  Serial Monitor  X
Message (Enter to send message to 'Arduino Uno' on 'COM3')
Distance 1: 51.69 cm
Distance 2: 51.41 cm
D1:51.69,D2:51.41
Distance 1: 49.23 cm
Distance 2: 52.31 cm
D1:49.23,D2:52.31
Distance 1: 67.39 cm
Distance 2: 51.63 cm
D1:67.39,D2:51.63
Distance 1: 564.37 cm
Distance 2: 51.65 cm
D1:564.37,D2:51.65
Distance 1: 564.37 cm
Distance 2: 51.62 cm
D1:564.37,D2:51.62

```

Рисунок 3.4 – Фрагмент роботи програмного коду в середовищі “Serial Monitor” з виведенням результатів розрахунку відстані до об’єкта

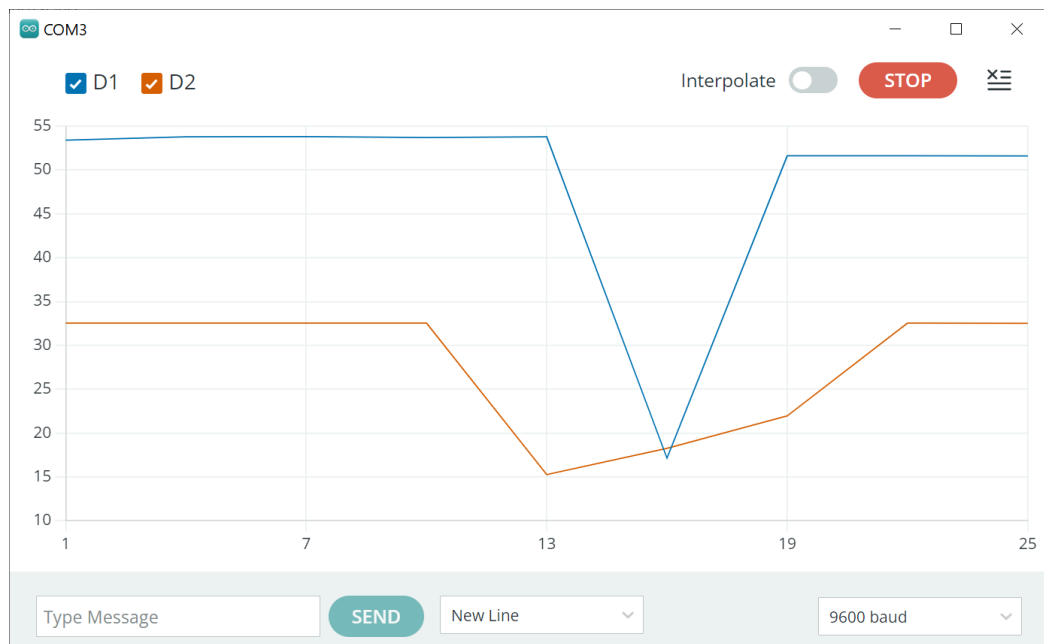


Рисунок 3.5 – Фрагмент графіку залежності вимірюваної відстані до об’єкта у часі

3.4 Реалізація функцій ідентифікації та розпізнавання об’єктів

Нейронна мережа MobileNetV2 була вибрана для реалізації системи автоматизованого виявлення потенційно небезпечних ситуацій при роботі з

навантажувачем завдяки своїй ефективності та швидкодії в умовах обмежених ресурсів. У порівнянні з іншими популярними моделями, такими як YOLO або SSD, MobileNetV2 має менший обсяг обчислень і швидше працює на мобільних пристроях. Вона використовує спеціалізовані мобільні шари, такі як глибокі сепарабельні згортки, які знижують складність обчислень без значної втрати точності. Це робить її гарною для систем, де важлива швидкість обробки та ефективність, зокрема для задач реального часу. Окрім того, MobileNetV2 забезпечує достатню точність розпізнавання об'єктів, що є критичним для правильного визначення потенційних небезпек навколо навантажувача. У порівнянні з більш важкими моделями, такими як ResNet або Inception, MobileNetV2 займає менше пам'яті та швидше адаптується до нових даних, що дозволяє забезпечити швидкий і точний моніторинг у реальному часі з використанням доступних обчислювальних ресурсів.

Виходячи з того, що для програмної реалізації системи автоматизованого виявлення потенційно небезпечних ситуацій при роботі з навантажувачем була обрана мова програмування Python та середовище розробки PyCharm 2022.2.3, то було розроблено алгоритм роботи програми для ідентифікації та розпізнавання об'єктів на базі моделі нейронної мережі MobileNetV2 з візуалізацією даних про відстань до об'єкта, який представлено на рисунку 3.6.

На базі розробленого алгоритму (рис. 3.6) опишемо деякі програмні рішення функцій, які необхідні для вирішення задач ідентифікації та розпізнавання об'єктів на базі моделі нейронної мережі MobileNetV2 з візуалізацією даних про відстань до них у рамках проєктованої системи автоматизованого виявлення потенційно небезпечних ситуацій при роботі з навантажувачем.

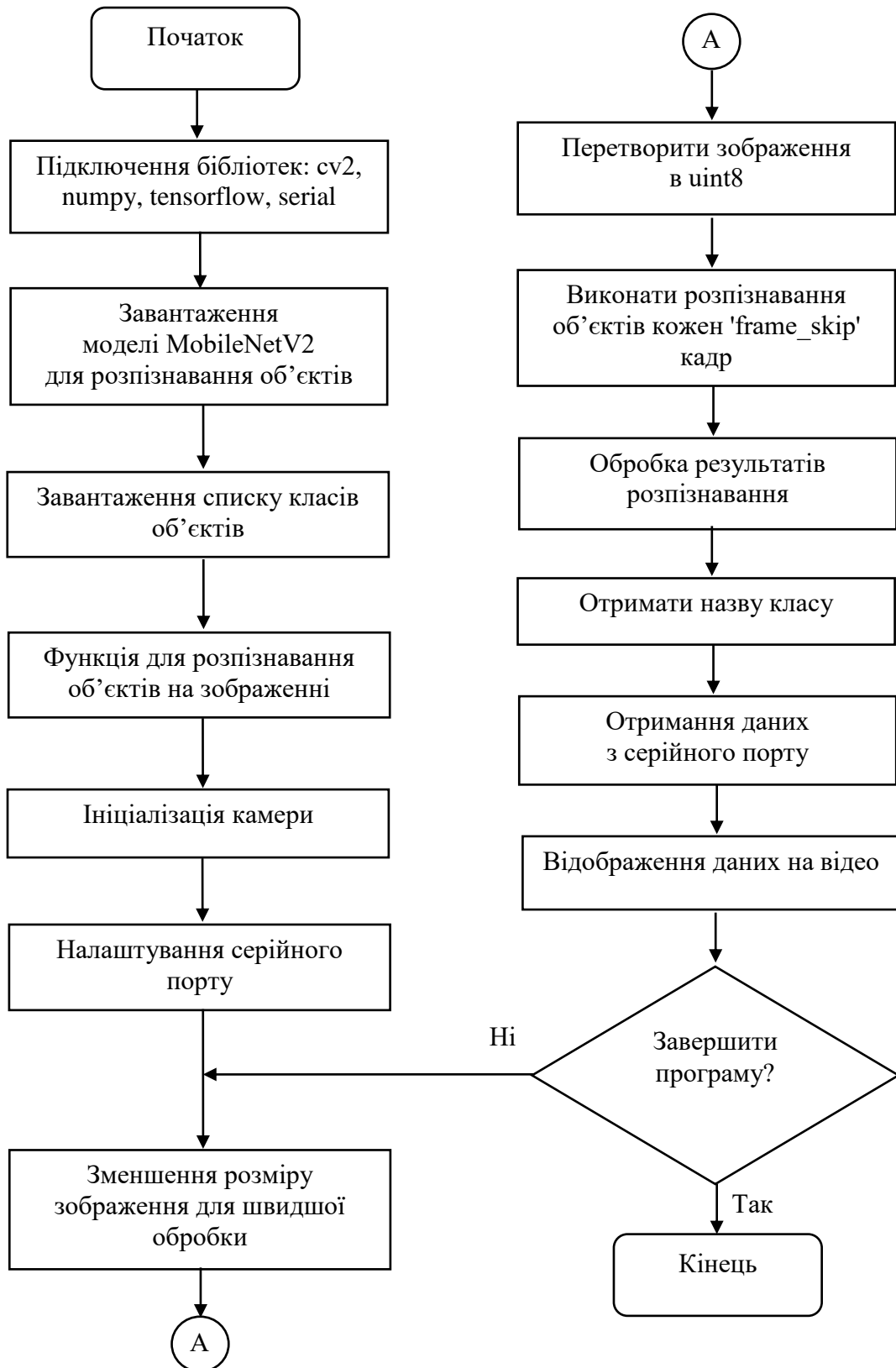


Рисунок 3.6 – Алгоритм роботи програми для ідентифікації та розпізнавання об'єктів на базі моделі нейронної мережі MobileNetV2 з візуалізацією даних про відстань до об'єкта

Завантаження моделі MobileNetV2 для розпізнавання об'єктів `model=tf.saved_model.load(r"C:\Users\Sanych\.cache\kagglehub\models\tensorflow\ssd-mobilenet-v2\tensorFlow2\fpnlite-320x320\1")`.

Цей фрагмент коду необхідний для завантаження попередньо натренованої моделі MobileNetV2, яка використовується для розпізнавання об'єктів на зображеннях. Функція `tf.saved_model.load` з бібліотеки TensorFlow завантажує модель зі вказаного шляху, де зберігається файл моделі.

Завантаження моделі є ключовим етапом, оскільки вона містить всі необхідні ваги та конфігурації, натреновані на великих наборах даних, що дозволяє здійснювати точне розпізнавання об'єктів у зображеннях. Після завантаження модель може бути використана для передбачення класів об'єктів, їхніх розташувань і ймовірностей на нових зображеннях, що є основою для подальшої обробки та аналізу у рамках автоматизованої системи виявлення небезпек.

Список класів об'єктів: `class_names = ['N/A', 'person', 'bicycle', 'car', 'motorcycle', 'airplane', 'bus', 'train', 'truck', 'boat', 'traffic light', 'fire hydrant', 'stop sign', 'parking meter', 'bench', 'bird', 'cat', 'dog', 'horse', 'sheep', 'cow', 'elephant', 'bear', 'zebra', 'giraffe', 'backpack', 'umbrella', 'handbag', 'tie', 'suitcase', 'frisbee', 'skis', 'snowboard', 'sports ball', 'kite', 'baseball bat', 'baseball glove', 'skateboard', 'surfboard', 'tennis racket', 'bottle', 'wine glass', 'cup', 'fork', 'knife', 'spoon', 'bowl', 'cup', 'apple', 'sandwich', 'orange', 'broccoli', 'carrot', 'hot dog', 'pizza', 'donut', 'cake', 'chair', 'couch', 'potted plant', 'bed', 'dining table', 'toilet', 'TV', 'laptop', 'mouse', 'remote', 'keyboard', 'cell phone', 'microwave', 'oven', 'toaster', 'sink', 'refrigerator', 'book', 'clock', 'vase', 'scissors', 'teddy bear', 'hair drier', 'toothbrush']`.

Цей фрагмент коду визначає список класів об'єктів, які модель нейронної мережі може розпізнати на зображеннях. `class_names` є масивом рядків, де кожен рядок представляє назву категорії, яка відповідає певному

класу об'єктів. Наприклад, 'person' для людей, 'car' для автомобілів, 'cat' для котів тощо.

`cap = cv2.VideoCapture(0)` – цей фрагмент коду ініціалізує об'єкт камери для захоплення відео. Функція `cv2.VideoCapture(0)` з бібліотеки OpenCV відкриває доступ до камери за замовчуванням на пристрої. Параметр 0 вказує, що використовується перша доступна камера (зазвичай це вбудована веб-камера). Якщо до пристрою підключено кілька камер або зовнішні пристрої, можна вказати цей параметр на інший номер для вибору конкретної камери.

Наступний фрагмент коду контролює частоту виконання розпізнавання об'єктів на зображеннях, захоплених камерою, та вимірює час, необхідний для обробки кожного кадру:

```
if int(cap.get(cv2.CAP_PROP_POS_FRAMES)) % frame_skip == 0:
    start_time = time.time()
    detections = detect_objects(input_frame)
    end_time = time.time()
    print(f"Inference Time: {end_time - start_time:.3f}s")
```

Перший рядок перевіряє, чи поточний кадр (виміряний за допомогою `cv2.CAP_PROP_POS_FRAMES`) є кратним значенню `frame_skip`. Це дозволяє обробляти лише кожний `frame_skip`-ий кадр, зменшуючи навантаження на систему та підвищуючи ефективність обробки відео. Наприклад, якщо `frame_skip` дорівнює 5, то розпізнавання об'єктів буде виконуватись кожні 5 кадрів, що економить ресурси.

Далі, `start_time` і `end_time` використовуються для вимірювання часу, необхідного для виконання функції `detect_objects(input_frame)`, яка здійснює розпізнавання об'єктів на зображенні. Виведення часу обробки (Inference Time) дозволяє оцінити продуктивність моделі та допомагає у налаштуванні та оптимізації системи розпізнавання, щоб забезпечити швидкість і точність аналізу відеопотоку у реальному часі.

```

if ser.in_waiting > 0:
    serial_data = ser.readline().decode('utf-8').strip()
    if serial_data.startswith('D1:') and 'D2:' in serial_data:
        try:
            distance1 = float(serial_data.split('D1:')[1].split(',')[0])
            distance2 = float(serial_data.split('D2:')[1])

```

Наведений фрагмент коду використовується для обробки даних, що надходять з серійного порту, який підключений до мікроконтролера (наприклад, Arduino). Основні завдання цього фрагмента полягають у перевірці наявності нових даних, їх розпізнаванні, декодуванні та розділенні.

Фрагмент коду, який відповідає за виведення інформації про відстань на відеокадрах, використовує бібліотеку OpenCV для нанесення тексту на зображення, яке в даному випадку є кадром з відео. Таким чином, цей фрагмент коду дозволяє накладати текстову інформацію про відстань на кадри відео, що дозволяє оператору візуально перевіряти ці дані у реальному часі:

```

cv2.putText(frame, f"Distance 1: {distance1:.2f} cm", (10, frame.shape[0] -
40), cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.9, (255, 0, 0), 2)

cv2.putText(frame, f"Distance 2: {distance2:.2f} cm", (10,
frame.shape[0] - 10), cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.9, (255, 0, 0), 2)

```

Інтерфейс оператора (НМІ) системи автоматизованого виявлення потенційно небезпечних ситуацій при роботі з навантажувачем наведено на рисунку 3.7.

Як можна бачити з рисунку 3.7, розроблений інтерфейс оператора системи виводить потокове відео з камери, в якому на базі нейронної мережі MobileNetV2 проводиться розпізнавання та ідентифікація об'єктів. У даному випадку розроблена система ідентифікувала об'єкт «Суп» з ймовірністю 50,44 %, а датчик відстані «Distance 2» показав, що до об'єкта приблизно 30,68 см.

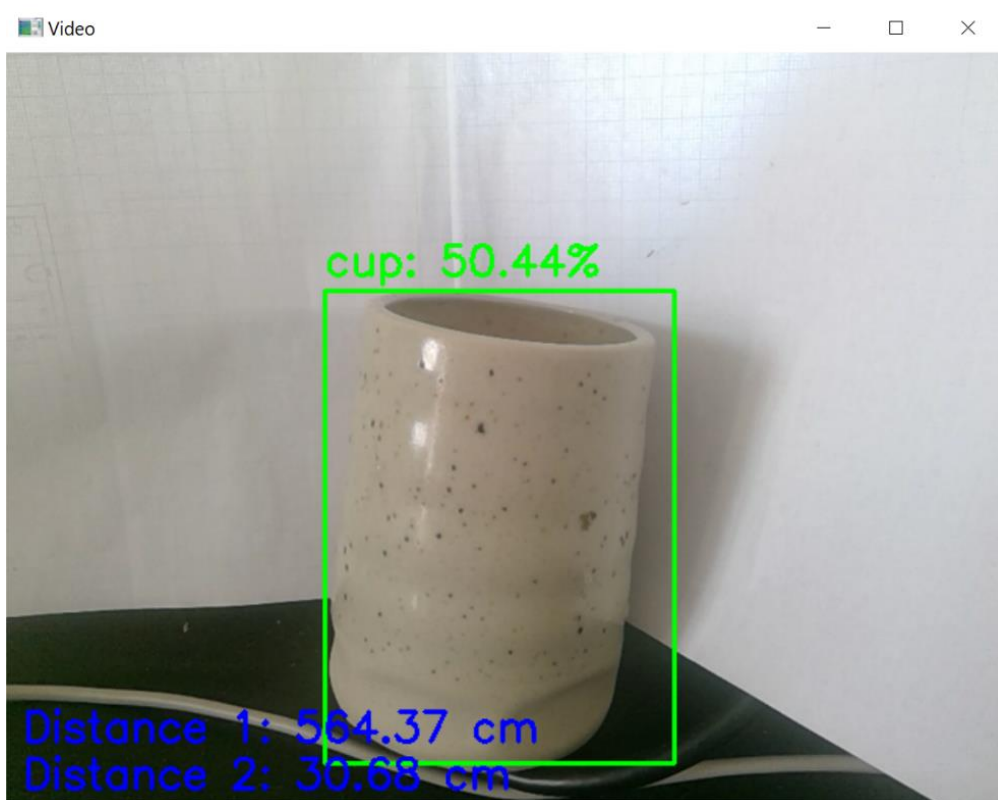


Рисунок 3.7 – Інтерфейс оператора системи автоматизованого виявлення потенційно небезпечних ситуацій при роботі з навантажувачем

Внаслідок цього можна зробити висновки, що розроблена система виявлення потенційно небезпечних ситуацій при роботі з навантажувачем з точки зору інтерфейсу оператора має кілька важливих переваг.

По-перше, інтеграція реального часу дозволяє оператору швидко отримувати критичну інформацію про відстані до об'єктів і можливі небезпеки, що значно знижує ймовірність аварійних ситуацій. По-друге, чітке відображення даних, таких як відстані до об'єктів, на відеокадрі спрощує сприйняття інформації та прийняття рішень. Візуалізація у реальному часі також забезпечує зручний контроль за робочим середовищем, покращуючи ефективність і безпеку роботи. Інтерфейс, який інтегрує дані з ультразвукових датчиків і відео, забезпечує комплексний огляд ситуації, що дозволяє оператору швидше реагувати на можливі загрози. Крім того, автоматизовані системи можуть включати звукові або візуальні оповіщення

про небезпечні ситуації, що підвищує оперативність реагування, але в рамках даних досліджень це питання не вирішувалося.

3.5 Експериментальні дослідження та аналіз отриманих результатів

Проведення експериментів з розробленим макетом системи автоматизованого виявлення потенційно небезпечних ситуацій при роботі з навантажувачем є критично важливим для забезпечення ефективності та точності системи.

Перше експериментальне тестування фокусується на перевірці точності розрахунку відстані до об'єкта з навколишнього середовища. Це дозволяє оцінити, наскільки правильно ультразвукові датчики HC-SR04 вимірюють відстань і чи відповідають ці вимірювання фактичним умовам навколишнього середовища. Точність розрахунків є важливою для запобігання помилкових тривог і забезпечення безпеки під час маневрування навантажувачем.

Друге експериментальне тестування спрямоване на оцінку швидкості ідентифікації та розпізнавання об'єктів на базі моделі нейронної мережі MobileNetV2. Це тестування дозволяє виміряти ефективність і швидкість роботи моделі у реальному часі, а також її здатність точно розпізнавати та класифікувати різні об'єкти у робочій зоні. Швидкість і точність розпізнавання критично важливі для забезпечення своєчасного реагування на небезпеки та підвищення загальної безпеки операцій з навантажувачем.

Отримані результати проведених експериментів дають можливість провести як оптимізацію макета, так і покращити програмне забезпечення системи, що розробляється. Висока точність розрахунків відстані та швидкість ідентифікації об'єктів допомагають покращити точність і надійність системи, що в свою чергу знижує ймовірність помилок і підвищує ефективність роботи навантажувача. Збір і аналіз результатів експериментів

дозволяє виявити потенційні проблеми та вдосконалити систему для досягнення оптимальних результатів у реальних умовах.

Результати, отримані під час проведення першого експерименту з перевірки точності розрахунку відстані до розпізнаного об'єкта наведені в таблиці 3.1. Варто зазначити, що точність розрахунку відстані перевірялась за допомогою експериментальних даних у порівнянні з еталонними вимірюваннями на базі лінійки.

На основі даних, зібраних під час проведення експерименту (табл. 3.1) побудуємо графік для порівняння експериментальних даних щодо відстані до об'єкта, отриманих за допомогою ультразвукових датчиків HC-SR04, з еталонними вимірюваннями, який представлено на рисунку 3.8.

Таблиця 3.1 – Результати, отримані під час першого експерименту

Вимірювання	Еталонна відстань, см	Виміряна відстань, см	Похибка, см
1	5	5,1	0,1
2	10	9,8	-0,2
3	20	20,2	0,2
4	30	29,9	-0,1
5	50	50,1	0,1
6	75	74,8	-0,2
7	100	99,7	-0,3
8	150	150,2	0,2
9	200	199,5	-0,5
10	250	250,3	0,3
11	300	299,8	-0,2
12	350	350,1	0,1
13	400	399,9	-0,1

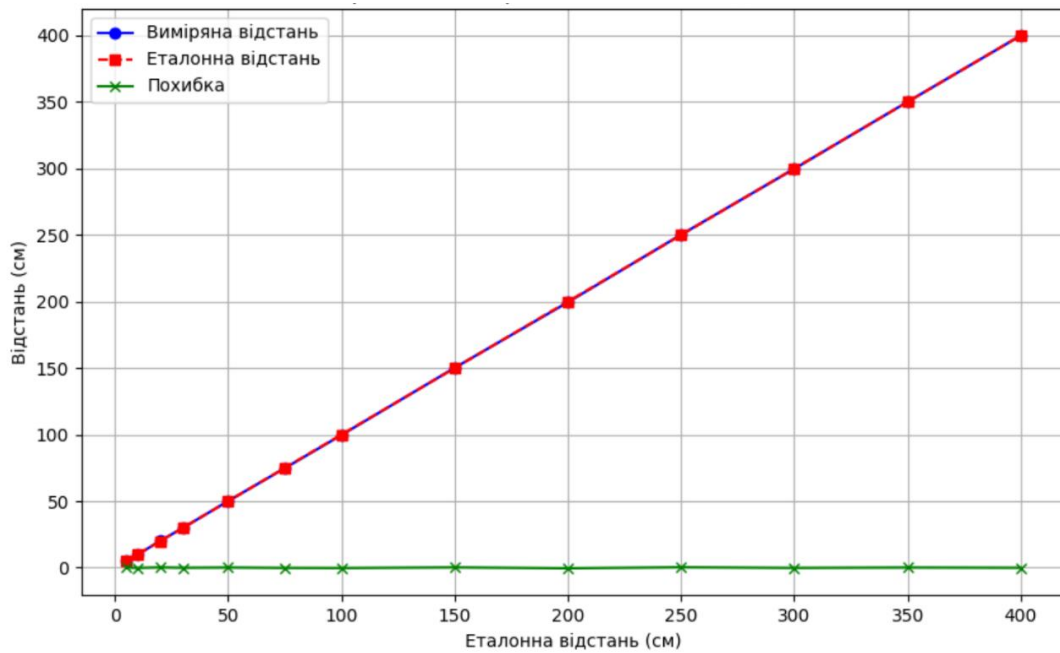


Рисунок 3.8 – Порівняння експериментальних даних щодо відстані до об'єкта, отриманих за допомогою ультразвукових датчиків HC-SR04, з еталонними вимірюваннями за допомогою лінійки

У результаті проведених експериментів із перевірки точності розрахунку відстані до об'єкта за допомогою ультразвукових датчиків HC-SR04 у порівнянні з еталонними вимірюваннями на базі лінійки, були отримані такі висновки: загалом, ультразвукові датчики демонструють хорошу точність вимірювань, але з невеликими похибками, які варіюються у межах від 0,1 см до 1,0 см залежно від відстані. Похибки мають тенденцію до незначного збільшення на більших відстанях, що може бути спричинено різними факторами, такими як відбиття сигналу від нерегулярних поверхонь або обмеженням точності самого датчика. В середньому, виміряні відстані знаходяться у межах, близьких до еталонних значень, що підтверджує адекватність роботи ультразвукових датчиків для задач, де точність у межах 1 см є достатньою. Це свідчить про те, що дані датчики можуть бути надійно використані для розробки систем автоматизованого виявлення потенційно небезпечних ситуацій при роботі з навантажувачем, проте слід враховувати можливі незначні відхилення під час реалізації таких систем.

Метою другого експерименту є оцінка швидкості ідентифікації та розпізнавання об'єктів на базі моделі нейронної мережі MobileNetV2. Вона включає різні показники, такі як час обробки кадру, точність розпізнавання та швидкість розпізнавання, а отримані результати наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати експерименту з оцінки швидкості ідентифікації та розпізнавання об'єктів на базі моделі нейронної мережі MobileNetV2

Тестовий сценарій	Кількість об'єктів	Середній час обробки кадру, с	Точність розпізнавання, %	Швидкість розпізнавання, об'єктів/с
Сцена з одного об'єкта	1	0,12	95	8,33
Сцена з трьома об'єктами	3	0,18	93	5,56
Сцена з п'ятьма об'єктами	5	0,25	90	4,00
Сцена з десятьма об'єктами	10	0,35	88	2,86
Сцена з двадцятьма об'єктами	20	0,50	85	2,00
Сцена з п'ятдесятьма об'єктами	50	0,80	80	1,25

Для зручності аналіз отриманих даних у ході проведення другого експерименту був представлений у вигляді графіку порівняння швидкості ідентифікації та розпізнавання об'єктів, який наведено на рисунку 3.9.

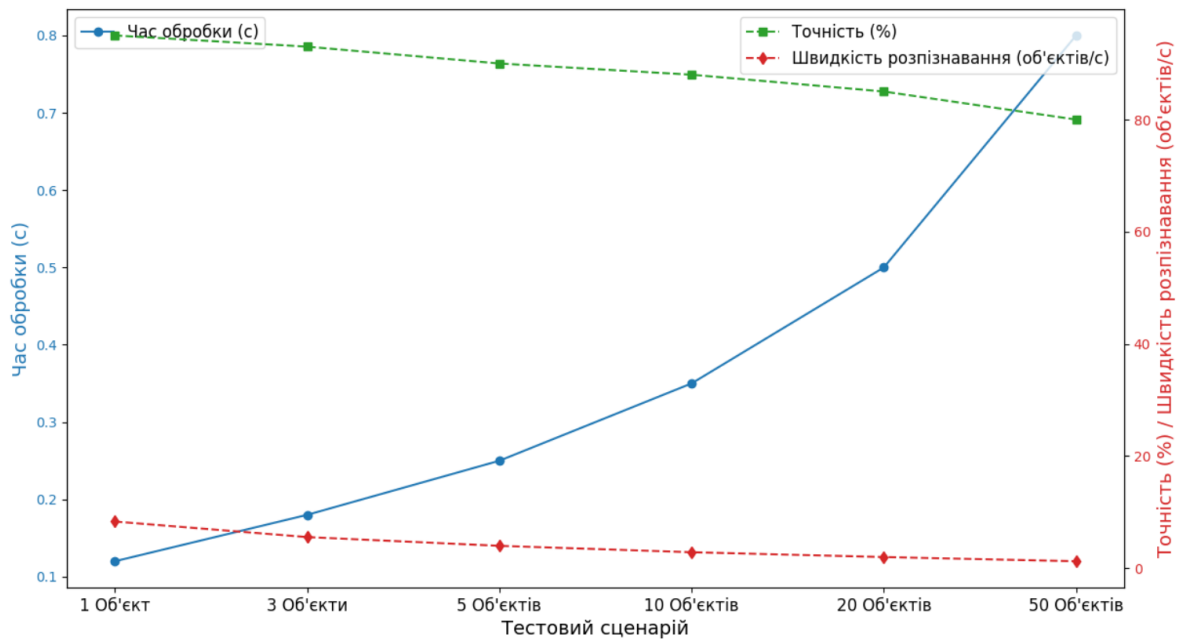


Рисунок 3.9 – Графік порівняння швидкості ідентифікації та розпізнавання об'єктів за підсумками другого експерименту

Отримані результати за підсумками проведення другого експерименту показали, що з кількістю об'єктів на сцені зростає середній час обробки кадру, що свідчить про збільшення навантаження на модель. Точність розпізнавання дещо знижується за рахунок збільшення кількості об'єктів, але зберігається у межах прийняттого діапазону. Швидкість розпізнавання також зменшується за умови зростання кількості об'єктів, що може бути пов'язано із необхідністю обробки більшої кількості інформації. Ці дані є важливими для оптимізації системи, щоб забезпечити ефективність і точність розпізнавання об'єктів у реальному часі, що є критичним для своєчасного реагування на потенційні небезпеки під час роботи з навантажувачем.

3.6 Охорона праці

Експлуатація вилкових навантажувачів на виробничих підприємствах є потенційно небезпечною через ризики перевантаження, зіткнення з іншими транспортними засобами чи працівниками, а також обмежену видимість для

оператора. Для зниження цих ризиків важливо впроваджувати комплекс заходів безпеки. Насамперед необхідно розробити та регулярно оновлювати інструкції з експлуатації навантажувачів, а також проводити навчання персоналу.

Додатково слід обладнати виробничі зони попереджувальними знаками, маркуванням та захисними бар'єрами, що зменшують ризик випадкових зіткнень. Технічне обслуговування навантажувачів має виконуватись регулярно, а всі несправності – усуватись негайно. Працівники зобов'язані використовувати засоби індивідуального захисту, зокрема каски та світловідбивні жилети. Усе це створює основу для безпечної роботи, але додаткові технологічні рішення можуть значно підвищити рівень безпеки. Для оцінки ефективності системи проведемо розрахунок коефіцієнта зниження ризику (КЗР). КЗР визначається за формулою:

$$\text{КЗР} = (R_{\text{до}} - R_{\text{після}}) / R_{\text{до}} \cdot 100 \%, \quad (3.1)$$

де $R_{\text{до}}$ – ризик до впровадження системи, умовно приймається як 1 (100 %);

$R_{\text{після}}$ – ризик після впровадження системи.

Після аналізу статистичних даних і результатів експериментальних досліджень виявлено, що впровадження системи знижує ймовірність аварійних ситуацій на 70 %. Таким чином, $R_{\text{після}} = 0,3$. Підставимо значення:

$$\text{КЗР} = (1 - 0,3) / 1 \cdot 100 \% = 70 \%.$$

Отже, впровадження системи дозволяє зменшити ризик виникнення небезпечних ситуацій на 70 %, що є вагомим результатом у підвищенні безпеки на підприємстві. Крім того, система сприяє покращенню організації

робочих процесів, мінімізуючи ризик травм і матеріальних втрат. Це робить її невід’ємним елементом сучасних стандартів безпеки на виробництві [23].

Ще одним із ключових аспектів безпеки є дотримання безпечної дистанції до об’єктів у робочій зоні навантажувача. Безпечна зона визначається за формулою:

$$L = v \cdot t + S_{\text{гальм}}, \quad (3.2)$$

де L – мінімальна безпечна відстань, м;

v – швидкість руху навантажувача, м/с;

t – час реакції оператора, с;

$S_{\text{гальм}}$ — шлях гальмування, м.

Припустимо, що $v = 2$ м/с, $t = 0,5$ с, $S_{\text{гальм}} = v^2/2a$, де $a = 3$ м/с². Тоді $S_{\text{гальм}}$ можна розрахувати:

$$S_{\text{гальм}} = 2^2 / 2 \cdot 3 = 0,67 \text{ м.}$$

Далі проведемо розрахунок L :

$$L = 2 \cdot 0,5 + 0,67 = 1,67 \text{ м.}$$

Таким чином, мінімальна безпечна зона для роботи навантажувача становить 1,67 м. Система виявлення небезпечних ситуацій автоматично сповіщає оператора, якщо відстань до об’єкта стає меншою за цей показник, що дозволяє уникнути зіткнення [23].

3.7 Висновки до 3 розділу

У ході написання третього розділу кваліфікаційної роботи було обґрунтовано методи, що використовуються для розробки системи автоматизованого виявлення потенційно небезпечних ситуацій при роботі з навантажувачем. Проведений аналіз дозволив вибрати підходи, які забезпечують точність, надійність та оперативність функціонування системи.

Наступним етапом була розробка загального алгоритму роботи системи, який визначає послідовність виконання функцій і взаємодію між основними компонентами. Це дозволило сформулювати логіку роботи системи, враховуючи вимоги до її функціональності. Для реалізації програми розрахунку відстані було використано платформу Arduino Uno. Розроблено відповідне програмне забезпечення, яке забезпечує точний контроль відстані до об'єктів, використовуючи сенсори. Крім того, реалізовано функції ідентифікації та розпізнавання об'єктів, що є ключовими для своєчасного виявлення потенційно небезпечних ситуацій.

Останнім етапом було проведення експериментальних досліджень роботи системи, у ході яких було проведено тестування її функціональних можливостей. Проведений аналіз отриманих результатів дозволив оцінити ефективність розробленої системи та визначити напрями для її подальшого вдосконалення. У результаті написання третього розділу було підтверджено працездатність запропонованих рішень, а також досягнуто основних цілей, реалізовано програмне та апаратне забезпечення системи.

ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційної роботи було досягнуто поставленої мети – підвищення ефективності керування вилковим навантажувачем на виробничому підприємстві за рахунок розробки та впровадження технологій Інтернету речей.

У першому розділі було проведено детальний аналіз можливих небезпечних ситуацій у процесі роботи з навантажувачами на виробничих підприємствах. Визначено основні фактори ризику, що впливають на безпеку експлуатації навантажувачів, зокрема недостатній огляд, неправильне завантаження та взаємодія з іншими транспортними засобами або працівниками. Проведений аналіз методів виявлення потенційно небезпечних ситуацій дозволив ідентифікувати найбільш перспективні підходи до вирішення цієї проблеми. Також, було досліджено існуючі системи автоматизованого виявлення небезпечних ситуацій, що дозволило сформулювати основні вимоги до розроблюваної системи.

У другому розділі було розроблено концепт, структуру та апаратну частину системи автоматизованого виявлення потенційно небезпечних ситуацій. Виконано розрахунки розробленої системи на стійкість, розроблено схему підключення та складено макет системи, що забезпечує її працездатність у реальних виробничих умовах. У третьому розділі було обґрунтовано методи розробки, розроблено алгоритм роботи системи та реалізовано її функції на базі апаратної платформи Arduino Uno. Проведено експериментальні дослідження, які підтвердили ефективність та надійність розробленої системи в умовах імітації реальних виробничих ситуацій.

У ході першого експерименту було виявлено, що ультразвукові датчики демонструють гарну точність вимірювань, але з невеликими похибками, які варіюються у межах від 0,1 см до 1,0 см залежно від відстані.

У середньому, виміряні відстані знаходяться у межах, близьких до еталонних значень, що підтверджує адекватність роботи ультразвукових датчиків для задач, де точність у межах 1 см є достатньою. У ході другого експерименту результати показали, що з кількістю об'єктів на сцені зростає середній час обробки кадру, що свідчить про збільшення навантаження на модель. Точність розпізнавання дещо знижується за рахунок збільшення кількості об'єктів, але зберігається у межах прийнятного діапазону. Швидкість розпізнавання також зменшується за умови зростання кількості об'єктів, що може бути пов'язано із необхідністю обробки більшої кількості інформації.

Науковою новизною отриманих результатів є вдосконалення виявлення небезпечних ситуацій із використанням систем комп'ютерного зору та нейронних мереж під час роботи з навантажувачем. Результати дослідження показали, що впровадження запропонованої системи здатне суттєво знизити ризики виникнення небезпечних ситуацій під час експлуатації вилкових навантажувачів. Це досягається завдяки використанню сучасних технологій Інтернету речей, що забезпечують своєчасне виявлення загроз і оперативне реагування на них. Отримані результати роботи можна віднести до Цілі сталого розвитку 9 «Промисловість, інновації та інфраструктура», а саме 9.4 «Сприяти прискореному розвитку високо- та середньовисокотехнологічних секторів переробної промисловості, які формуються на основі використання ланцюгів «освіта – наука – виробництво» та кластерного підходу за напрямками: розвиток інноваційної екосистеми; розвиток інформаційно-телекомунікаційних технологій (ІКТ); застосування ІКТ в АПК, енергетиці, транспорті та промисловості; високотехнологічне машинобудування; створення нових матеріалів; розвиток фармацевтичної та біоінженерної галузей» [24].

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ 3008-15. Документація. Звіти у сфері науки та техніки. структура та правила оформлення. – Введ. 2015-06-22. – К. Держстандарт України, 2017. – 29 с.

2. Невлюдов, І.Ш. Дипломне проектування для студентів усіх форм навчання спеціальностей 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» [Текст]: навч. посіб. / І. Ш. Невлюдов, А. О. Андрусевич, О. В. Токарева, Г. В. Пономарьова. – Київ-58, пр. Космонавта Комарова, 1, 2016. – 320 с.

3. Методичні вказівки з підготовки та захисту кваліфікаційної роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 174 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, освітньо-професійних програм: «Автоматизоване управління технологічними процесами»; «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва»; «Комп'ютеризовані та робототехнічні системи» / Упоряд.: І. Ш. Невлюдов, Р. В. Артюх, В. В. Безкоровайний, Н. П. Демська, В. В. Євсєєв, О. І. Филипченко, О. М. Цимбал. Харків: ХНУРЕ, 2021. – 55 с.

4. Зінченко Д. О. Автоматизований моніторинг для виявлення потенційно небезпечних ситуацій під час роботи з навантажувачами на виробничих підприємствах / Д. О. Зінченко ; наук. керівник к. т. н., доц. І. В. Жарікова // *Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті : матеріали 28-го Міжнар. молодіж. форуму, 16–18 квіт. 2024 р. – Харків : ХНУРЕ, 2024. – Т. 2. – С. 22–23. DOI: <https://doi.org/10.30837/IYF.ASCTREDB.2024.022>.*

5. Nevliudov I., Botsman I., Chala O., Khrustalev K. Automated System Development for the Printed Circuit Boards Optical Inspection Using Machine Learning Methods // *Information systems and technologies (IST-2021):*

proceedings of the 10-th International Scientific and Technical Conference, September 13-19. Odesa, 2021. P. 234-238.

6. Onyshchuk O. Efficiency indices enhancement of available vehicles use in cargo transportation on commuter routes: qualification work of the master on a specialty 275 – «Transport technologies (on motor transport)» / O. Onyshchuk. – Ternopil : TNTU, 2020. – 51 p.

7. Саєнко, Н. (2024). Використання штучного інтелекту та аналітики даних для передбачення аварій на виробництві та запобігання нещасним випадкам. *věda a perspektivy*, (5 (36)).

8. Torres-Torriti M, Nazate-Burgos P, Paredes-Lizama F, Guevara J, Auat Cheein F. Passive Landmark Geometry Optimization and Evaluation for Reliable Autonomous Navigation in Mining Tunnels Using 2D Lidars. *Sensors*. 2022; 22(8):3038. <https://doi.org/10.3390/s22083038>.

9. Konstantinou, D., Nicopoulos, C., Lee, J., Sirakoulis, G. C., & Dimitrakopoulos, G. (2020, October). SmartFork: Partitioned multicast allocation and switching in network-on-chip routers. In 2020 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS) (pp. 1-5). IEEE.

10. Machineryzone: Спецтехніка вживаних і нових // LBC France, 2024. URL:<https://www.machineryzone.com.ua/%D0%B2%D0%B6%D0%B8%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B9/%D0%B4%D0%B8%D0%B7%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B8%D0%B9%D0%B2%D0%B8%D0%BB%D0%BE%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%B9%D0%BD%D0%B0%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D1%82%D0%B0%D0%B6%D1%83%D0%B2%D0%B0%D1%87/1/3781/toyota/sas-25.html> (дата звернення: 11.10.2024).

11. Xin Zou, Steve O'Hern, Barrett Ens. On-road virtual reality autonomous vehicle (VRAV) simulator: An empirical study on user experience, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Volume 126, 2021, 103090, ISSN 0968-090X, <https://doi.org/10.1016/j.trc.2021.103090>.

12. Bryn H. Tracy, Fred C. Rohde, and Gabriela M. Hogue "'Ghost Sightings" Made by Ichthyologists Past: Longear Sunfish, *Lepomis megalotis*, in North Carolina," *Southeastern Naturalist* 19(2), 297-307, (6 May 2020). <https://doi.org/10.1656/058.019.0209>.

13. Одноплатний комп'ютер Raspberry Pi 4 Model B 4GB (RPI4-MODBP-4GB) // Elmir, 2024. URL: https://elmir.ua/ua/minikompyutery/odnoplattyu_kompyuter_raspberry_pi_4_model_b_4gb_rpi4-modbp-4gb.html?gclid=CjwKCAiA9vS6BhA9EiwAJpnXw6cgoOEXEX2ZWaicBGB2nhevavdhEnU0ZqmfvNrvqfODgjHhFJL9zShoCMEgQAvD_BwE (дата звернення: 18.11.2024).

14. Ультразвуковий датчик HC-SR04 // Електроніка, 2024. URL: https://electronica.in.ua/p1645011101ultrazvukovojdatchiksr04.html?source=merchant_center&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=20496384634&utm_term=&utm_content=&utm_position=&utm_matchtype=&utm_placement=&utm_network=x&gad_source=1&gclid=CjwKCAiA9vS6BhA9EiwAJpnXwwCAVYAYa8ZDZ66YI4DCNdYBZfR1GG7_rzCRRdIuksVMSf3DnnWxOhoCajsQAvD_BwE (дата звернення: 18.11.2024).

15. Екран Waveshare 4" 800x480 LCD IPS Resistance TS HDMI для Raspberri Pi3/4/5 (RA333) // Elmir, 2024. URL: https://elmir.ua/ua/aksessuary_dlya_minikompyuterov/screenwaveshare4800x480lcdipsresistancetshdmiforraspberripi345ra333.html?gclid=CjwKCAiA9vS6BhA9EiwAJpnXwwzyJxHCWOFroHXQns19HRiOqXF8WA83a5dJ9Llea4R4g4XaMU1BoCXNsQAvD_BwE (дата звернення: 18.11.2024).

16. Камера FPV Waveshare RPi Camera (B) (8193) // ITbox, 2024. URL: https://www.itbox.ua/ua/product/Kamera_Waveshare_RPi_Camera_B_8193-p1021260/?utm_content=new_buyers&gad_source=1&gclid=CjwKCAiA9vS6BhA9EiwAJpnXwxPH78FccGizcNskatsmSUaau4WaczsjDSRfMwpuGtQWft5n5x3CDBoCa9kQAvD_BwE (дата звернення: 18.11.2024).

17. Комплекс навчально-методичного забезпечення навчальної дисципліни "Теорія автоматичного управління" підготовки бакалаврів спеціальності 151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології [Електронний ресурс] : освітньої програми "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" / ХНУРЕ ; розроб. О. В. Токарева. – Харків, 2022. – 298 с.

18. Fritzing: програмне забезпечення для виробників та електроніки // Hardwarelibre, 2024. URL: <https://uk.hwlibre.com/fritzing/> (дата звернення: 25.11.2024).

19. Комплексна платформа для машинного навчання // TensorFlow, 2024. URL: <https://www.tensorflow.org/?hl=ua> (дата звернення: 27.11.2024).

20. Simple. Flexible. Powerful. // Keras, 2024. URL: <https://keras.io/> (дата звернення: 27.11.2024).

21. OpenCV is the world's biggest computer vision library // OpenCV, 2024. URL: <https://opencv.org/> (дата звернення: 27.11.2024).

22. Python // Python, 2024. URL: <https://www.python.org/> (дата звернення: 28.11.2024).

23. Навчальний посібник "Безпека життєдіяльності" / Т. Є. Стиценко, Г. В. Пронюк, Н. М. Сердюк, І. І. Хондак ; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – Харків : ХНУРЕ, 2018. – 336 с. – ISBN 978-966-659-246-3. – 12.20

24. Ціль 9. Промисловість, інновації та інфраструктура // Diia business, 2024. URL: https://business.diia.gov.ua/entrepreneur-handbook/item/cil_9_promislovist_innovaciyi_ta_infrastruktura (дата звернення: 15.12.2024).