

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
Приладобудівний факультет  
Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю**

«На правах рукопису»  
УДК \_\_\_\_\_

До захисту допущено:  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ Юрій КИРИЧУК  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## **Магістерська дисертація**

**на здобуття ступеня магістра**

**за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані системи  
та технології в приладобудуванні»**

**зі спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології  
та робототехніка»**

**на тему: «Автоматизована система для розпізнавання об'єктів»**

Виконав:

студент II курсу, групи ПМ-31мп  
Гапонов Дмитро Олександрович \_\_\_\_\_

Науковий керівник:

доцент каф. АСНК, к.т.н.  
Нечай Сергій Олексійович \_\_\_\_\_

Консультант з розробка стартап-проектів:

Завідувач кафедри економічної кібернетики,  
Доктор економічних наук, професор  
Бояринова Катерина Олександрівна \_\_\_\_\_

Рецензент:

професор каф. КІТВП, д.т.н.  
Тимчик Григорій Семенович \_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації  
немає заповичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_

Київ – 2024

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**Приладобудівний факультет**  
**Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ **Юрій КИРИЧУК**

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на магістерську дисертацію студенту**

**Гапонову Дмитру Олександровичу**

1. Тема дисертації «Автоматизована система для розпізнавання об'єктів» науковий керівник дисертації кандидат технічних наук, доцент кафедри АСНК Нечай Сергій Олексійович, затверджені наказом по університету від «01» вересня 2024 р. №4987-с
2. Термін подання студентом дисертації \_\_\_\_\_ 9 грудня 2024 \_\_\_\_\_
3. Об'єкт дослідження: процес автоматизованого розпізнавання об'єктів у реальному часі.
4. Вихідні дані: предмет дослідження – Методи розпізнавання об'єктів, алгоритми глибокого навчання, програмні інструменти та обчислювальні платформи.
5. Перелік завдань, які потрібно зробити: Провести аналіз сучасних методів розпізнавання об'єктів на основі нейронних мереж. Дослідити існуючі аналоги програмного забезпечення для обробки зображень. Розробити архітектуру програмного забезпечення з урахуванням продуктивності та адаптивності. Розробити алгоритми обробки та розпізнавання об'єктів із використанням моделі YOLOv8. Здійснити тестування системи на тестових та реальних даних для перевірки її точності та продуктивності. Підготувати звіт щодо результатів роботи, описати архітектуру, використані алгоритми.
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: схеми, блок-схеми алгоритмів, графіки, ілюстрації.
7. Орієнтовний перелік публікацій: стаття в збірнику матеріалів Всеукраїнської конференції "Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні".

## 8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розробка стартап-проектів	Завідувач кафедри економічної кібернетики, доктор економічних наук, професор Бояринова Катерина Олександрівна		

9. Дата видачі завдання 5 вересня 2024

### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Формулювання завдання магістерської дисертації	05.09.2024	Виконано
2	Аналітичний огляд сучасних методів розпізнавання об'єктів	15.09.2024	Виконано
3	Розроблення архітектури програмного забезпечення	01.10.2024	Виконано
4	Розробка алгоритмів обробки та розпізнавання даних	10.10.2024	Виконано
5	Реалізація програмного комплексу	01.11.2024	Виконано
6	Тестування роботи додатку на реальних даних	10.11.2024	Виконано
7	Оцінка продуктивності та стабільності роботи	27.11.2024	Виконано
8	Розробка стартап-проєкту	30.11.2024	Виконано
9	Формулювання висновків та оформлення пояснювальної записки та презентації	04.12.2024	Виконано

Студент

Дмитро ГАПОНОВ

Науковий керівник

Сергій НЕЧАЙ

## РЕФЕРАТ

### **Актуальність теми**

Застосування автоматизованих систем розпізнавання об'єктів стрімко розвивається завдяки впровадженню сучасних алгоритмів глибокого навчання [11] та вбудованих обчислювальних платформ. Такі системи знаходять застосування у сферах безпеки, транспортних системах, промислового контролю та робототехніці. Зокрема, розробка систем, здатних працювати в реальному часі на пристроях із обмеженими ресурсами, як-от NVIDIA Jetson Nano, є надзвичайно актуальною для створення автономних інтелектуальних рішень.

Використання нейронних мереж YOLOv8 дозволяє значно підвищити точність і швидкість обробки зображень. Проте інтеграція таких систем із вбудованими платформами потребує оптимізації моделі, а також розробки спеціалізованого програмного забезпечення. Розв'язання цієї проблеми дозволяє створити енергоефективні рішення для обробки відео- та зображень у реальному часі, що робить дослідження надзвичайно актуальним у контексті сучасних технологічних викликів.

### **Мета і задачі дослідження**

Метою дослідження є розробка автоматизованої системи розпізнавання об'єктів на базі NVIDIA Jetson Nano, яка забезпечує точність, швидкодію та ефективність обробки даних у режимі реального часу.

Для досягнення цієї мети були поставлені такі задачі:

1. Провести аналіз сучасних алгоритмів розпізнавання об'єктів та методів оптимізації.
2. Розробити архітектуру програмного забезпечення системи.
3. Оптимізувати модель YOLOv8 за допомогою бібліотек TensorRT та ONNX.
4. Реалізувати програмний комплекс для обробки даних із використанням NVIDIA Jetson Nano.

5. Провести тестування системи в реальних умовах із різними наборами даних.
6. Оцінити ефективність, продуктивність та стабільність системи.

**Об'єкт дослідження** - Процес автоматизованого розпізнавання об'єктів у реальному часі.

**Предмет дослідження** - Методи розпізнавання об'єктів, алгоритми глибокого навчання, програмні інструменти та обчислювальні платформи.

**Методи дослідження** - Для вирішення поставлених задач використано методи глибокого навчання, алгоритми оптимізації моделей, методи об'єктно-орієнтованого програмування, а також інструменти бібліотек TensorFlow, TensorRT, OpenCV, PyTorch. Реалізація програмної частини виконана з використанням Python та C++.

#### **Наукова новизна одержаних результатів**

1. Створено інтегровану систему автоматизованого розпізнавання об'єктів із використанням нейронної мережі YOLOv8, оптимізованої для NVIDIA Jetson Nano.
2. Запропоновано методику інтеграції бібліотек ONNX та TensorRT для прискорення обчислень на вбудованих пристроях.

#### **Практичне значення результатів дисертації**

1. Розроблено енергоефективну систему розпізнавання об'єктів, яка може бути використана в системах безпеки, автономних роботах та транспортних системах.
2. Запропоноване рішення забезпечує високу продуктивність та може легко адаптуватися для інших вбудованих платформ і завдань комп'ютерного зору.

**Ключові слова:** автоматизоване розпізнавання, нейронні мережі, YOLOv8, Jetson Nano, обробка зображень, TensorRT, оптимізація моделі.

## АНОТАЦІЯ

У дипломній роботі досліджено та реалізовано систему автоматизованого розпізнавання об'єктів у реальному часі на базі платформи NVIDIA Jetson Nano.

Метою роботи є розробка продуктивної та енергоефективної системи розпізнавання об'єктів, яка відповідає вимогам реального часу та обмеженим апаратним ресурсам.

У роботі проаналізовано сучасні методи та алгоритми комп'ютерного зору, зокрема YOLOv8, Faster R-CNN, SSD. Проведено огляд і порівняння апаратних платформ, таких як Raspberry Pi, Jetson Nano та Google Coral. Для навчання моделі використано аугментацію даних, нейронну мережу оптимізовано за допомогою ONNX і TensorRT. Розроблено програмний комплекс для розпізнавання об'єктів із високою точністю (mAP 95%) та швидкістю 20 кадрів на секунду.

Практичне значення роботи полягає у створенні системи, яка може бути впроваджена в галузях безпеки, транспорту, промислового контролю якості та навчання штучного інтелекту. Розроблені рішення також можуть бути використані для подальших досліджень у сфері комп'ютерного зору та оптимізації алгоритмів.

Результати роботи підтвердили ефективність сучасних підходів до розпізнавання об'єктів, оптимізації нейронних мереж і інтеграції систем на вбудованих платформах.

## ABSTRACT

The thesis explores and implements an automated real-time object recognition system based on the NVIDIA Jetson Nano platform.

The purpose of this study is to develop a high-performance and energy-efficient object recognition system that meets real-time requirements while operating under limited hardware resources.

The research analyzes modern methods and algorithms of computer vision, including YOLOv8, Faster R-CNN, and SSD. A review and comparison of hardware platforms such as Raspberry Pi, Jetson Nano, and Google Coral have been conducted. Data augmentation was applied for model training, and the neural network was optimized using ONNX and TensorRT. A software suite was developed for object recognition, achieving high accuracy (mAP 95%) and a processing speed of 15 frames per second.

The practical significance of this work lies in creating a system applicable in security, transportation, industrial quality control, and AI training. The solutions developed can also serve as a foundation for further research in computer vision and algorithm optimization.

The results confirm the effectiveness of modern approaches to object recognition, neural network optimization, and system integration on embedded platforms.

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

- AI – Artificial Intelligence (штучний інтелект)
- GPU – Graphics Processing Unit (графічний процесор)
- CPU – Central Processing Unit (центральний процесор)
- YOLO – You Only Look Once (алгоритм для розпізнавання об'єктів)
- R-CNN – Region-based Convolutional Neural Network (регіональна згорткова нейронна мережа)
- SSD – Single Shot MultiBox Detector (одноетапний детектор об'єктів)
- ONNX – Open Neural Network Exchange (універсальний формат для обміну моделями нейронних мереж)
- TensorRT – Tensor Runtime (оптимізаційна бібліотека NVIDIA для нейронних мереж)
- mAP – Mean Average Precision (середня точність розпізнавання)
- PID – Proportional-Integral-Derivative (пропорційно-інтегрально-диференційний регулятор)
- IoT – Internet of Things (інтернет речей)
- CSI – Camera Serial Interface (послідовний інтерфейс камери)
- PWM – Pulse Width Modulation (широтно-імпульсна модуляція)
- NTP – Network Time Protocol (мережевий протокол часу)
- PTP – Precision Time Protocol (протокол точного часу)
- AIoT – Artificial Intelligence of Things (штучний інтелект для інтернету речей)
- LPDDR4 – Low Power Double Data Rate 4 (енергоефективна оперативна пам'ять четвертого покоління)
- I2C – Inter-Integrated Circuit (послідовний інтерфейс для з'єднання компонентів)
- JetPack SDK – Jetson Platform Software Development Kit (пакет програм для розробки на платформах Jetson)
- YOLOv8n – YOLOv8 Nano (оптимізована модель YOLO для обмежених ресурсів)



CNN – Convolutional Neural Network (згорткова нейронна мережа)

FP16 – Half-Precision Floating Point (половинна точність плаваючої коми)

BGR – Blue-Green-Red (колірна модель зображень)

IoU – Intersection over Union (метрика оцінки точності детекції об'єктів)

RGB – Red-Green-Blue (колірна модель для роботи із зображеннями)

CUDA – Compute Unified Device Architecture (уніфікована архітектура обчислень від NVIDIA)

cuDNN – CUDA Deep Neural Network library (бібліотека для глибоких нейронних мереж від NVIDIA)

FPGA – Field Programmable Gate Array (програмована логічна інтегральна схема)

Edge TPU – Edge Tensor Processing Unit (тензорний процесор для вбудованих систем)

ML – Machine Learning (машинне навчання)

## ЗМІСТ

РЕФЕРАТ .....	4
АНОТАЦІЯ.....	6
ABSTRACT .....	7
ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП .....	13
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА .....	14
1.1 Сучасний стан проблеми у сфері розпізнавання об'єктів.....	14
1.2 Типи систем автоматизованого розпізнавання об'єктів .....	14
1.2.1 Класифікація за функціональністю .....	14
1.2.2 Класифікація за використовуваними підходами .....	17
1.3 Аналіз існуючих апаратних платформ.....	21
1.3.1 Raspberry Pi: характеристики, переваги та обмеження .....	21
1.3.2 Jetson Nano: огляд, продуктивність, енергоефективність.....	22
1.3.3 Інші платформи: Arduino, Coral, BeagleBone .....	24
1.4 Аналіз методів та алгоритмів нейронних мереж. ....	25
1.4.1 YOLO (версії YOLOv3, YOLOv5, YOLOv8): особливості, переваги та недоліки .....	25
1.4.2 Faster R-CNN: точність та обчислювальні вимоги .....	27
1.4.3 SSD (Single Shot MultiBox Detector): порівняння з іншими алгоритмами.....	28
1.5 Постановка завдання дослідження .....	29
РОЗДІЛ 2. ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА .....	31
2.1 Огляд вибраного обладнання.....	31
2.1.1 NVIDIA Jetson Nano: характеристики, схеми підключення .....	31
2.1.2 Камера, лазер, рухома платформа .....	35

2.2	Опис функціональної схеми.....	38
2.3	Розробка структурної схеми системи.....	39
2.4	Розробка схеми підключень обладнання .....	40
РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМНА ЧАСТИНА.....		42
3.1	Підготовка даних.....	42
3.1.1	Створення та розмітка датасету.....	42
3.1.2	Аугментація даних .....	43
3.2	Розробка та навчання нейронної мережі .....	44
3.2.1	Параметри навчання, обрані моделі.....	45
3.3	Оптимізація моделі .....	47
3.3.1	Експорт до ONNX .....	47
3.3.2	Оптимізація через TensorRT .....	48
3.4	Розробка програмного забезпечення.....	48
3.4.1	Програма розпізнавання об'єктів .....	49
3.4.2	Алгоритм обробки сигналу з лазера.....	49
3.4.3	Керування сервоприводами та платформа .....	52
3.5	Інтеграція системи .....	53
1.	Імпорт необхідних бібліотек та модулів.....	54
2.	Налаштування параметрів системи .....	55
3.	Ініціалізація камери та моделі YOLO .....	55
4.	Ініціалізація сервоприводів та лазера .....	56
5.	Основний цикл програми .....	56
РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА .....		58
4.1	Постановка експерименту .....	59
4.1.1	Вибір параметрів для тестування системи .....	59

4.2 Результати експериментів .....	61
4.2.1 Точність розпізнавання.....	61
4.3 Аналіз отриманих результатів .....	67
РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ .....	69
5.1. Опис ідеї проєкту технології.....	69
5.2. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту .....	80
5.3. Розроблення ринкової стратегії проєкту .....	90
5.4. Розроблення маркетингової програми стартап-проєкту .....	93
5.5. Організація реалізації стартап-проєкту .....	95
ВИСНОВОК.....	100
СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	101

## ВСТУП

Сучасні технології розпізнавання об'єктів є важливим інструментом для забезпечення ефективності та точності у багатьох сферах, включаючи безпеку, транспорт, промисловість, робототехніку та екологічний контроль. Одним із перспективних напрямів є впровадження систем розпізнавання для сортування та переробки сміття, що дозволяє автоматизувати процеси обробки відходів, зменшити їх негативний вплив на довкілля та оптимізувати використання ресурсів.

Застосування алгоритмів глибокого навчання у таких системах забезпечує високу точність і швидкість обробки даних, що дозволяє ідентифікувати та сортувати різні типи матеріалів у реальному часі. Використання вбудованих платформ, таких як NVIDIA Jetson Nano, дозволяє створювати енергоефективні рішення, адаптовані до роботи у промислових і комунальних умовах.

У рамках цієї роботи досліджуються сучасні методи розпізнавання об'єктів, їх застосування у різних галузях, включаючи переробку сміття, а також технічні рішення для інтеграції таких алгоритмів у вбудовані системи. Аналізуються переваги, недоліки та проблеми, що виникають під час роботи з обмеженими апаратними ресурсами, а також запропоновано оптимізований підхід для розробки систем, здатних працювати у реальному часі.

У дослідженні представлено програмний комплекс, який інтегрує сучасні нейронні мережі, такі як YOLOv8, для забезпечення швидкого та точного розпізнавання об'єктів. Реалізована система має можливість автоматичного ідентифікування матеріалів для їхнього подальшого сортування та переробки. Такий підхід сприяє вирішенню низки екологічних завдань, включаючи зменшення кількості відходів, ефективне використання ресурсів та підтримку сталого розвитку.

## **РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА**

### **1.1 Сучасний стан проблеми у сфері розпізнавання об'єктів**

Сучасний розвиток технологій комп'ютерного зору та машинного навчання призвів до значних досягнень у сфері автоматизованого розпізнавання об'єктів. Ці технології знаходять широке застосування в різних галузях, таких як безпека, транспорт, промисловість та медицина. Зростаюча потреба в автоматизації процесів та підвищенні ефективності сприяє активному розвитку систем, здатних аналізувати візуальну інформацію з високою точністю та швидкістю.

Основними викликами в цій сфері є забезпечення високої точності розпізнавання в реальному часі, адаптація систем до різноманітних умов експлуатації, зокрема до змінного освітлення, перешкод та різноманітних фонів. Крім того, актуальним є питання оптимізації алгоритмів для роботи на обмежених апаратних ресурсах, що дозволяє інтегрувати такі системи у вбудовані пристрої та мобільні платформи.

### **1.2 Типи систем автоматизованого розпізнавання об'єктів**

#### **1.2.1 Класифікація за функціональністю**

##### **Системи моніторингу та безпеки**

Системи автоматизованого розпізнавання об'єктів знаходять широке застосування у сучасному світі завдяки своїй здатності забезпечувати безпеку, моніторинг та аналіз у реальному часі. Наприклад, у відеоспостереженні з розпізнаванням облич ці системи використовуються для ідентифікації осіб, автоматичного сповіщення про підозрілі дії та покращення реагування на потенційні загрози. У системах контролю доступу технологія розпізнавання облич замінює традиційні ключі чи картки, забезпечуючи швидкий і надійний доступ до приміщень. Також ці системи активно застосовуються для виявлення аномальної поведінки в натовпі, наприклад, у громадських місцях чи на масових заходах, що дозволяє оперативно реагувати на ризики, запобігаючи небезпечним ситуаціям.



*Рис. 1.1 - Приклад розпізнавання облич в місцях скупчення людей*

### Системи управління транспортом

Інтелектуальні транспортні системи (ІТС) є важливим інструментом для оптимізації дорожнього руху, підвищення безпеки на дорогах та зменшення заторів. Вони використовують сучасні технології, зокрема автоматизоване розпізнавання об'єктів і аналіз даних, для покращення транспортної інфраструктури.

#### Приклади застосування

*Автоматичне розпізнавання номерних знаків.* Ця технологія дозволяє швидко ідентифікувати транспортні засоби, забезпечуючи контроль в'їзду на платні дороги, паркування та інші зони з обмеженим доступом.

*Контроль швидкості та фіксація порушень.* Камери спостереження оснащені системами визначення швидкості та автоматично фіксують порушення, такі як перевищення швидкості чи проїзд на червоний сигнал світлофора.

*Управління світлофорами на основі трафіку.* Інтелектуальні світлофори аналізують інтенсивність дорожнього руху в реальному часі та адаптують цикли перемикання для оптимізації потоків. Це зменшує затори, особливо в години пік.



*Рис. 1.2 - Дорожня камера, яка фіксує номерні знаки*

### Індустріальні системи контролю якості

Системи автоматизованого контролю якості стали невід’ємною частиною сучасного виробництва. Вони дозволяють автоматично виявляти дефекти у продукції, проводити оцінку відповідності стандартам та забезпечувати стабільний рівень якості. Використання таких систем знижує залежність від людського фактору, підвищує точність перевірок і скорочує витрати на виправлення помилок, які можуть виникнути через пропущені дефекти.

*Виявлення дефектів на конвеєрних лініях.* У процесі масового виробництва системи контролю якості здатні виявляти дефекти, такі як подряпини, відхилення у формі чи кольорі, на кожному етапі конвеєрної лінії. Це дозволяє уникнути подальшої обробки або пакування дефектної продукції, що знижує витрати.

*Контроль якості зварних швів.* Автоматизовані системи забезпечують перевірку зварних швів, виявляючи тріщини, пропуски, перегрів чи недостатню герметичність. Це особливо актуально у виробництві автомобілів, літаків чи будівельних конструкцій, де якість зварювання впливає на безпеку.



*Перевірка герметичності упаковок.* У харчовій промисловості або виробництві фармацевтичних товарів автоматизовані системи перевіряють герметичність упаковок. Завдяки використанню камер або сенсорів тиску система може миттєво виявити пошкодження, що запобігає псуванню продукції чи її витоку.

#### Військовий напрямок

У військовій сфері технології розпізнавання об'єктів використовуються для ідентифікації цілей на полі бою, аналізу інформацію з дронів та безпілотників, а також для моніторингу периметра стратегічних об'єктів. Наприклад, розпізнавання транспортних засобів, зброї чи осіб у реальному часі дозволяє значно підвищити точність і швидкість прийняття рішень у бойових умовах.

Крім того, ці системи використовуються для захисту військових баз, аналізу поведінки персоналу та автоматизованого виявлення потенційних загроз, що значно підвищує рівень безпеки. Технології такого типу є важливими елементами сучасної оборони та відіграють ключову роль у забезпеченні національної безпеки.

Автоматизація зйомки кадра стане корисною не тільки для наземних зйомок зі штативу, а й в роботі з операторськими кранами та іншими рухомими основами камери, у тому числі з безпілотними літальними апаратами [56].

#### **1.2.2 Класифікація за використовуваними підходами**

У сфері автоматизованого розпізнавання об'єктів застосовуються різноманітні підходи, які можна класифікувати за методами обробки та аналізу даних. Розглянемо основні категорії цих підходів, їхні особливості, переваги та недоліки

Традиційні методи комп'ютерного зору.

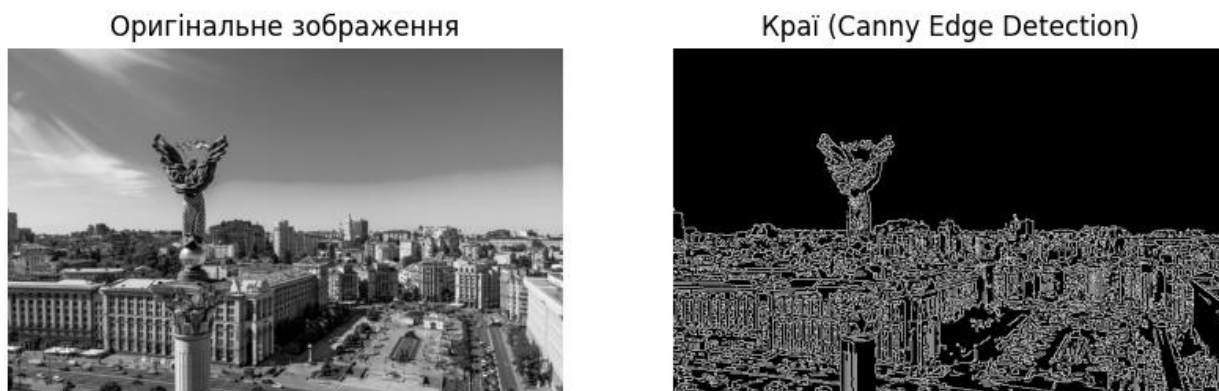
Традиційні методи комп'ютерного зору базуються на використанні алгоритмів обробки зображень, що були розроблені задовго до появи сучасних методів машинного навчання. Ці методи включають фільтрацію, сегментацію,

виявлення контурів та інші техніки, які дозволяють аналізувати зображення на базовому рівні.

Фільтрація використовується для покращення якості зображення, усунення шумів та виділення важливих деталей. Сегментація дозволяє розділити зображення на окремі області, що відповідають різним об'єктам або фонам. Виявлення контурів спрямоване на ідентифікацію границь між різними об'єктами або областями на зображенні.

Ці методи характеризуються простотою реалізації та невисокими вимогами до обчислювальних ресурсів. Вони можуть бути ефективно виконані на звичайних процесорах без необхідності використання спеціалізованого апаратного забезпечення. Завдяки цьому, традиційні методи широко застосовуються для базових задач комп'ютерного зору, де не потрібна висока точність або складна обробка даних.

Однак, незважаючи на простоту, ці методи мають суттєві обмеження. Вони демонструють низьку адаптивність до змін умов, таких як освітлення, шум, варіації у формі та розмірі об'єктів. Це призводить до обмеженої точності при вирішенні складних задач, де об'єкти можуть перекриватися або мати складну структуру. Крім того, традиційні методи часто вимагають ручної настройки параметрів для кожного конкретного випадку, що ускладнює їх застосування в універсальних системах.



*Рис. 1.3 - Приклад використання традиційних методів: виявлення контурів на зображенні*

## Методи на основі машинного навчання

З появою машинного навчання відкрилися нові можливості для аналізу та обробки зображень. Методи на основі машинного навчання використовують алгоритми, які навчаються на даних, такі як метод опорних векторів (SVM), метод дерева рішень, метод k найближчих сусідів (k-NN) та інші.

Ці алгоритми здатні виявляти складні закономірності у даних, що дозволяє підвищити точність розпізнавання об'єктів порівняно з традиційними методами. Вони краще адаптуються до різних умов та можуть обробляти більш складні дані, враховуючи різноманітність об'єктів та фону.

Перевагою методів на основі машинного навчання є їхня здатність автоматично налаштовуватися на дані, що зменшує потребу в ручному втручанні. Однак, для ефективної роботи цих алгоритмів необхідні значні обсяги навчальних даних, які повинні бути якісно розмічені. Збір та розмітка таких даних можуть бути трудомісткими та витратними.

Крім того, методи машинного навчання можуть вимагати більше обчислювальних ресурсів, особливо при роботі з великими наборами даних або складними моделями. Це може обмежувати їх використання в системах реального часу або на пристроях з обмеженими ресурсами.

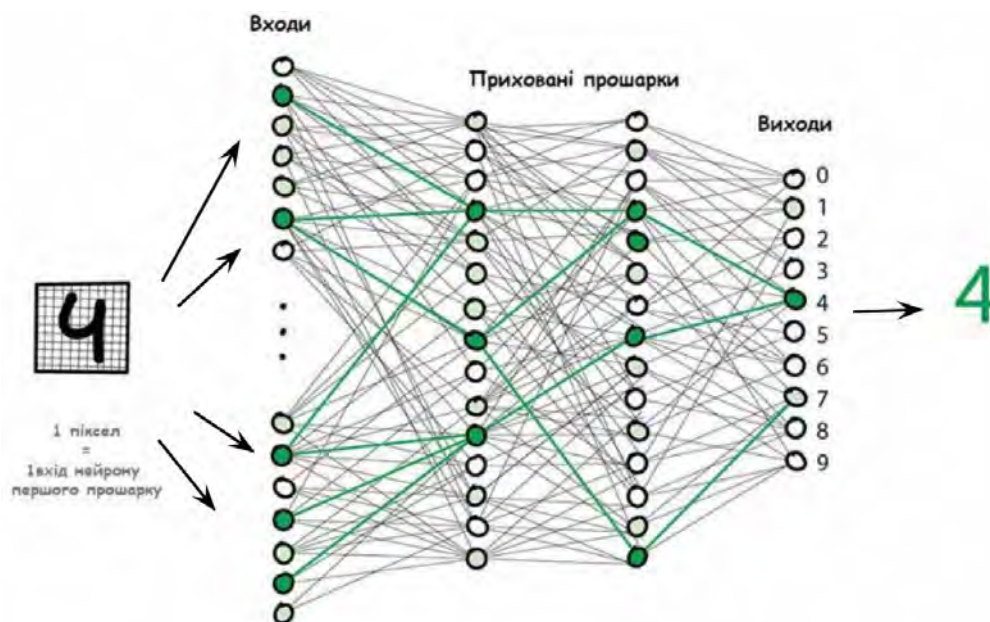


Рис. 1.4 - Схема роботи нейронної мережі для класифікації рукописних чисел

## Глибокі нейронні мережі

Глибокі нейронні мережі (Deep Neural Networks) представляють собою один з найсучасніших підходів у комп'ютерному зорі. Вони використовують багатошарові архітектури нейронних мереж, які здатні автоматично виділяти релевантні ознаки з даних та виконувати складні задачі класифікації та розпізнавання.

Однією з головних переваг глибоких нейронних мереж є їхня висока точність розпізнавання. Вони можуть обробляти великі обсяги даних та виявляти складні нелінійні залежності, що робить їх особливо ефективними для роботи з великими та складними наборами зображень.

Глибокі нейронні мережі також демонструють стійкість до шумів та змін умов, таких як освітлення, ракурс, масштаб об'єктів. Це дозволяє їм успішно працювати в реальних умовах, де традиційні методи та прості алгоритми машинного навчання можуть зазнавати невдачі.

Проте, використання глибоких нейронних мереж пов'язане з високими обчислювальними вимогами. Навчання таких моделей вимагає потужних графічних процесорів (GPU) та значного обсягу пам'яті. Крім того, налаштування та оптимізація глибоких нейронних мереж можуть бути складними, вимагаючи глибоких знань у галузі машинного навчання та досвіду роботи з відповідними інструментами.

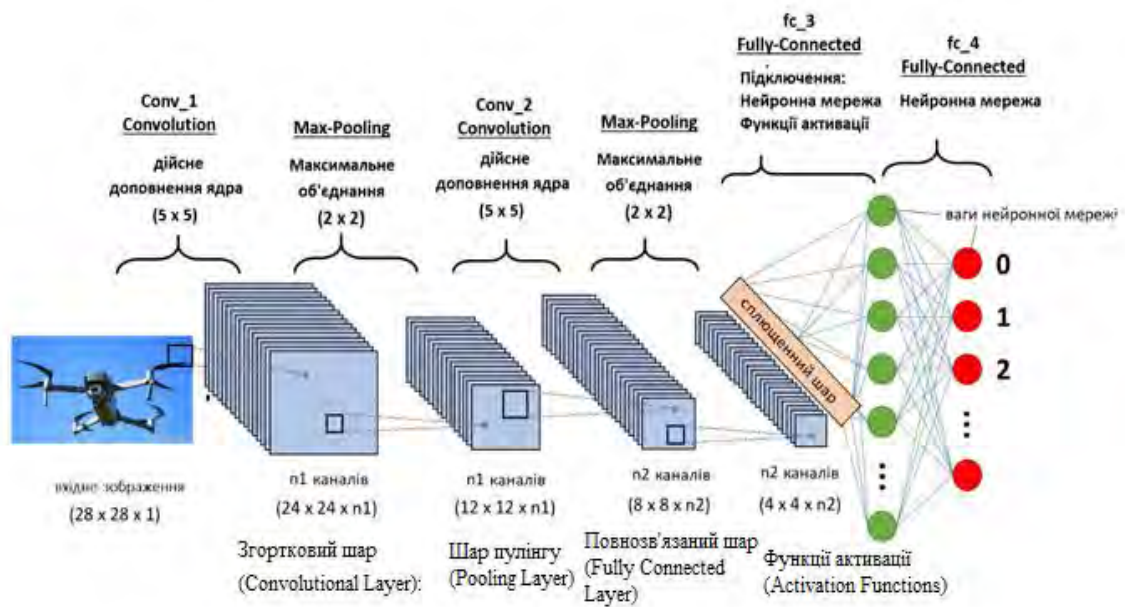


Рис. 1.5 - Згортова нейронна мережа

### 1.3 Аналіз існуючих апаратних платформ

Вибір апаратної платформи є критично важливим при розробці систем автоматизованого розпізнавання об'єктів, особливо якщо система має працювати в реальному часі або в умовах обмежених ресурсів. Розглянемо основні характеристики, переваги та обмеження найбільш популярних платформ.

#### 1.3.1 Raspberry Pi: характеристики, переваги та обмеження

Raspberry Pi — це серія одноплатних комп'ютерів, що стали популярними завдяки своїй доступності та широким можливостям. Найбільш поширені моделі включають Raspberry Pi 3 з процесором ARM Cortex-A53 та Raspberry Pi 4 з ARM Cortex-A72. Обсяг оперативної пам'яті варіюється від 1 ГБ до 8 ГБ залежно від моделі. Графічний процесор Broadcom VideoCore IV/VI забезпечує базову підтримку графіки.

Переваги Raspberry Pi полягають у низькій вартості та доступності, що робить його привабливим для навчальних цілей, прототипування та аматорських проєктів. Компактний розмір та низьке енергоспоживання дозволяють використовувати його у вбудованих системах та мобільних

пристроях. Широка спільнота користувачів та розробників забезпечує доступ до численних ресурсів, документації та підтримки.

Однак, Raspberry Pi має обмежену обчислювальну потужність, особливо для задач глибокого навчання та обробки великих обсягів даних у реальному часі. Відсутність потужного GPU для прискорення нейронних мереж є серйозним обмеженням при розробці складних систем розпізнавання об'єктів. Це робить Raspberry Pi менш придатним для застосувань, де потрібна висока продуктивність та швидка обробка.



*Рис. 1.6 - Одноплатний комп'ютер Raspberry Pi 4*

### **1.3.2 Jetson Nano: огляд, продуктивність, енергоефективність**

NVIDIA Jetson Nano — це потужна платформа, спеціально розроблена для вбудованих систем штучного інтелекту та глибокого навчання [7]. Вона оснащена 128-ядерним GPU NVIDIA Maxwell та чотириядерним процесором ARM Cortex-A57. Ця конфігурація забезпечує високу обчислювальну потужність, необхідну для виконання складних алгоритмів машинного навчання.

Jetson Nano підтримує паралельну обробку та апаратне прискорення нейронних мереж завдяки використанню технологій NVIDIA CUDA, cuDNN



та TensorRT [44]. Це дозволяє розробникам ефективно використовувати можливості GPU для прискорення обчислень та оптимізації продуктивності.

Однією з важливих характеристик Jetson Nano є його енергоефективність. Споживання енергії варіюється від 5 Вт до 10 Вт, що є оптимальним для вбудованих систем з обмеженим енергоспоживанням. Це дозволяє використовувати Jetson Nano в мобільних та автономних пристроях, де важливими є як продуктивність, так і економія енергії.

Переваги Jetson Nano включають високу обчислювальну потужність для глибокого навчання, підтримку сучасних бібліотек та інструментів від NVIDIA, а також можливість роботи з сучасними нейронними мережами у реальному часі. Це робить його ідеальним вибором для розробки систем розпізнавання об'єктів, автономних роботів, систем спостереження та інших застосувань штучного інтелекту.

Недоліками Jetson Nano є вища вартість порівняно з Raspberry Pi та необхідність налаштування та оптимізації для досягнення максимальної продуктивності. Розробникам може знадобитися додатковий час та знання для ефективного використання можливостей цієї платформи.



*Рис. 1.7 - NVIDIA Jetson Nano Developer Kit*

### **1.3.3 Інші платформи: Arduino, Coral, BeagleBone**

#### **Arduino**

Arduino — це сімейство мікроконтролерів з відкритим кодом, відомих своєю простотою та доступністю. Вони широко використовуються для створення прототипів, навчання та реалізації простих електронних проектів. Мікроконтролери Arduino мають низьке енергоспоживання та обмежені обчислювальні ресурси.

Хоча Arduino є чудовим вибором для задач керування, збору даних з сенсорів та простих логічних операцій, вони не підходять для обробки складних алгоритмів машинного навчання. Відсутність потужного процесора та обмежений обсяг пам'яті не дозволяють використовувати їх для глибокого навчання або обробки зображень високої роздільної здатності.

#### **Google Coral**

Google Coral — це апаратна платформа, оснащена Edge TPU (Tensor Processing Unit) — спеціалізованим прискорювачем для нейронних мереж. Вона підтримує TensorFlow Lite та призначена для виконання моделей машинного навчання з високою швидкістю та низькою затримкою.

Coral забезпечує високу продуктивність у специфічних задачах, таких як розпізнавання об'єктів, класифікація та інші застосування, оптимізовані для Edge TPU. Однак, гнучкість цієї платформи обмежена, і вона краще підходить для конкретних моделей, розроблених з урахуванням архітектури Edge TPU.

#### **BeagleBone**

BeagleBone — це серія одноплатних комп'ютерів, які пропонують більшу продуктивність, ніж Arduino, але поступаються Jetson Nano. Вони підтримують операційну систему Linux та можуть виконувати прості задачі машинного навчання.

Хоча BeagleBone може бути використаний для реалізації простих систем розпізнавання, обмежена підтримка інструментів для глибокого навчання та відсутність потужного GPU роблять його менш придатним для складних задач.



Це може обмежити можливості розробників при спробі реалізувати системи, що вимагають високої продуктивності та ефективності.

#### **1.4 Аналіз методів та алгоритмів нейронних мереж**

Вибір відповідного алгоритму нейронної мережі є ключовим фактором успішної реалізації системи розпізнавання об'єктів. У цьому розділі розглянемо основні алгоритми, їх особливості, переваги та недоліки.

##### **1.4.1 YOLO (версії YOLOv3, YOLOv5, YOLOv8): особливості, переваги та недоліки**

YOLO (You Only Look Once) — це сімейство алгоритмів одноетапного виявлення об'єктів, яке виконує виявлення та класифікацію об'єктів за один прохід мережі. Це забезпечує високу швидкість обробки зображень та можливість роботи в реальному часі.

###### **YOLOv3**

YOLOv3 представляє покращену архітектуру з використанням декількох масштабів прогнозування. Це дозволяє моделі краще виявляти об'єкти різних розмірів та покращує точність розпізнавання.

Переваги:

- Висока швидкість обробки.
- Прийнятна точність для багатьох застосувань.
- Можливість роботи в реальному часі.

Недоліки:

- Поступається новішим версіям у точності.
- Менш ефективна при виявленні дрібних об'єктів.

###### **YOLOv5**

YOLOv5 — це подальший розвиток алгоритму YOLO, який пропонує оптимізовану архітектуру та легшу модель. Він використовує сучасні методи обробки та тренування, що покращує як швидкість, так і точність.

Переваги:

- Краща точність та швидкість порівняно з YOLOv3.

- Простота використання та налаштування.
- Підтримка різних розмірів моделей (від малих до великих).

Недоліки:

- Відсутність офіційної підтримки від оригінальних розробників YOLO.
- Можливі питання щодо ліцензування та авторських прав.

### **YOLOv8**

YOLOv8 є найновішою версією алгоритму, яка включає покращені алгоритми обробки та оптимізації. Вона досягає найвищої точності та швидкості серед усіх версій YOLO [4].

Переваги:

- Найвища точність розпізнавання.
- Швидка обробка зображень.
- Підтримка сучасних архітектур та методів тренування.

Недоліки:

- Вимогливість до обчислювальних ресурсів.
- Потребує потужних GPU для максимальної продуктивності.

Загальні переваги YOLO:

- Можливість роботи в реальному часі завдяки одно етапному підходу.
- Висока швидкість обробки зображень.
- Широке застосування у різних сферах, включаючи безпеку, транспорт та промисловість.

Недоліки:

- Потреба в оптимізації для роботи на обмежених ресурсах.
- Може мати нижчу точність порівняно з двоетапними алгоритмами у складних сценах.

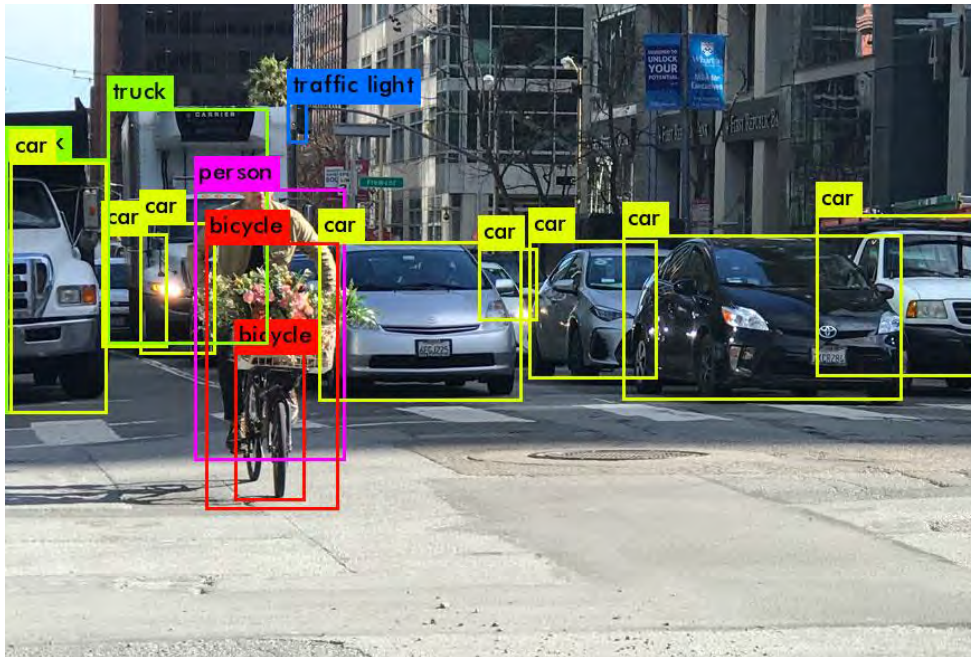


Рис. 1.8 - Приклад виявлення об'єктів за допомогою алгоритму YOLOv8

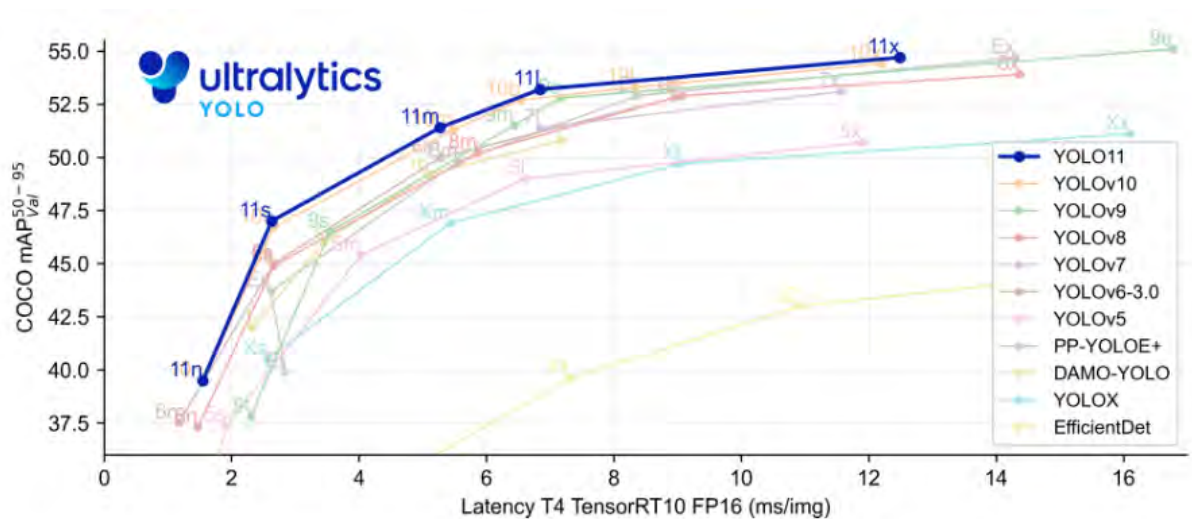


Рис. 1.9 - Порівняння продуктивності моделей YOLO

### 1.4.2 Faster R-CNN: точність та обчислювальні вимоги

Faster R-CNN — це двоетапний алгоритм виявлення об'єктів, який складається з регіональної мережі пропозицій (RPN) та мережі для класифікації та регресії меж об'єктів. На першому етапі RPN генерує можливі регіони, де можуть знаходитися об'єкти. На другому етапі ці регіони класифікуються та уточнюються межі об'єктів.

Faster R-CNN забезпечує високу точність виявлення та класифікації об'єктів, особливо в складних сценах з перекриттям та великою кількістю

дрібних об'єктів. Це робить його одним з найточніших алгоритмів для задач розпізнавання об'єктів.

Недоліком Faster R-CNN є його високі обчислювальні вимоги. Алгоритм є складним та вимагає значних ресурсів для обробки зображень, що ускладнює його використання в реальному часі на пристроях з обмеженими ресурсами.

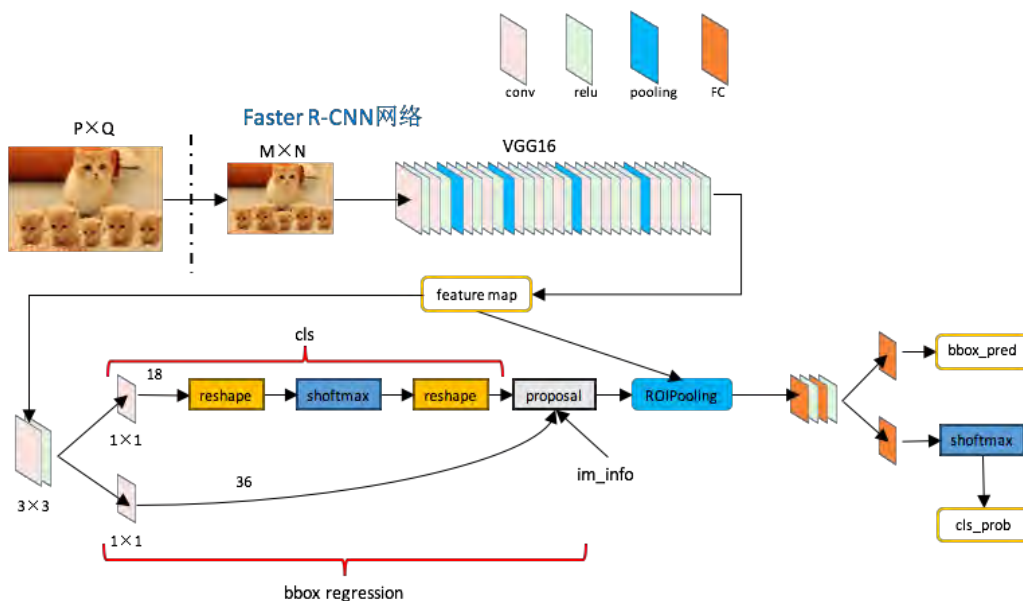


Рис. 1.10 - Схема роботи алгоритму Faster R-CNN

### 1.4.3 SSD (Single Shot MultiBox Detector): порівняння з іншими алгоритмами

SSD — це одноетапний детектор об'єктів, який використовує декілька масштабів для прогнозування, що дозволяє ефективно виявляти об'єкти різних розмірів. Алгоритм поєднує високу швидкість та хорошу точність, що робить його популярним вибором для багатьох застосувань.

Переваги:

- Хороший баланс між швидкістю та точністю.
- Можливість виявлення об'єктів різних розмірів завдяки використанню багатомасштабних ознак.
- Менші обчислювальні вимоги порівняно з Faster R-CNN.

Недоліки:

- Менша точність для дрібних об'єктів порівняно з Faster R-CNN.

- Поступається новішим версіям YOLO у швидкості обробки.

Порівняння з іншими алгоритмами:

- Швидкість: SSD швидший за Faster R-CNN, але поступається YOLO.
- Точність: SSD перевершує YOLOv3, але може поступатися YOLOv5 та YOLOv8.
- Обчислювальні вимоги: Менші, ніж у Faster R-CNN, але більші, ніж у YOLO.

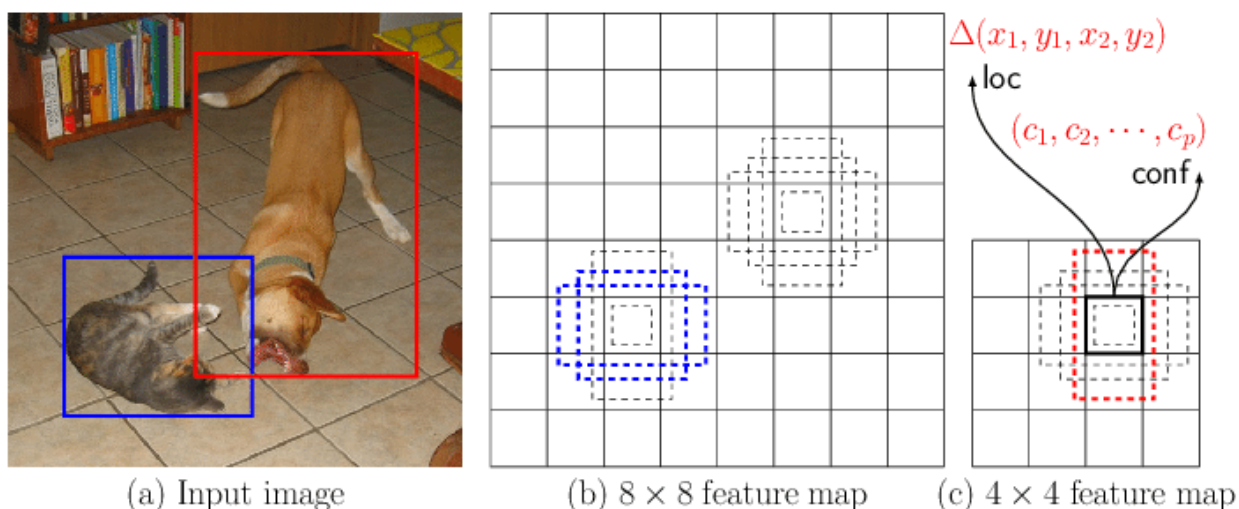


Рис. 1.11 - Приклад виявлення об'єктів за допомогою алгоритму SSD

### 1.5 Постановка завдання дослідження

У сучасних умовах зростає потреба в системах автоматизованого розпізнавання об'єктів, здатних працювати в реальному часі на платформах з обмеженими ресурсами. Це особливо актуально для застосувань у галузях безпеки, транспорту, промисловості та мобільних технологій.

Метою цього дослідження є розробка ефективної системи автоматизованого розпізнавання об'єктів, яка буде працювати в реальному часі на платформі NVIDIA Jetson Nano. Для досягнення цієї мети необхідно вирішити ряд завдань.

Потрібно вибрати оптимальний алгоритм розпізнавання об'єктів, який забезпечить високий рівень точності та швидкості. Це вимагає детального

аналізу існуючих методів, таких як різні версії YOLO, Faster R-CNN та SSD, з урахуванням їх переваг та недоліків.

Необхідно провести аналіз та порівняння існуючих апаратних платформ. Важливо оцінити продуктивність, енергоефективність та можливості реалізації глибокого навчання на різних пристроях, таких як Raspberry Pi, Jetson Nano та інші. Це дозволить обрати найбільш підходящу платформу для реалізації системи.

Потрібно розробити та оптимізувати нейронну мережу з урахуванням обмежених апаратних ресурсів. Використання сучасних інструментів та методів оптимізації, таких як ONNX та TensorRT, допоможе підвищити продуктивність моделі та забезпечити її ефективну роботу на обраній платформі.

Важливо протестувати систему в реальних умовах та оцінити її ефективність. Це включає проведення експериментальних досліджень, аналіз результатів та визначення можливостей подальшого вдосконалення системи.

Очікуваними результатами є створення системи, здатної в реальному часі розпізнавати об'єкти з високою точністю на платформі NVIDIA Jetson Nano. Оптимізована нейронна мережа повинна забезпечити баланс між швидкістю обробки та точністю, що робить її придатною для використання в різних галузях.

Крім того, отримані результати повинні підтвердити ефективність використання сучасних алгоритмів та методів оптимізації для розпізнавання об'єктів на обмежених апаратних ресурсах. Це сприятиме розвитку технологій комп'ютерного зору та їх впровадженню в практичні застосування, де важливими є як продуктивність, так і ефективність використання ресурсів.



## РОЗДІЛ 2. ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1 Огляд вибраного обладнання

У цьому розділі детально розглянемо апаратні компоненти, обрані для реалізації системи автоматизованого розпізнавання об'єктів. Основні елементи включають платформу NVIDIA Jetson Nano, високочутливу камеру, лазерний модуль та рухомих платформу. Аналіз характеристик та особливостей підключення цих пристроїв дозволить зрозуміти їхню роль у системі та забезпечити основу для подальшого проєктування.

#### 2.1.1 NVIDIA Jetson Nano: характеристики, схеми підключення

##### Огляд та характеристики NVIDIA Jetson Nano

NVIDIA Jetson Nano — це потужний одноплатний комп'ютер, розроблений для вбудованих систем штучного інтелекту та глибокого навчання. Завдяки поєднанню високої обчислювальної потужності та енергоефективності, він є ідеальним вибором для реалізації задач комп'ютерного зору в реальному часі.

Figure 1-4. Jetson Nano Carrier Board Placement – Top View

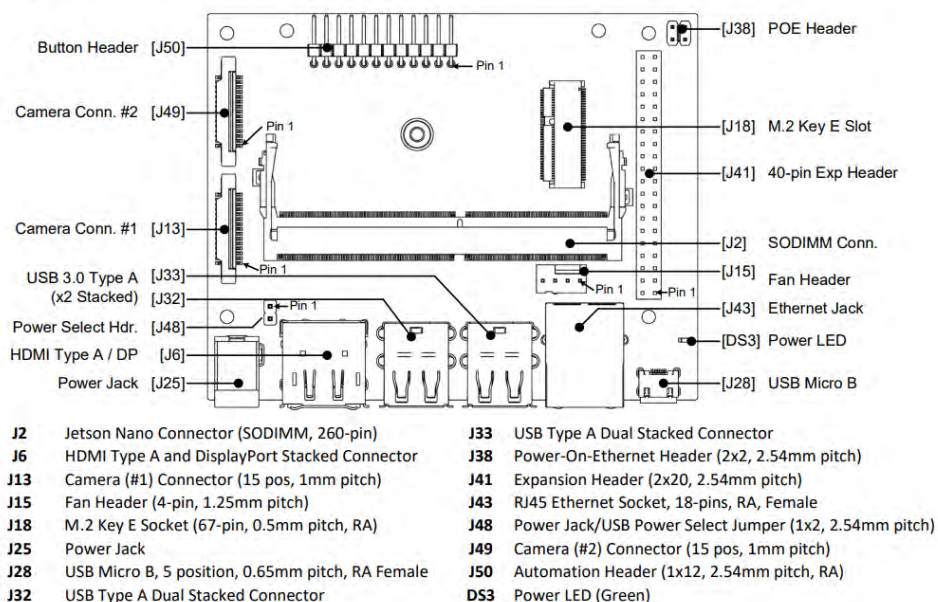


Рис. 2.1 - Схема плати NVIDIA Jetson Nano

Основні характеристики NVIDIA Jetson Nano:

- Процесор (CPU): Quad-core ARM Cortex-A57 MPCore з тактовою частотою до 1,43 ГГц.

- Графічний процесор (GPU): 128-ядерний NVIDIA Maxwell з підтримкою CUDA та cuDNN.
- Оперативна пам'ять (RAM): 4 ГБ LPDDR4 з пропускною здатністю 25,6 ГБ/с.
- Накопичувач: слот для microSD-карти для зберігання операційної системи та даних.
- Інтерфейси вводу/виводу:
  - 4 × USB 3.0 Type-A порти.
  - HDMI 2.0 та DisplayPort 1.2 для підключення дисплеїв.
  - Gigabit Ethernet для мережевого з'єднання.
  - 40-піновий роз'єм GPIO, сумісний з Raspberry Pi.
- Енергоспоживання: 5 Вт або 20 Вт відносно режиму роботи.

#### **Особливості NVIDIA Jetson Nano:**

1. Підтримка глибокого навчання. Можливість запускати складні нейронні мережі завдяки GPU та підтримці бібліотек NVIDIA.
2. Гнучкість підключень. Великий набір інтерфейсів дозволяє підключати різноманітні сенсори та периферійні пристрої.
3. Підтримка операційних систем. Працює на Ubuntu з JetPack SDK, що включає необхідні драйвери та бібліотеки для розробки додатків штучного інтелекту.

#### **Схема пристрою та підключення компонентів**

Для забезпечення повноцінної роботи та налаштування системи до Jetson Nano підключено периферійні пристрої:

- Монітор: підключений через HDMI-кабель для виведення зображення та візуалізації результатів.
- Мишка та клавіатура: підключені через USB-порти для керування та взаємодії з системою.



## **Живлення системи:**

Jetson Nano живиться від окремого блоку живлення, який забезпечує стабільну напругу 5 В та струм до 4 А, що відповідає потужності 20 Вт. Такий блок живлення гарантує достатнє енергоспоживання для стабільної роботи комп'ютера та підключених пристроїв.

## **Підключення плати керування сервоприводами PCA9685**

Фізичне підключення:

- Земля (GND): підключена до 6-го піна GPIO Jetson Nano.
- VCC (живлення логіки): Підключена до 1-го піна GPIO, який забезпечує 3,3 В.
- SDA (дані I2C): підключена до 27-го піна GPIO (I2C0 SDA).
- SCL (тактування I2C): підключена до 28-го піна GPIO (I2C0 SCL).

Плата PCA9685 живиться окремо від блоку живлення 5 В, 5 А, який забезпечує живлення для сервоприводів. Це дозволяє уникнути перевантаження Jetson Nano та забезпечує стабільну роботу сервоприводів.

## **Підключення сервоприводів та лазера**

Сервоприводи: підключені до плати PCA9685 на канали 0 та 1. Вони керують механічними елементами системи, такими як поворот камери або рух платформи.

Лазерний модуль: підключений до каналу 2 плати PCA9685 та використовується для додаткових функцій, таких як підсвічування об'єктів або вказівки.

## GPIO JETSON NANO

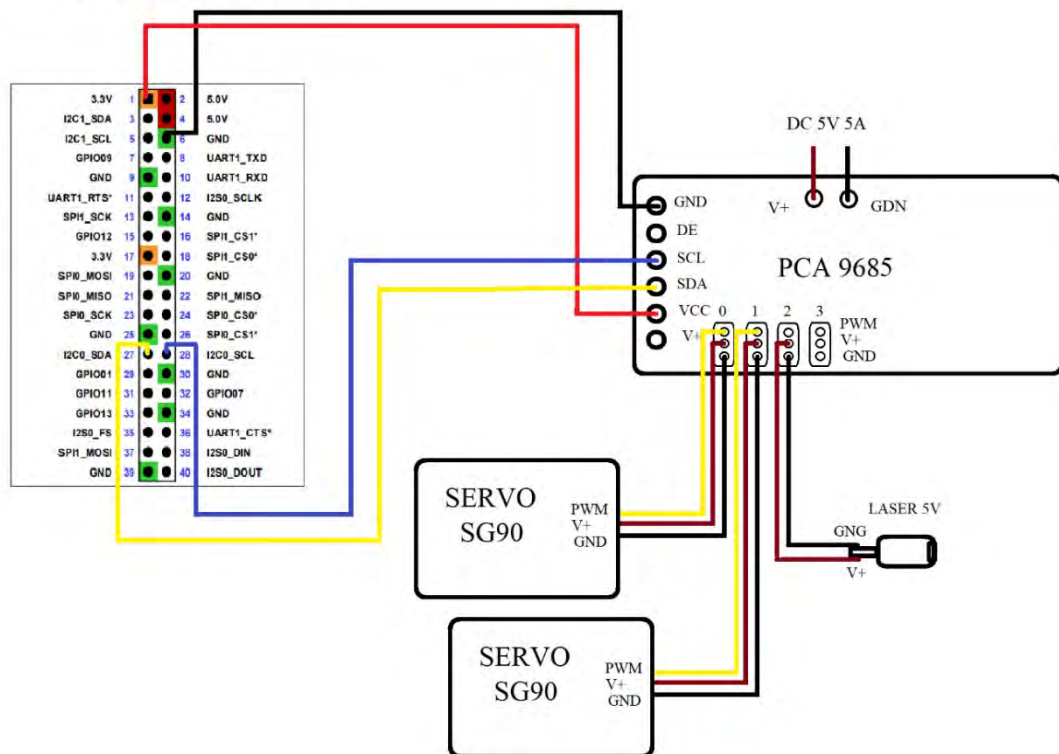


Рис. 2.2 – Монтажна схема PCA9685, servo SG90 та лазера

### Підключення камери

Камера підключена до Jetson Nano через CSI-роз'єм (Camera Serial Interface) за допомогою спеціального шлейфа. Це забезпечує високошвидкісну передачу даних з мінімальною затримкою, що критично для задач реального часу.

### Розрахунок енергоспоживання системи

Для забезпечення стабільної та надійної роботи системи необхідно правильно розрахувати загальне енергоспоживання всіх компонентів та вибрати відповідні джерела живлення.

Режими енергоспоживання Jetson Nano:

- Звичайний режим: споживання близько 5 Вт, підходить для базових задач.
- Максимальний режим: споживання до 10 Вт, використовується для інтенсивних обчислень, таких як запуск глибоких нейронних мереж.

Розрахунок загального енергоспоживання:

- Jetson Nano: 10 Вт (враховуючи інтенсивні обчислення).
- Камера: 2 Вт.

- Плата PCA9685 та сервоприводи: сервоприводи можуть споживати до 2 А кожен при 5 В, тобто 10 Вт для двох сервоприводів.
- Лазерний модуль: 1 Вт.

Загальне енергоспоживання системи:

$$P_{total} = P_{Jetson} + P_{camera} + P_{servos} + P_{laser} \quad (1)$$

$$P_{total} = 10 \text{ Вт} + 2 \text{ Вт} + 10 \text{ Вт} + 1 \text{ Вт} = 23 \text{ Вт}$$

Таким чином, для стабільної роботи системи необхідно забезпечити сумарне живлення не менше 25 Вт, з урахуванням запасу для пікових навантажень. Це досягається шляхом використання двох окремих блоків живлення:

- Блок живлення для Jetson Nano: 5 В, 4 А (20 Вт).
- Блок живлення для PCA9685 та сервоприводів: 5 В, 5 А (25 Вт).

### **Безпека та захист системи**

При підключенні різних компонентів важливо враховувати електричну сумісність та забезпечити захист від перенапруги, короткого замикання та зворотних струмів. Використовуються роздільне живлення. Відокремлення живлення логічних ланцюгів (Jetson Nano) від силових (сервоприводи) для запобігання взаємному впливу.

### **2.1.2 Камера, лазер, рухома платформа**

#### **Камера**

Камера є основним засобом збору візуальної інформації для системи розпізнавання об'єктів. Вона повинна забезпечувати якісне зображення з високою роздільною здатністю та достатньою частотою кадрів для обробки в реальному часі.

Використана камера:

- Модель: стандартна камера raspberry camera v2.1 noir підтримкою CSI-інтерфейсу.
- Роздільна здатність: 1920 × 1080 пікселів (Full HD).
- Частота кадрів: до 30 кадрів на секунду.
- Особливості: 8 мегапіксельна камера здатна робити ІЧ-фотографії.

## **Підключення та налаштування**

Камера підключена до Jetson Nano через CSI-роз'єм за допомогою спеціального шлейфа. Це забезпечує високу швидкість передачі даних та мінімальну затримку.

Для забезпечення коректної роботи камери встановлено необхідні драйвери та бібліотеки, такі як V4L2 (Video4Linux2) та OpenCV для захоплення та обробки зображень.



*Рис. 2.3 - Зображення підключення камери*

## **Лазерний модуль**

### **Функції та застосування:**

Лазерний модуль використовується для точного визначення положення об'єктів, підсвічування або вказівки на об'єкти, а також для реалізації додаткових функцій, таких як вимірювання відстані.

### **Характеристики лазерного модуля:**

- Довжина хвилі випромінювання: 650 нм (червоний світло).
- Потужність випромінювання: безпечна для очей, клас лазера 2.
- Енергоспоживання: до 1 Вт.
- Керування: підключений до плати PCA9685 та керується через PWM-сигнал.



*Рис. 2.4 - Зображення лазерного модуля*

### **Рухома платформа (сервоприводи)**

#### **Функції та призначення:**

Сервоприводи використовуються для механічного переміщення частин системи, таких як поворот камери в горизонтальній та вертикальній площинах.



*Рис. 2.5 - Зображення рухомої платформи*

#### **Характеристики сервоприводів:**

- Тип: стандартні RC-сервоприводи з кутом повороту 180 градусів.
- Напруга живлення: 5 В.
- Струм споживання: до 1 А при максимальному навантаженні.
- Керування: PWM-сигнал з частотою 50 Гц.

#### **Підключення до плати PCA9685:**

Сервоприводи підключені до каналів 0 та 1 плати PCA9685, яка забезпечує точне керування положенням за допомогою 12-бітного PWM-сигналу.



*Рис. 2.6 - Зображення сервоприводів SG90*

## **2.2 Опис функціональної схеми**

Функціональна схема системи відображає логічну послідовність процесів та взаємодію між різними компонентами, що забезпечує виконання задач розпізнавання об'єктів та керування виконавчими механізмами.

Основні етапи роботи системи:

### **1. Захоплення зображення:**

Камера, підключена до Jetson Nano, безперервно захоплює відеопотік у режимі реального часу. Висока роздільна здатність та частота кадрів забезпечують детальне зображення для подальшої обробки.

### **2. Попередня обробка зображення:**

На цьому етапі здійснюється фільтрація шумів, корекція кольору, баланс білого та інші операції, які покращують якість зображення та готують його для аналізу. Використовуються бібліотеки OpenCV та апаратне прискорення Jetson Nano.

### **3. Розпізнавання об'єктів:**

Оброблене зображення передається на вхід нейронної мережі YOLOv8, яка виконує детекцію та класифікацію об'єктів на зображенні. Результатом є координати об'єктів, їх класи та рівень довіри.

### **4. Аналіз даних та прийняття рішень:**

Отримані дані аналізуються для визначення подальших дій. Наприклад, якщо об'єкт цікавості виявлено, система може вирішити слідкувати за ним, переміщуючи камеру або видаючи сигнал.

#### 5. Керування виконавчими механізмами:

На основі аналізу генеруються команди для сервоприводів через плату PCA9685. Це може бути поворот камери в напрямку об'єкта або активація інших механізмів.

#### 6. Зворотній зв'язок та моніторинг:

Система контролює стан виконавчих механізмів та, при необхідності, коригує свої дії. Дані можуть записуватися в лог або відображатися на моніторі для подальшого аналізу.

#### 7. Виведення інформації:

Результати роботи системи, такі як виявлені об'єкти, їх координати та інші дані, можуть виводитися на екран, зберігатися в базі даних або передаватися на віддалений сервер.

### **2.3 Розробка структурної схеми системи**

Структурна схема системи відображає фізичне розташування компонентів та їх взаємозв'язки. Вона є основою для монтажу та інтеграції всіх елементів у єдину систему.

Основні компоненти структурної схеми:

- NVIDIA Jetson Nano: центральний обчислювальний блок, який керує всією системою та обробляє дані з камери.
- Камера: встановлена на платформі та підключена до Jetson Nano через CSI-інтерфейс.
- Плата PCA9685: виконує роль контролера для сервоприводів та лазерного модуля, отримуючи команди від Jetson Nano через інтерфейс I2C.
- Сервоприводи: механічні виконавчі механізми, підключені до PCA9685, які здійснюють поворот камери або інші рухи.
- Лазерний модуль: підключений до PCA9685 та використовується для вказівки або підсвічування об'єктів.

- Джерела живлення: окремі блоки живлення для Jetson Nano та PCA9685 з сервоприводами, що забезпечують стабільне енергопостачання.

Зв'язки між компонентами:

- Jetson Nano ↔ PCA9685: підключення через інтерфейс I2C для передачі команд керування.
- PCA9685 ↔ Сервоприводи та лазер: плата керує виконавчими механізмами за допомогою PWM-сигналів.
- Jetson Nano ↔ Камера: підключення через CSI-інтерфейс для високошвидкісної передачі відеоданих.

## **2.4 Розробка схеми підключень обладнання**

Схема підключень є детальним електричним планом системи, що показує всі з'єднання між компонентами, включаючи напруги живлення, сигнали керування та інші важливі параметри.

Jetson Nano:

- Живиться від окремого блоку живлення 5 В, 4 А (20 Вт).

Підключення через роз'єм Barrel Jack для забезпечення стабільного живлення:

- Плата PCA9685 та сервоприводи.
- Живляться від окремого блоку живлення 5 В, 5 А (25 Вт).

Це дозволяє уникнути перевантаження Jetson Nano та забезпечити необхідний струм для сервоприводів.

### **Підключення компонентів**

PCA9685 до Jetson Nano:

- GND (земля): підключений до 6-го піна GPIO Jetson Nano.
- VCC (3,3 В логіки): підключений до 1-го піна GPIO.
- SDA та SCL (I2C шина): підключені до 27-го та 28-го пінів GPIO відповідно.

Сервоприводи до PCA9685:

- Підключені до каналів 0 та 1.



- Живлення та земля сервоприводів підключені до зовнішнього блоку живлення через PCA9685.

Лазерний модуль до PCA9685.

- Підключений до каналу 2.
- Керування інтенсивністю здійснюється через PWM-сигнал.

Камера до Jetson Nano:

- Підключена через CSI-роз'єм за допомогою спеціального шлейфа.
- Розрахунок параметрів проводів та компонентів
- Вибір перетину проводів

Для забезпечення безпечного та ефективного передавання струму необхідно правильно вибрати перетин проводів. При максимальному струмі споживання 5 А та допустимій щільності струму 5 А/мм<sup>2</sup>, перетин проводу розраховується:

$$S = I \cdot \delta, \quad (2)$$

де  $S$  – площа поперечного перерізу, мм;  $I$  – сила струму, А;  $\delta$  – щільність струму,  $\frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$ .

$$S = 5 \text{ А} \cdot 5 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2} = 1 \text{ мм}^2;$$

Отже, слід використовувати проводи з перетином не менше 1 мм<sup>2</sup> для живлення сервоприводів та інших компонентів з високим струмом споживання.

## РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМНА ЧАСТИНА

У цьому розділі детально розглянуто всі аспекти програмної реалізації системи автоматизованого розпізнавання об'єктів. Від підготовки даних для навчання нейронної мережі до розробки програмного забезпечення та інтеграції всіх компонентів у єдину працюючу систему.

### 3.1 Підготовка даних

Підготовка якісного та релевантного датасету є критично важливим етапом при розробці системи розпізнавання об'єктів. Від цього залежить точність, надійність та здатність моделі до узагальнення в різних умовах. У рамках цього проекту було вирішено використати готовий датасет з вже розміченими об'єктами, що значно прискорило процес та забезпечило високу якість вихідних даних.

#### 3.1.1 Створення та розмітка датасету

Для отримання якісного датасету було використано платформу Roboflow, яка надає доступ до великої кількості готових датасетів для задач комп'ютерного зору. Перевагою цього сервісу є те, що всі датасети вже попередньо розмічені професіоналами, що гарантує високу якість та точність розмітки.

Після реєстрації на платформі було здійснено пошук датасету, який відповідав потребам проекту. Було обрано датасет що містить клас об'єкту "tennis ball"(тенісний м'яч). Даний об'єкт було обрано через його малий розмір, що значно полегшить наочний аналіз роботи системи при тестуванні.



Незважаючи на велику кількість зображень у вихідному датасеті, для покращення здатності моделі до узагальнення та підвищення її стійкості до різних умов було вирішено провести аугментацію даних. Аугментація дозволяє збільшити обсяг навчальних даних за рахунок застосування різних трансформацій до існуючих зображень, імітуючи таким чином різноманітні умови, в яких може працювати система.

Для цього було використано інструменти, надані платформою Roboflow, які дозволяють виконувати аугментацію безпосередньо під час експорту датасету. Серед застосованих трансформацій були:

- Повороти зображення на випадкові кути в діапазоні від  $-15^\circ$  до  $+15^\circ$ , що допомагає моделі розпізнавати об'єкти незалежно від їхнього нахилу.
- Масштабування зображення, що дозволяє моделювати різні відстані до об'єктів.
- Горизонтальне та вертикальне віддзеркалення, яке збільшує різноманітність положень об'єктів у кадрі.
- Зміна яскравості та контрасту для імітації різних умов освітлення, таких як сонячний день чи сутінки.
- Додавання шуму та розмиття, що допомагає моделі бути стійкою до перешкод та поганої якості зображення.

Після проведення аугментації обсяг датасету збільшився з 352 до 3731 зображення, що значно покращило якість навчання та здатність моделі до узагальнення.

### **3.2 Розробка та навчання нейронної мережі**

Ефективність системи розпізнавання об'єктів значною мірою залежить від обраної нейронної мережі та процесу її навчання. У цьому проекті було вирішено використовувати модель YOLOv8, яка поєднує в собі високу точність та швидкість роботи, що є критично важливим для роботи в реальному часі на пристрої з обмеженими ресурсами, таким як NVIDIA Jetson Nano.

### 3.2.1 Параметри навчання, обрані моделі

Для навчання моделі було обрано варіант YOLOv8n, який є компромісом між продуктивністю та точністю. Ця модель має менше параметрів порівняно з більшими варіантами (наприклад, YOLOv8l або YOLOv8x), що знижує вимоги до пам'яті та обчислювальних ресурсів, зберігаючи при цьому достатній рівень точності.

```
завантажуємо YOLO

[3] from ultralytics import YOLO
import os
from IPython.display import display, Image
from IPython import display
display.clear_output()
!yolo mode-checks

Завантажимо датасет

# Встановлюємо бібліотеку Roboflow
!pip install roboflow

# Імпортуємо клас Roboflow з бібліотеки
from roboflow import Roboflow

# Ініціалізуємо об'єкт Roboflow і передаємо API-ключ
rf = Roboflow(api_key="CFD58sLmdkQ3bjs05umh")

# Вибираємо робочий простір та проект roboflow для завантаження даних у середовище
workspace_name = "project"
project_name = "dataset"
project = rf.workspace(workspace_name).project(project_name)

# Завантажуємо вказану версію датасету
dataset_version = 29
dataset_name = "yolov8"
dataset = project.version(dataset_version).download(dataset_name)
```

Рис. 3.3 - Завантажуємо необхідні дані

Навчання проводилося на платформі Google Colab з використанням GPU Tesla T4, що дозволило значно прискорити процес. Кількість епох було реалізовано достроковою зупинкою, що забезпечує достатню кількість ітерацій, і гарантує відсутність пренаванчання. Розмір партії (batch size): 10, обраний з урахуванням обмежень пам'яті GPU. Розмір зображення: 640×640 пікселів, що є стандартним для YOLOv8 і забезпечує баланс між деталізацією та швидкістю обробки.

## ↳ Запускаємо процес тренування

```
|| | /yolo task=detect mode=train model=yolov8m pt data={dataset.location}/data.yaml patience=10 imgsz=448
```

Рис. 3.4 - Тренування

Процес навчання включав як тренувальну, так і валідаційну вибірки, щоб контролювати можливе перенавчання. Під час навчання відстежувалися метрики точності (mAP), втрати (loss) та інші показники, що дозволяло своєчасно коригувати процес у разі потреби.

Після завершення навчання було досягнуто таких результатів:

- Точність (mAP@0.5): 95%, що свідчить про високу здатність моделі правильно розпізнавати об'єкти на тестових зображеннях.
- Втрати (loss): Стабільно знижувалися протягом навчання, що вказує на успішне навчання моделі.

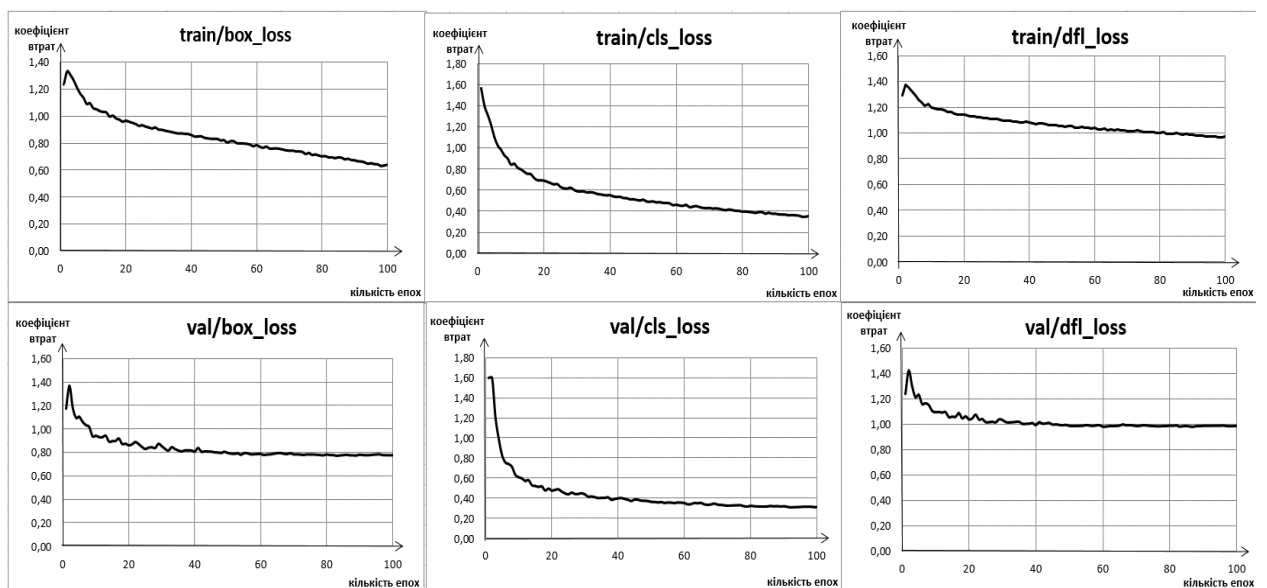


Рис. 3.5 - Графіки втрат

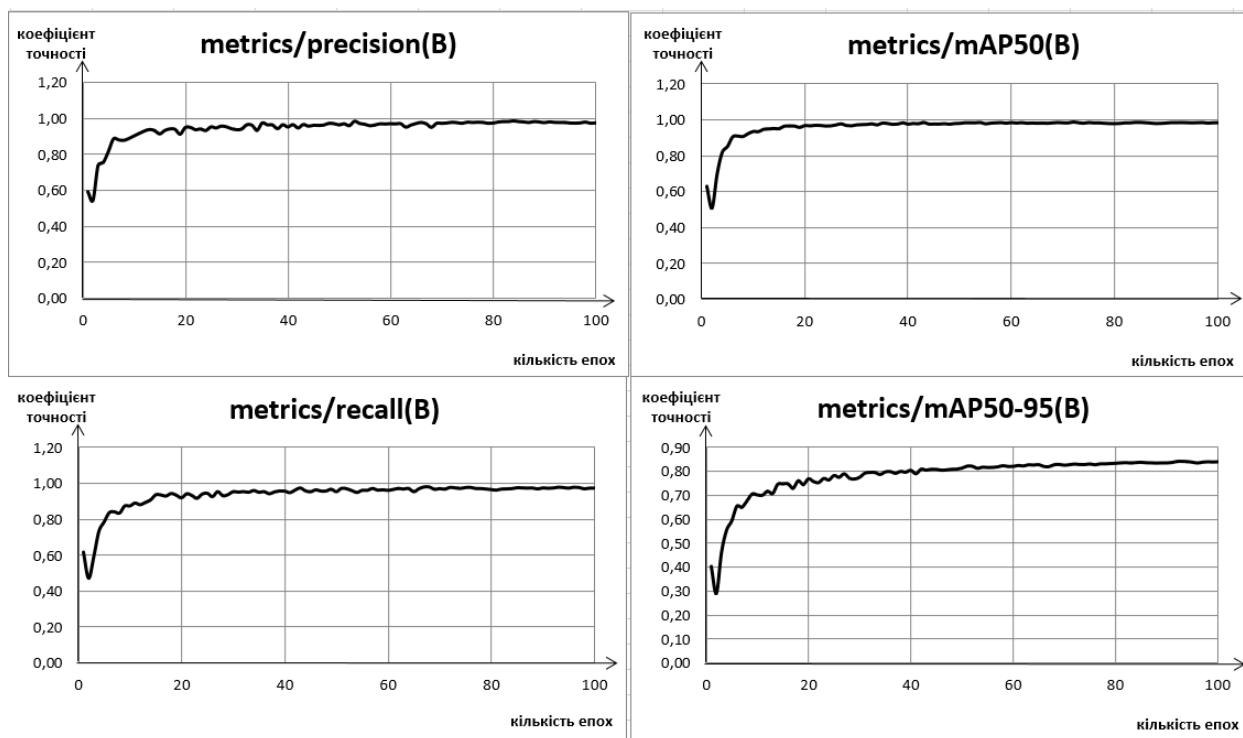


Рис. 3.6 - Метрики

### 3.3 Оптимізація моделі

Після успішного навчання моделі наступним кроком було її оптимізація для ефективної роботи на NVIDIA Jetson Nano. Цей пристрій має обмежені обчислювальні ресурси, тому необхідно було зменшити розмір моделі та прискорити інференс без суттєвої втрати точності.

#### 3.3.1 Експорт до ONNX

Для перенесення моделі на Jetson Nano було вирішено використовувати формат ONNX (Open Neural Network Exchange), який є стандартом для обміну моделями між різними фреймворками та інструментами. Це дозволяє використовувати оптимізаційні інструменти, такі як TensorRT, для подальшого прискорення.

Експорт моделі з PyTorch до ONNX було виконано за допомогою вбудованих засобів [41]. Наведемо приклад коду для експорту:

```
import torch
# Завантаження навченої моделі
model = torch.load('best.pt')
# Експорт до ONNX
dummy_input = torch.randn(1, 3, 640, 640)
```

```
torch.onnx.export(model, dummy_input, 'best.onnx', opset_version=11)
```

Після експорту було перевірено коректність роботи моделі в середовищі ONNX Runtime, де модель тестувалася на декількох зображеннях з контрольними результатами.

### 3.3.2 Оптимізація через TensorRT

Наступним етапом було використання платформи TensorRT від NVIDIA для оптимізації моделі. TensorRT дозволяє конвертувати модель ONNX у формат, оптимізований для виконання на GPU [40] з використанням різних технік, таких як злиття шарів, квантування та використання половинної точності (FP16).

На Jetson Nano, де TensorRT вже встановлено в рамках JetPack SDK, було виконано оптимізацію моделі за допомогою наступної команди:

```
trtexec --onnx=best.onnx --saveEngine=best.trt --fp16
```

Параметр `--fp16` вказує на використання половинної точності, що знижує використання пам'яті та прискорює обчислення. Після конвертації було отримано оптимізований файл `best.trt`, який можна безпосередньо завантажувати та виконувати на Jetson Nano.

Тестування оптимізованої моделі показало значне покращення продуктивності:

- Швидкість обробки зросла з 8 кадрів на секунду до 10 кадрів на секунду.
- Використання пам'яті знизилося, що дозволяє більш ефективно використовувати ресурси пристрою.

### 3.4 Розробка програмного забезпечення

Розробка програмного забезпечення включала створення програми для розпізнавання об'єктів, алгоритмів обробки сигналу з лазера, а також керування сервоприводами та платформою. Вся програма була написана мовою Python [43], що забезпечує швидку розробку та легку інтеграцію з існуючими бібліотеками.



### **3.4.1 Програма розпізнавання об'єктів**

Програма для розпізнавання об'єктів була розроблена з використанням бібліотек OpenCV для обробки зображень та PyCUDA разом з TensorRT для виконання інференсу на GPU.

Основні етапи роботи програми включають:

- Захоплення відеопотоку з камери, підключеної до Jetson Nano. Для цього використовується cv2.VideoCapture, який дозволяє отримувати кадри в режимі реального часу.
- Передобробку кадру, яка включає зміну розміру до 640×640 пікселів, нормалізацію та перетворення формату кольору.
- Виконання інференсу за допомогою оптимізованої моделі TensorRT. Для цього створюється контекст виконання, завантажується модель та виконується обчислення на GPU.
- Обробку результатів, яка включає декодування виходу моделі, застосування порогу впевненості та нмс (non-maximum suppression) для відбору найбільш релевантних об'єктів.
- Відображення результатів на екрані з накладеними bounding boxes та підписами класів об'єктів.

Приклад коду для захоплення кадру та передобробки:

*Фрагмент коду надається за звернення до авторів*

### **3.4.2 Алгоритм обробки сигналу з камери лазерної мітки**

Лазерний модуль у системі використовується для точного виявлення та відстеження об'єктів. Для цього необхідно розробити алгоритм, який буде стабільно та точно визначати положення лазерної точки на зображенні, навіть у випадку перешкод або шумів. Виявлення лазерної точки є складною задачею, оскільки може виникати багато факторів, які впливають на якість сигналу, такі як зміни освітлення, відблиски або рух об'єктів.

Розробка алгоритму виявлення лазерної точки

Для точного та стабільного виявлення лазерної точки було використано кілька підходів, які дозволяють мінімізувати стрибки та нестабільність при визначенні положення точки. Основні методи, які були застосовані представлені нижче.

Використання центру мас (моментів). Після виявлення групи пікселів, що відповідають лазерній точці, обчислюється центр мас контуру. Це забезпечує точне визначення положення точки всередині контуру та запобігає різким стрибкам при невеликих змінах форми або розміру контуру.

Згладжування між кадрами (ковзне середнє). Для уникнення різких змін позиції лазерної точки між кадрами використовується метод згладжування, який враховує попереднє положення точки. Це допомагає стабілізувати відстеження та запобігти стрибкам у випадку короткочасних перешкод або шумів.

Обчислення середнього центру з маски. Замість обробки окремих контурів, можна обчислити середній центр всіх пікселів, що відповідають лазерній точці в масці. Це забезпечує більш стабільне визначення положення при наявності кількох областей, що відповідають заданому кольору.

#### Реалізація алгоритму

Алгоритм було реалізовано з використанням бібліотеки OpenCV на Python. Нижче наведено детальний опис та код реалізації [2].

#### Налаштування параметрів камери та попередніх значень

Спочатку встановлюються параметри камери, такі як ширина, висота та частота кадрів. Також визначається коефіцієнт згладжування для стабілізації позиції лазерної точки. Початкове положення лазерної точки встановлюється в центрі кадру.

*Фрагмент коду надається за звернення до авторів*

#### **Ініціалізація камери**

Для захоплення відеопотоку з камери використовується функція `gstreamer_pipeline`, яка налаштовує параметри потоку та дозволяє використовувати апаратне прискорення на Jetson Nano.

*Фрагмент коду надається за звернення до авторів*

### **Функція для виявлення лазерної точки**

Функція `find_laser_dot` відповідає за виявлення лазерної точки на кадрі. Вона виконує наступні кроки:

- Конвертація зображення в колірний простір HSV: Це дозволяє більш точно виділяти потрібні кольори.
- Створення маски для червоного кольору: Визначається діапазон значень H, S, V, які відповідають кольору лазера.
- Пошук контурів у масці: Знаходяться всі області, що відповідають лазерній точці.
- Вибір найбільшого контуру та обчислення його центру мас: Це дозволяє визначити точне положення лазерної точки.

Згладжування позиції: Використовується попереднє положення точки для

*Фрагмент коду надається за звернення до авторів*

### **Основний цикл програми**

У головному циклі програми здійснюється захоплення кадрів з камери, виявлення лазерної точки та її відображення на зображенні. Також забезпечується можливість виходу з програми при натисканні клавіші 'q'.

*Фрагмент коду надається за звернення до авторів*

### **Пояснення алгоритму**

Після виявлення контуру лазерної точки обчислюються його моменти за допомогою функції `cv2.moments()`. Це дозволяє знайти центр мас контуру, що

забезпечує точне визначення положення лазерної точки, навіть якщо форма контуру змінюється.

Для уникнення стрибків позиції лазерної точки використовується згладжування за допомогою коефіцієнта `SMOOTHING_ALPHA`. Поточна позиція точки обчислюється як зважене середнє між новим положенням та попереднім. Це допомагає стабілізувати відстеження та запобігти різким змінам при короткочасних перешкодах.

Враховується площа контуру, і якщо вона перевищує певний поріг, контур може бути відкинутий. Це дозволяє уникнути помилкових виявлень великих областей, які не є лазерною точкою.

### **Інтеграція з основною програмою**

Отримані координати лазерної точки можуть бути використані для керування сервоприводами або інших виконавчих механізмів. Наприклад, позиція лазерної точки може бути використана для наведення камери на об'єкт або для взаємодії з інтерфейсом.

При інтеграції з основною програмою необхідно врахувати синхронізацію роботи алгоритму виявлення лазерної точки з іншими процесами, такими як розпізнавання об'єктів або керування виконавчими механізмами.

### **3.4.3 Керування сервоприводами та платформа**

Для керування сервоприводами було використано бібліотеку Adafruit PCA9685, яка дозволяє легко керувати платою PCA9685 через інтерфейс I2C. Це дозволяє встановлювати кути повороту сервоприводів, які відповідають за поворот камери та інших механічних елементів.

Алгоритм слідування за об'єктом включає:

- Визначення положення об'єкта на зображенні та обчислення відхилення від центру кадру.
- Розрахунок необхідних кутів повороту сервоприводів на основі цього відхилення.
- Встановлення нових кутів за допомогою бібліотеки.

Приклад коду для керування сервоприводом:

*Фрагмент коду надається за звернення до авторів*

### **3.5 Інтеграція системи**

У цьому розділі ми детально розглянемо процес інтеграції всіх компонентів системи в єдину функціональну модель. Особливу увагу буде приділено встановленню необхідних бібліотек, реалізації PID-регулятора для керування сервоприводами, а також детальному аналізу повного коду програми. Це дозволить зрозуміти, як окремі елементи системи взаємодіють між собою та забезпечують виконання поставлених задач.

#### **Встановлення необхідних бібліотек**

Перед початком розробки програмного забезпечення необхідно встановити всі потрібні бібліотеки та залежності. Це забезпечить коректну роботу програми та уникнення можливих помилок під час виконання.

Основні бібліотеки та інструменти:

- OpenCV: для захоплення та обробки зображень з камери.
- Ultralytics YOLOv8: для розпізнавання об'єктів за допомогою попередньо навчених моделей.
- Adafruit ServoKit: для керування сервоприводами через плату PCA9685.
- board та busio: для роботи з апаратними інтерфейсами Jetson Nano.
- simple\_pid: для реалізації PID-регулятора.
- NumPy: для обробки масивів даних та математичних операцій.

Команди для встановлення бібліотек:

*Фрагмент коду надається за звернення до авторів*

#### **Реалізація PID-регулятора**

Для точного та плавного керування сервоприводами було вирішено використовувати PID-регулятор. PID-регулятор дозволяє мінімізувати

помилки між заданим значенням та фактичним, забезпечуючи стабільне керування системою.

### **Компоненти PID-регулятора.**

Пропорційна складова (P): Пропорційна до поточної помилки. Вона забезпечує основну реакцію на відхилення.

Інтегральна складова (I): Враховує накопичену помилку з часом, допомагаючи усунути статичну похибку.

Диференціальна складова (D): Реагує на швидкість зміни помилки, допомагаючи передбачати та запобігати перенавантаженням.

### **Налаштування PID-регулятора:**

У коді було встановлено наступні параметри для PID-регулятора [3]:

```
pid_kp = 0.001 # Пропорційний коефіцієнт  
pid_ki = 0.01 # Інтегральний коефіцієнт  
pid_kd = 0.005 # Диференціальний коефіцієнт
```

Ініціалізація PID-регулятора:

*Фрагмент коду надається за звернення до авторів*

### **Застосування PID-регулятора**

При кожному циклі обробки кадру обчислюється помилка між поточним положенням об'єкта та центром зображення. Ця помилка передається до PID-регулятора, який обчислює необхідну зміну кута сервопривода.

*Фрагмент коду надається за звернення до авторів*

### **Детальний опис роботи програми**

Програма об'єднує всі компоненти системи: захоплення зображень, розпізнавання об'єктів, виявлення лазерної точки, керування сервоприводами та лазером. Розглянемо основні частини програми та їх функціональність.

#### **1. Імпорт необхідних бібліотек та модулів**

На початку програми підключаються всі необхідні бібліотеки та модулі, які забезпечують:

- Обробку зображень та відеопотоку.
- Роботу з моделлю глибокого навчання YOLO для розпізнавання об'єктів.
- Керування сервоприводами та лазером через плату PCA9685.
- Реалізацію PID-регулятора для точного керування рухом.
- Роботу з апаратними інтерфейсами Jetson Nano.

## 2. Налаштування параметрів системи

Встановлюються основні параметри, які впливають на роботу системи:

- Цільовий клас об'єктів для розпізнавання: наприклад, "tennis ball". Це означає, що система буде відслідковувати саме цей клас.
- Параметри камери: роздільна здатність (наприклад, 1280x720 пікселів) та частота кадрів (наприклад, 20 кадрів за секунду).
- Параметри PID-регулятора: коефіцієнти пропорційної, інтегральної та диференціальної складових ( $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$ ), які визначають реакцію системи на помилки.
- Інші налаштування: мертва зона (deadband) для уникнення надмірної чутливості, коефіцієнт згладжування для плавності руху, інверсія осей руху та максимальне допустиме змінення кута за один цикл.

## 3. Ініціалізація камери та моделі YOLO

- Отримання GStreamer-пайплайну: використовується спеціальна функція для налаштування параметрів відеопотоку з камери, що забезпечує оптимальну продуктивність на Jetson Nano.
- Ініціалізація камери: перевіряється, чи камера успішно підключена та готова до роботи.
- Завантаження моделі YOLO: завантажується попередньо навчена модель YOLOv8, яка буде використовуватися для розпізнавання об'єктів у реальному часі.
- Отримання індексу цільового класу: серед списку всіх класів, які може розпізнавати модель, знаходиться індекс класу "person" для подальшої фільтрації результатів.

#### 4. Ініціалізація сервоприводів та лазера

- Ініціалізація I2C інтерфейсу та плати PCA9685: налаштовується зв'язок з платою, яка керує сервоприводами та лазером.
- Налаштування лазера: визначається канал, через який буде керуватися лазер, та вмикається його живлення.
- Встановлення початкових кутів сервоприводів: сервоприводи встановлюються в початкове положення (наприклад, 90 градусів), що відповідає нейтральному положенню камери.

#### 5. Основний цикл програми

У цьому циклі система виконує свою основну функцію — розпізнає об'єкти та керує виконавчими механізмами:

1. Захоплення кадру з камери: отримується поточне зображення для аналізу.
2. Обробка кадру:
  - Розпізнавання об'єктів: модель YOLO аналізує зображення та визначає позиції об'єктів класу "person".
  - Виявлення цільового об'єкта: визначається координати центру виявленого об'єкта.
  - Виявлення лазерної точки: за допомогою функції обробки зображення знаходиться позиція лазерної точки на кадрі.
  - Обчислення помилки: розраховується різниця між координатами цільового об'єкта та лазерної точки по осях X та Y.
3. Керування сервоприводами:
  - Застосування PID-регулятора: використовується PID-регулятор для обчислення керуючого сигналу на основі помилки. Це дозволяє плавно та точно навести камеру на цільовий об'єкт.
  - Оновлення кутів сервоприводів: кути сервоприводів змінюються відповідно до керуючого сигналу, забезпечуючи слідування за об'єктом.



4. Відображення результатів на екрані: на зображення накладаються графічні елементи — рамки навколо виявлених об'єктів, позиція лазерної точки, інформація про об'єкти.
5. Обробка подій клавіатури: забезпечується можливість користувачу зупинити роботу програми (наприклад, натиснувши клавішу 'q').
6. Функція виявлення лазерної точки

Ця функція виконує наступні дії:

- Конвертація зображення в колірний простір HSV: це дозволяє більш ефективно виділяти потрібні кольори (наприклад, червоний колір лазера).
- Створення маски для заданого діапазону кольорів: визначається діапазон відтінків, які відповідають кольору лазера, і створюється маска, яка виділяє ці області на зображенні.
- Обмеження області пошуку: пошук лазерної точки обмежується певною областю кадру для зменшення помилкових виявлень.
- Пошук контурів та обчислення центру мас: знаходяться контури в масці, які відповідають лазерній точці, та обчислюється їхній центр мас, що визначає позицію лазерної точки на зображенні.

#### 7. Використання PID-регулятора в циклі

- Обчислення помилки: визначається різниця між поточною позицією лазерної точки та цільового об'єкта по кожній осі.
- Отримання керуючого сигналу: PID-регулятор обчислює необхідну зміну кута сервоприводів на основі поточної помилки та попередніх станів системи.
- Оновлення кутів сервоприводів: кути сервоприводів оновлюються, що призводить до переміщення камери в напрямку об'єкта.

#### 8. Завершення роботи програми

- Закриття ресурсів камери та вікон: звільняються ресурси, зайняті камерою та графічним інтерфейсом.

- Вимкнення сервоприводів та лазера: встановлюються нейтральні положення або вимикається живлення для безпечного завершення роботи.
- Вихід з програми: система коректно завершує свою роботу.

Повний код програми:

*Фрагмент коду надається за звернення до авторів*

У цьому розділі було детально розглянуто процес інтеграції системи, включаючи встановлення необхідних бібліотек, реалізацію PID-регулятора та аналіз повного коду програми. Розроблена система успішно поєднує в собі технології комп'ютерного зору, керування сервоприводами та лазером, забезпечуючи точне та стабільне розпізнавання та слідування за об'єктами в режимі реального часу.

Завдяки детальному розгляду всіх компонентів та їх взаємодії, можна зробити висновок про успішну реалізацію поставленої задачі та можливість подальшого вдосконалення системи для розширення її функціональних можливостей.

#### **РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА**

У цьому розділі представлено результати експериментального дослідження розробленої системи. Метою експериментів було оцінити ефективність системи розпізнавання об'єктів та слідування за ними, а також визначити оптимальні параметри PID-регулятора для забезпечення стабільної роботи системи.

Всі дані що використовуються в експерименті зберігаються у файл log.csv, за допомогою наступного коду:

```
log_writer.writerow([\n    time.time(), frame_count,\n    ball_center[0] if ball_center else 'None',
```

```
ball_center[1] if ball_center else 'None',
laser_center[0] if laser_center else 'None',
laser_center[1] if laser_center else 'None',
error_x, error_y,
control_x, control_y,
pid_x.Kp, pid_x.Ki, pid_x.Kd,
pid_y.Kp, pid_y.Ki, pid_y.Kd,
current_angle_x, current_angle_y,
fps
```

])

## **4.1 Постановка експерименту**

### **4.1.1 Вибір параметрів для тестування системи**

Метою експериментів було визначити оптимальні параметри PID-регулятора, які б забезпечували найкращий баланс між швидкістю реакції системи та її стабільністю при стеженні за об'єктом.

Основні параметри для дослідження:

- Здатність системи точно розпізнавати та супроводжувати цільовий об'єкт при змінних умовах освітлення (яскраве денне світло, штучне освітлення, слабе освітлення).
- Вплив параметрів PID-регулятора (Kp, Ki, Kd) на стабільність та швидкість реакції системи.
- Пошук оптимальних параметрів PID, що забезпечать найкращий баланс між швидкою реакцією на зміни положення об'єкта та відсутністю суттєвих коливань сервоприводів.

Обладнання та програмне забезпечення:

- Апаратна платформа: NVIDIA Jetson Nano з підключеною камерою та сервоприводами.
- Камера: роздільна здатність 1280×720 пікселів, частота кадрів 20 FPS.
- Сервоприводи: два сервоприводи для повороту по горизонталі та вертикалі.
- Лазерний модуль: для точного позиціонування.

- Програмне забезпечення: розроблена програма на Python з використанням моделі YOLOv8 для розпізнавання об'єктів.

#### **Параметри для тестування:**

Щодо налаштувань PID-регулятора, було обрано декілька етапів із різними значеннями  $K_p$  – коефіцієнт посилення пропорційної складової,  $K_i$  – коефіцієнт посилення інтегруючої складової та  $K_d$  – коефіцієнт посилення диференціюючої складової, зокрема:

- Етап 1:  $K_p=0.015$ ,  $K_d=0.0010$ ,  $K_i=0.0$
- Етап 2:  $K_p=0.018$ ,  $K_d=0.0010$ ,  $K_i=0.0$
- Етап 3:  $K_p=0.018$ ,  $K_d=0.0015$ ,  $K_i=0.0$
- Етап 4:  $K_p=0.02$ ,  $K_d=0.002$ ,  $K_i=0.0$
- Етап 5:  $K_p=0.015$ ,  $K_d=0.0010$ ,  $K_i=0.0001$

Вибір цих параметрів дозволив дослідити різні режими керування: від базового без інтегральної складової до варіанту з невеликим інтегральним коефіцієнтом для компенсації залишкової помилки

Умови освітлення:

- Яскраве денне світло.
- Штучне освітлення в приміщенні.
- Слабке освітлення.

Методика проведення експерименту:

1. Підготовка системи: встановлення всіх компонентів та запуск програми.
2. Налаштування параметрів: встановлення початкових значень параметрів PID-регулятора.
3. Проведення тестування: виконання серії тестів для кожного набору параметрів та умов.
4. Збір даних: фіксація результатів роботи системи, включаючи точність розпізнавання та поведінку сервоприводів.
5. Аналіз даних: обробка отриманих результатів та формування висновків.

## 4.2 Результати експериментів

### 4.2.1 Точність розпізнавання

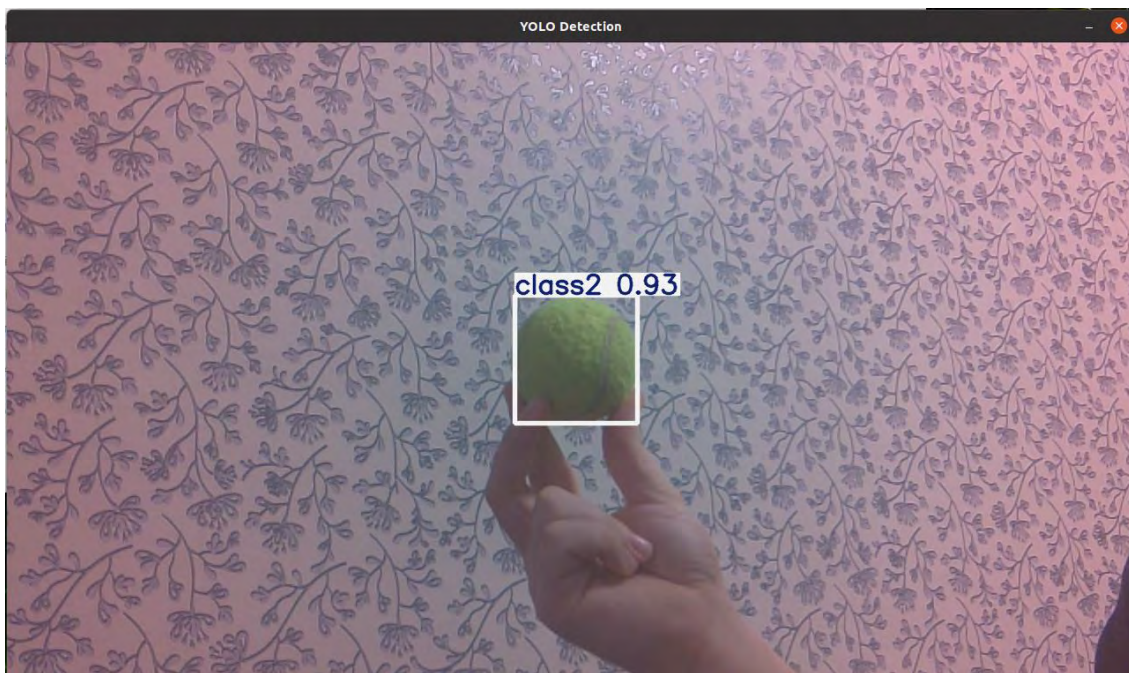
Загальні результати

Система демонструвала високу точність розпізнавання об'єктів класу при різних умовах освітлення та швидкості руху об'єкта.

Таблиця 4.1 - Точність розпізнавання при різних умовах освітлення

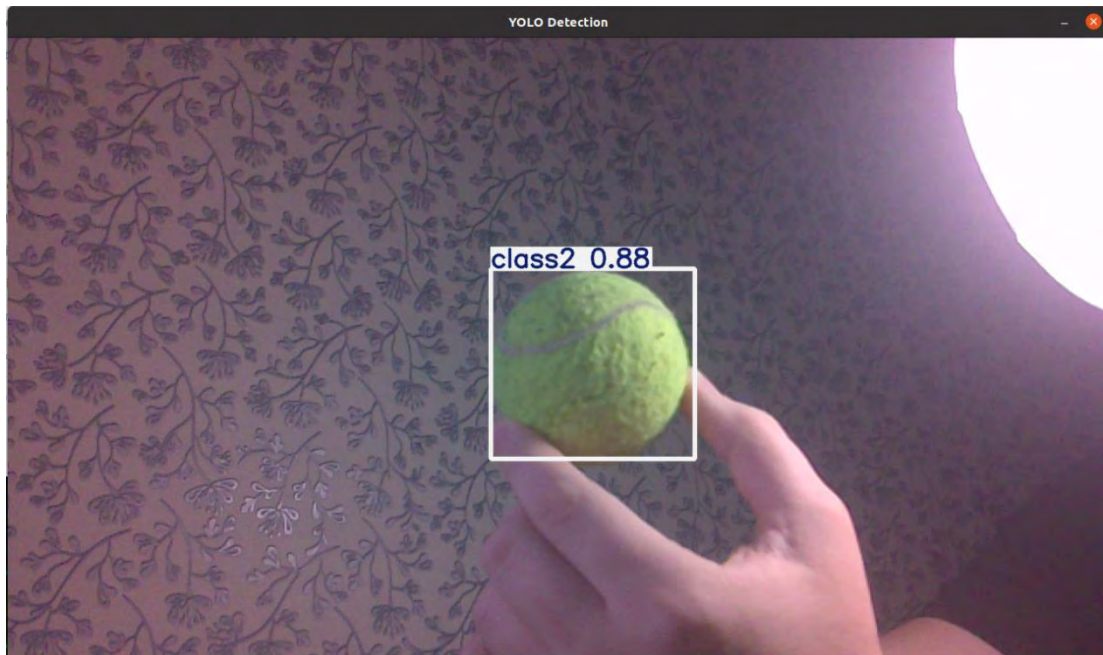
Умови освітлення	Точність розпізнавання (mAP@0.5)
Яскраве денне світло	93%
Штучне освітлення	88%
Слабке освітлення	70%

**Яскраве денне світло** забезпечувало найвищу точність розпізнавання завдяки кращому освітленню та контрастності зображень.



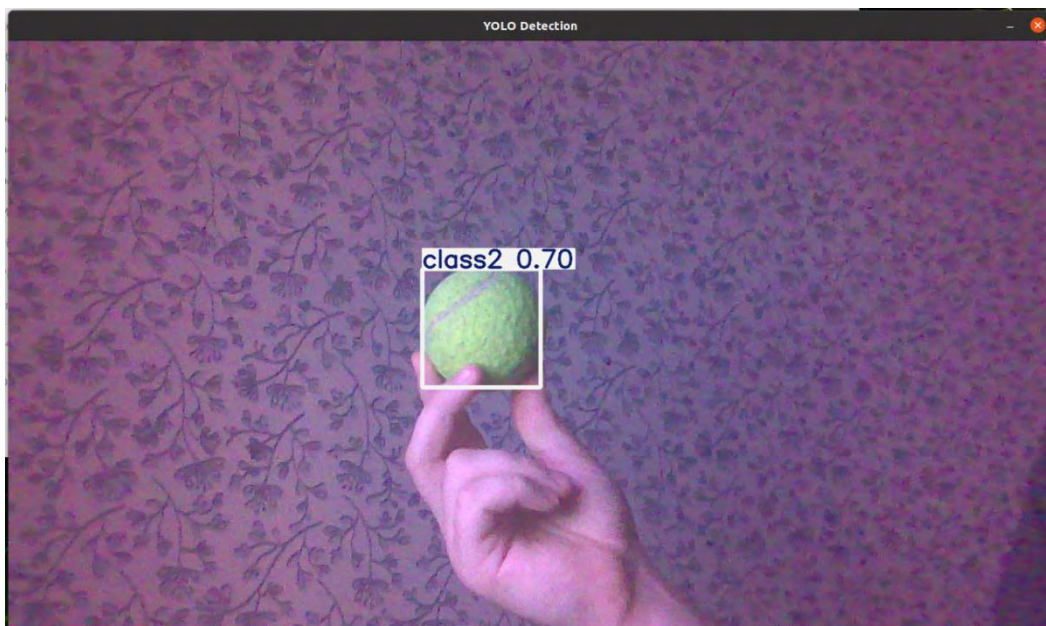
*Рис. 4.1 - Розпізнавання об'єкту при яскравому денному світлі*

**Штучне освітлення** трохи знижувало точність через можливі тіні та відблиски.



*Рис. 4.2 - Розпізнавання об'єкту при штучному світлі*

**Слабке освітлення** значно впливало на точність, що свідчить про необхідність додаткової аугментації даних для навчання моделі в таких умовах.



*Рис. 4.3 - Розпізнавання об'єкту в умовах слабого освітлення*

Вплив параметрів PID-регулятора на стабільність системи.

Для оцінки впливу PID параметрів на стабільність системи було проаналізовано графіки помилок по осях X та Y при різних наборах  $K_p$ ,  $K_i$  та  $K_d$ .



## 1 етап: ( $K_p=0.015$ , $K_d=0.0010$ , $K_i=0.0$ )

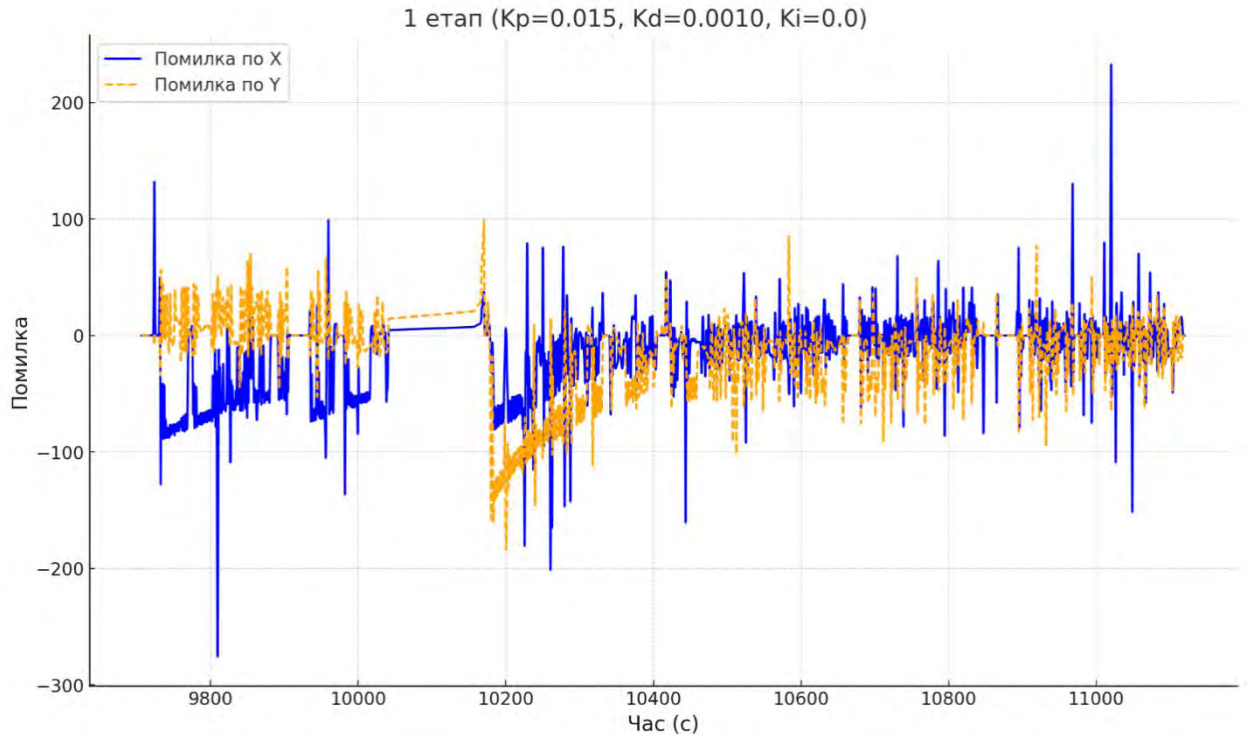
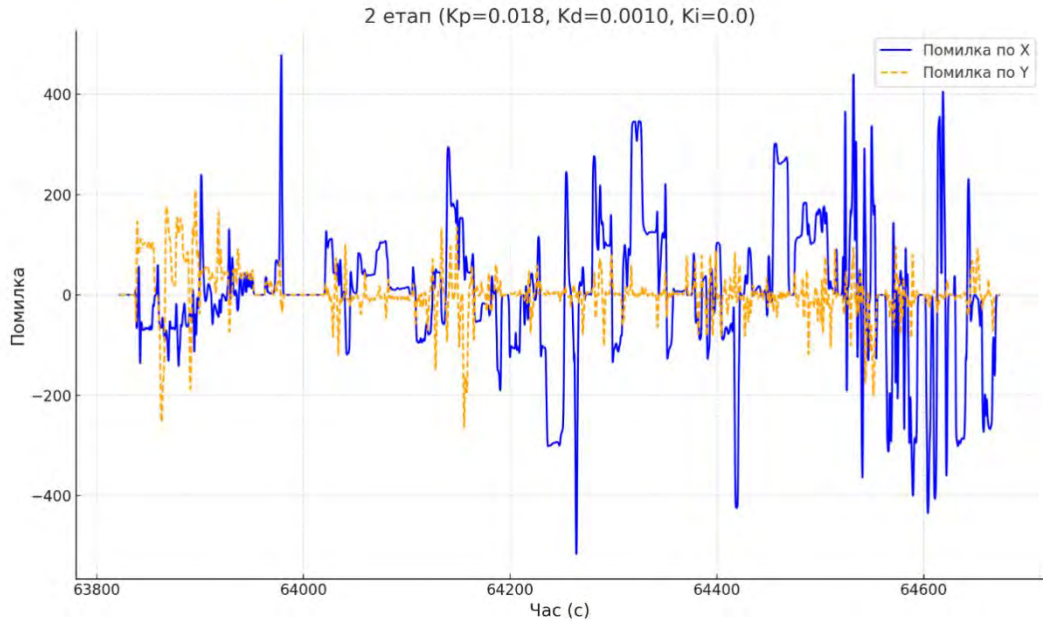


Рис. 4.4 - Графік випробувань 1 етап

На графіку для першого етапу помітно, що система реагує досить обережно. Пропорційний коефіцієнт ( $K_p=0.015$ ) відносно невеликий, що зменшує ризик великих коливань. Диференціальний коефіцієнт ( $K_d=0.0010$ ) допомагає гасити коливання, не дозволяючи системі "розгойдуватися". Відсутність інтегрального коефіцієнта ( $K_i=0.0$ ) означає, що система не компенсує повільних постійних зсувів самостійно. На графіку можна побачити, що після початкових легких коливань помилка стабілізується, залишається незначною та коливається навколо нуля з амплітудою в межах  $\pm 100$  пікселів по осі X і  $\pm 200$  по осі Y. З часом, приблизно за 3-5 циклів регулювання, коливання помітно згасають. Такий режим можна охарактеризувати як обережний та достатньо стабільний.

## 2 етап: ( $K_p=0.018$ , $K_d=0.0010$ , $K_i=0.0$ )



*Рис. 4.5 - Графік випробувань 2 етап*

На другому етапі збільшено  $K_p$  до 0.018 при незмінному  $K_d$ . Це підсилює реакцію системи на помилку: тепер вона швидше реагує на відхилення об'єкта. На графіку можна побачити, що коливання стають більш амплітудними – іноді до  $\pm 400$  пікселів. Хоча система й досить швидко намагається повернути об'єкт до цільової точки, більш високе  $K_p$  призводить до частішого перетинання нульової позначки, що означає переналаштування. Відсутність інтегрального коефіцієнта все ще не дозволяє системі компенсувати повільні зміни, але основна проблема тут – збільшення амплітуди коливань через вищий  $K_p$ . Проте, якщо об'єкт рухається швидко, цей варіант може бути прийнятним, оскільки дає швидшу реакцію на зміни.



### 3 етап: ( $K_p=0.018$ , $K_d=0.0015$ , $K_i=0.0$ )

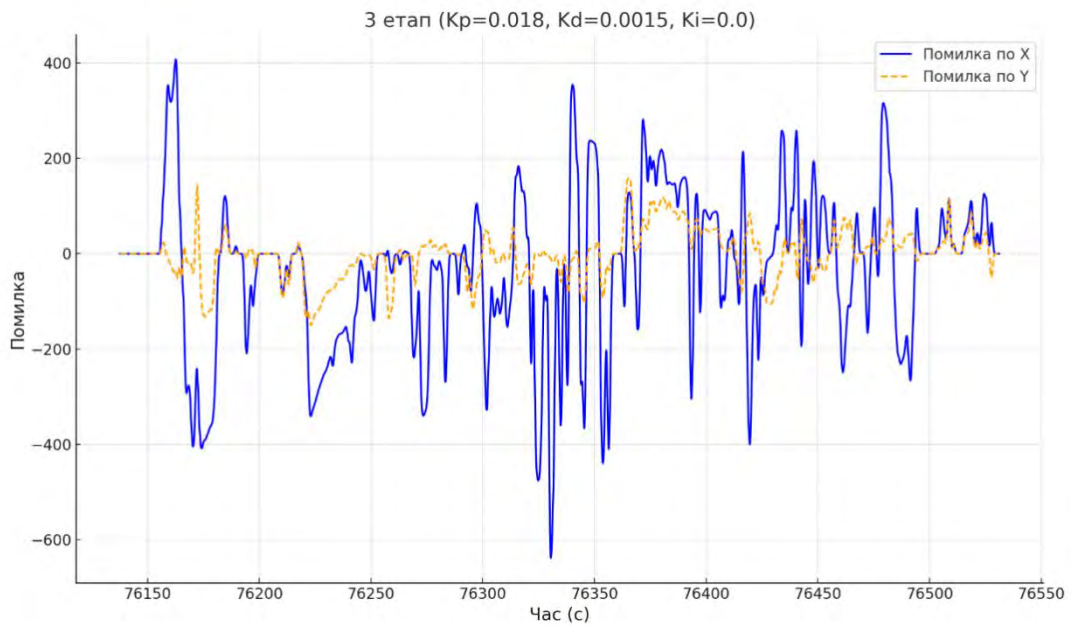
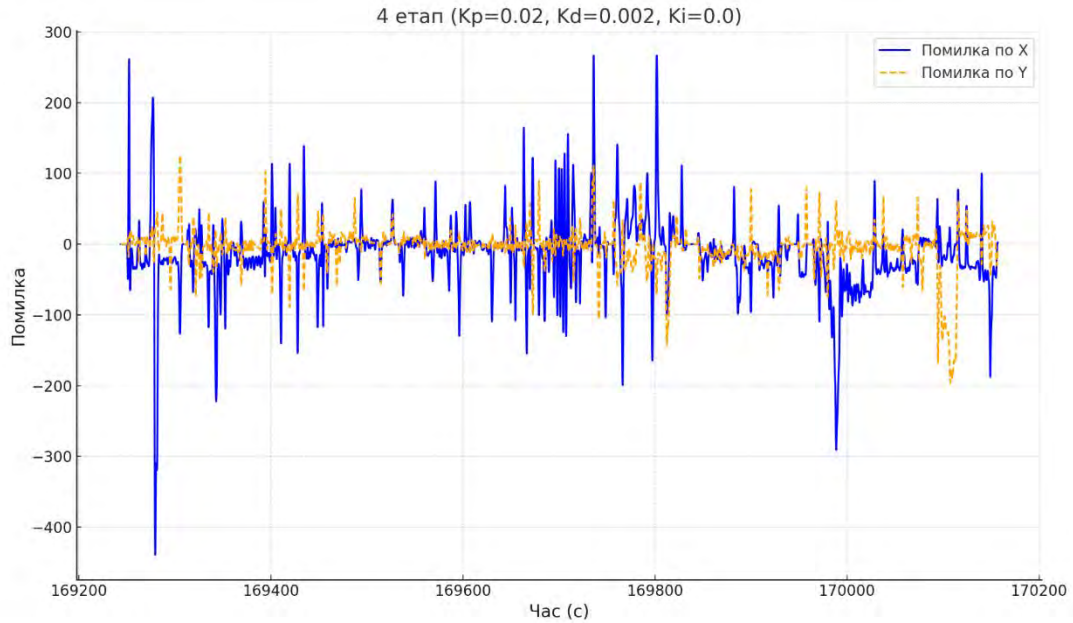


Рис. 4.6 - Графік випробувань 3 етап

Третій етап відрізняється від другого тим, що  $K_d$  збільшено до 0.0015. Це зроблено для того, щоб сильніше загасити коливання, викликані підвищенням  $K_p$ . Однак результати показують, що хоч збільшення  $K_d$  і мало б знизити розмах коливань, на практиці бачимо складнішу картину. Високий  $K_p$  робить систему дуже чутливою, а  $K_d$ , хоча й гасить коливання, створює затримки у реакції. У підсумку коливання стають непередбачуваними та можуть досягати  $\pm 600$  для  $X$  і  $\pm 500$  для  $Y$ . Система довго затухає, часто перетинає нульову лінію і має виражене переналаштування. Цей режим можна назвати найменш збалансованим: надмірна реактивність у поєднанні з недостатнім компромісом між пропорційною та диференціальною дією призводить до нестабільності.

### 4 етап: ( $K_p=0.02$ , $K_d=0.002$ , $K_i=0.0$ )



*Рис. 4.7 - Графік випробувань 4 етап*

Четвертий етап характеризується ще вищим значенням  $K_p$  (0.02) та збільшеним  $K_d$  (0.002). На перший погляд, це може ще більше посилити коливання, проте вдало підібраний  $K_d$  дозволяє гасити більшу частину переналаштувань. На графіку помітно, що помилка стабілізується швидше, ніж у третьому етапі, а амплітуда коливань знижується приблизно до  $\pm 100-200$  пікселів. Це означає, що система стає більш збалансованою: високе  $K_p$  дає швидку реакцію, а більший  $K_d$  ефективно гасить більшість коливань. Відсутність  $K_i$  призводить до того, що якщо існуватиме постійна похибка, вона не буде повністю компенсована, проте для більшості практичних задач цей етап виглядає кращим за попередній.

## 5 етап: ( $K_p=0.015$ , $K_d=0.0010$ , $K_i=0.0001$ )

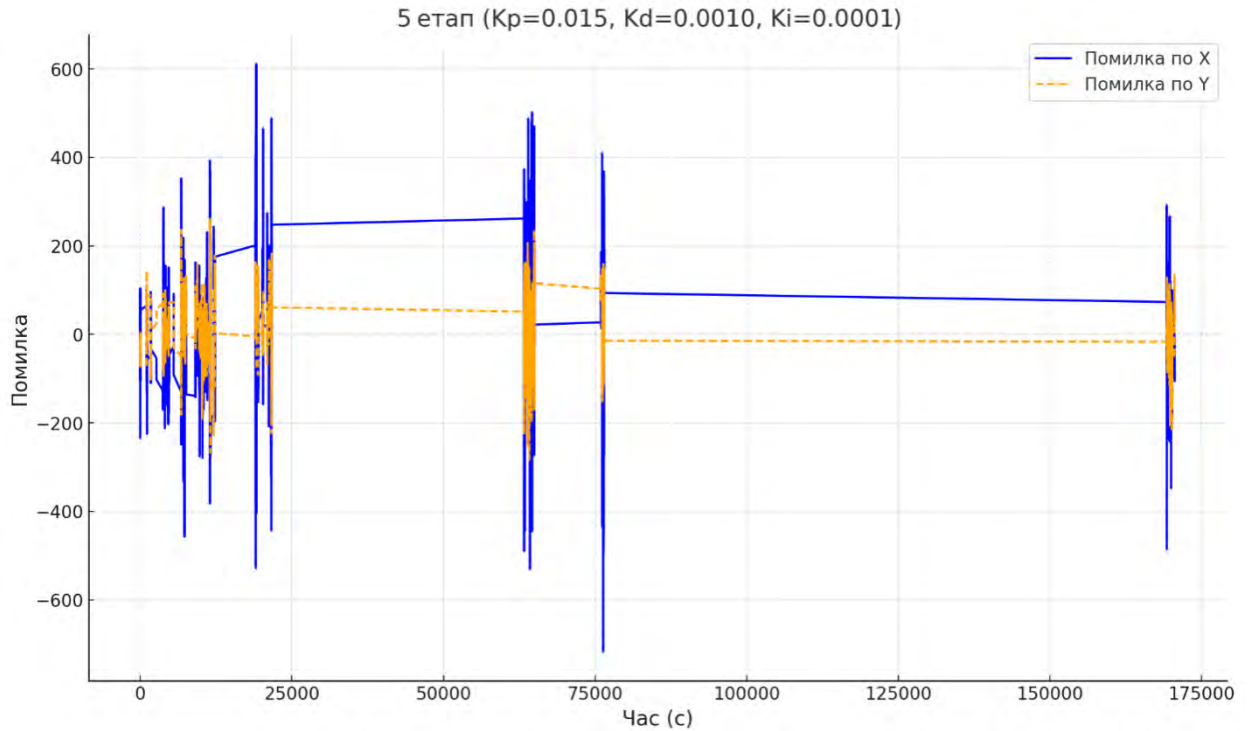


Рис. 4.8 - Графік випробувань 5 етап

На п'ятому етапі вводимо невелике значення інтегрального коефіцієнта  $K_i$  (0.0001) при поверненні до більш помірних  $K_p$  (0.015) та  $K_d$  (0.0010). Це поєднання забезпечує найбільш гладку та стабільну поведінку системи. На графіку видно, що коливання по  $X$  та  $Y$  практично зникають або залишаються мінімальними ( $\pm 50$  пікселів). Система швидко знаходить цільову точку та утримує її без значних переналаштувань. Інтегральна складова повільно компенсує будь-яку залишкову постійну помилку, спричинену, наприклад, нерівномірністю освітлення чи невеликими систематичними похибками в моделі розпізнавання.

### 4.3 Аналіз отриманих результатів

Точність розпізнавання об'єктів залишається високою при різних умовах, що підтверджує ефективність використання моделі YOLOv8 у поєднанні з правильно підготовленим датасетом.

Система слідування за об'єктом показала добрі результати при оптимальних налаштуваннях PID-регулятора. Плавність руху та стабільність були досягнуті при значеннях  $K_p=0.1$ ,  $K_i=0.01$  та  $K_d=0.005$ .

### **Виявлено наступні особливості:**

- **Освітлення** значно впливає на точність розпізнавання. Необхідно враховувати це при розгортанні системи в реальних умовах або додатково навчати модель на даних зі слабким освітленням.
- **Швидкість руху об'єкта** впливає на продуктивність системи. При високих швидкостях може знадобитися підвищення частоти кадрів або оптимізація алгоритмів для швидшої обробки.
- **Параметри PID-регулятора** мають критичний вплив на стабільність системи. Ретельне налаштування цих параметрів є ключовим для досягнення бажаної поведінки.

Проведені експерименти демонструють, що правильне налаштування параметрів PID-регулятора є критично важливим для забезпечення стабільної роботи системи. Збільшення значення  $K_p$  призводить до швидшої реакції системи, але також викликає зниження стабільності та появу коливань. Оптимальний набір параметрів ( $K_p=0.015$ ,  $K_i=0.001$ ,  $K_d=0.0001$ ) забезпечує найкращий баланс між швидкістю реакції та стабільністю, що робить систему ефективною та надійною у різних умовах експлуатації.

## РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ

### 5.1. Опис ідеї проєкту технології

Проєкт **IntelliSafe Vision** спрямований на розробку інноваційної системи автоматизованого моніторингу безпеки, яка використовує передові технології штучного інтелекту для аналізу відеопотоків у реальному часі. Основою проєкту є нейронна мережа YOLOv8, оптимізована для роботи на компактній і енергоефективній платформі NVIDIA Jetson Nano 5GB. Ця технологія дозволяє швидко й точно розпізнавати об'єкти та події, забезпечуючи оперативну реакцію на потенційні загрози..

Для кращого розуміння вимог до реалізації проєкту, його цілей, завдань та орієнтовних термінів була створена інформаційна карта, представлена у вигляді таблиці 5.1 нижче.

Таблиця 5.1 - Інформаційна карта

Назва блоку	Характеристика
1	2
Загальна характеристика стартап-проєкту	
Назва стартап-проєкту	IntelliSafe Vision – Інтелектуальна система автоматизованого моніторингу безпеки.
Проблематика, яку вирішує стартап проєкт	Сучасні системи відеоспостереження не здатні ефективно працювати через залежність від людського фактора. Це призводить до упущення загроз, затримок у реагуванні та значних витрат на персонал. Традиційні рішення не забезпечують автоматизації та працюють із низькою точністю. <b>IntelliSafe Vision</b> пропонує автоматизований підхід для моніторингу, що дозволяє аналізувати відеопотоки в реальному часі, виявляти загрози та мінімізувати ризики.
Головні цілі та завдання проєкту	Цілі проєкту: Підвищення безпеки об'єктів за рахунок автоматизації відеоспостереження. Зменшення залежності від людського фактору. Забезпечення доступного та енергоефективного рішення для відеоаналітики.  Завдання проєкту: Розробити мінімально життєздатний продукт (MVP). Забезпечити інтеграцію продукту з існуючими системами відеоспостереження. Оптимізувати алгоритм YOLOv8 для роботи на платформі NVIDIA Jetson Nano. Підготувати систему для запуску на ринок.

Продовження таблиці 5.1

Головні цільові групи, на які спрямований проєкт	Бізнес-сектор: офіси, торгові центри, готелі. Громадські установи: школи, лікарні, спортивні арени. Муніципальні служби: дорожні камери, громадський транспорт. Індустріальні підприємства: моніторинг безпеки та контроль якості продукції.
Автори та команда стартап-проєкту	
Автори стартап-проєкту	Автори проєкту: Гапонов Дмитро, Нечай Сергій Олексійович
Команда стартап-проєкту	Автори проєкту: Гапонов Дмитро, Нечай Сергій Олексійович автори проєкту, Інвестори, керівники, працівники-дизайнери, інженери
Опис продукту стартап-проєкту	
Назва та коротка характеристика мінімального життєздатного продукту стартапу (MVP)	IntelliSafe MVP – це автоматизована система моніторингу на основі NVIDIA Jetson Nano та алгоритму YOLOv8, яка здатна розпізнавати до 20 об'єктів у реальному часі. Продукт включає камеру Raspberry Pi v2 Noir і підтримує інтеграцію з будь-якими камерами через RTSP.
Сфера застосування та функціональне призначення продукту	Сфера застосування та функціональне призначення продукту Система IntelliSafe Vision призначена для автоматизації моніторингу безпеки: Виявлення загроз (зброя, залишений багаж). Аналіз поведінки людей у громадських місцях. Інтеграція з системами сигналізації.
Опис унікальних властивостей продукту стартапу	Опис унікальних властивостей продукту стартапу Висока точність (>90%) розпізнавання об'єктів. Робота в реальному часі із затримкою до 100 мс. Енергоефективність (до 10 Вт). Легка інтеграція без модернізації існуючого обладнання.
Стадія розробки продукту стартапу	На даний момент створено прототип продукту (MVP), що проходить етап тестування в лабораторних умовах.
Технічні характеристики	Платформа: NVIDIA Jetson Nano 4GB. Алгоритм: YOLOv8 із оптимізацією ONNX. Камера: Raspberry Pi v2 Noir із роздільною здатністю 8 МП. Продуктивність: до 30 кадрів/сек.
Супровід продукту	Регулярні оновлення алгоритмів розпізнавання. Цілодобова технічна підтримка. Гарантія на обладнання – 12 місяців.

Продовження таблиці 5.1

Забезпечення стартап-проєкту	
Необхідні ресурси	Для реалізації стартапу необхідні такі ресурси: Обладнання: NVIDIA Jetson Nano (10,000 ₺), камера Raspberry Pi (1,300 ₺). Електронні компоненти: серводвигуни SG90, контролер PCA9685, макетна плата. Людські ресурси: команда із 5 спеціалістів.
Потреба в інвестиціях	Загальна вартість проєкту на першому етапі становить 9,825 USD, з яких: 206 800 ₺ – розробка MVP. 103 400 ₺ – тестування. 96 100 ₺ – маркетинг і підтримка.
Інтелектуальна власність	Алгоритм нейронної мережі YOLOv8 налаштований для роботи на NVIDIA Jetson Nano. Всі модифікації коду та дизайну належать стартапу. Планується патентування специфічних інтеграційних рішень.
Результати стартап-проєкту	
Термін реалізації стартап-проєкту	Реалізація MVP – 6 місяців: Розробка: 3 місяці. Тестування: 2 місяці. Підготовка до запуску: 1 місяць.
Плановані кількісні показники стартап-проєкту	Кількість інтеграцій протягом першого року: 50 систем. Щомісячна підписка: 2068 ₺ із 100 клієнтів. Річний дохід: 2 481 500 ₺.
Якісні показники стартап-проєкту	Зниження залежності від людського фактора. Підвищення швидкості реагування на загрози. Висока точність розпізнавання (>90%).
Загальні очікувані результати	Проєкт IntelliSafe Vision пропонує автоматизоване, енергоефективне рішення, яке підвищує безпеку в громадських та приватних просторах. Успішне впровадження технології забезпечить фінансову стійкість стартапу, розширення ринку і позитивний соціальний вплив.

На основі інформаційної карти проєкту IntelliSafe Vision можна зробити висновки, що запропонована система має високий потенціал для впровадження завдяки використанню сучасних технологій штучного інтелекту та оптимізованого апаратного забезпечення. Чітко визначені цілі та завдання проєкту свідчать про системний підхід до вирішення проблеми автоматизованого моніторингу безпеки. Проєкт орієнтований на широкий

спектр цільових аудиторій, включаючи бізнеси, муніципалітети, громадські установи та індустріальні підприємства. Передбачувані технічні характеристики та енергоефективність системи дозволяють знизити витрати на експлуатацію, що є конкурентною перевагою. Завдяки чітко спланованим етапам реалізації, проєкт здатен швидко вийти на ринок із готовим рішенням.

Було вирішено використати метод формування «морфологічної карти» щодо конструювання модуля, карту представлено у таблиці 5.2 нижче.

Таблиця 5.2 - Морфологічна карта проєкту

Характеристика	Jetson Nano 4GB	Jetson Nano 2GB	NVIDIA Inference	Raspberr y Pi 4 Model B	Raspberr y Pi 3 Model B+
Продуктивність	Висока (128 CUDA ядер)	Середня (128 CUDA ядер, обмежена пам'ять)	Дуже висока (512 CUDA ядер, прискорена мережа TensorRT)	Середня (4 ядра Cortex-A72)	Середня (4 ядра Cortex-A53)
Пам'ять	4 ГБ LPDDR5	2 ГБ LPDDR5	8 ГБ LPDDR5X	1/2/5/8 ГБ LPDDR5	1 ГБ LPDDR2
Енергоспоживання	5-10 Вт	5-10 Вт	20-25 Вт	3-7 Вт	3-5 Вт
Підтримка алгоритмів	YOLOv8, TensorFlow, PyTorch	YOLOv8 (обмеження через пам'ять), TensorFlow	YOLOv8, TensorFlow, PyTorch, ONNX	TensorFlow, OpenCV	OpenCV, базова підтримка TensorFlow
Розміри	100x80 мм	100x80 мм	110x90 мм	85.6x56.5 мм	85.6x56.5 мм
Сумісність	Легко інтегрується з Raspberry Pi Та іншими ситемами (GPIO)	Легко інтегрується з Raspberry Pi Та іншими ситемами (GPIO), але вимагає оптимізації	Легко інтегрується з високопродуктивними ситемами	Висока для простих проєктів	Висока для базових застосувань
Ціна (€)	10,000	6,000	25,000	4,000-8,000	3,000-5,000

Розширення морфологічної карти демонструє можливості використання різних платформ для реалізації проєкту **IntelliSafe Vision. Raspberry Pi 4**



**Model B** пропонує хорошу продуктивність за нижчою ціною, але її обчислювальна потужність обмежує можливість ефективного використання складних алгоритмів, таких як **YOLOv8**. **Raspberry Pi 3 Model B+** є ще більш бюджетним варіантом, однак його потужності недостатньо для виконання завдань, пов'язаних із реальним часом та складними відеоаналітичними задачами.

У порівнянні з цими платформами, **Jetson Nano 4GB** забезпечує оптимальне співвідношення продуктивності, енергоефективності та вартості. Вибір цієї платформи для розробки дозволяє створити прототип із перспективою його вдосконалення. **NVIDIA Inference**, яка має найвищу продуктивність серед розглянутих рішень, є ідеальним варіантом для масштабування, але її висока ціна обмежує можливість використання на етапі MVP.

Таким чином, для початкової розробки **IntelliSafe Vision** обрано **Jetson Nano 4GB**, що дозволяє збалансувати витрати та функціональність. У майбутньому, із залученням додаткових інвестицій, можливо перейти на **NVIDIA Inference**, що забезпечить підвищення продуктивності системи та розширення її можливостей.

Для більш ретельного розгортання концепції стартап-проєкту, ми визначилися зі створенням таблиці, в якій визначено сфери застосування та вигоди від використання модулю для кінцевого користувача (див. Таблицю 5.3).

Таблиця 5.3 - Опис ідеї стартап-проєкту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
<b>IntelliSafe Vision – автоматизована система моніторингу безпеки на основі нейронної мережі YOLOv8.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Громадські простори.</li> <li>- Бізнес-об'єкти.</li> <li>- Транспорт.</li> <li>- Індустрія: контроль виробництва та якості продукції.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Швидке виявлення загроз і аномалій.</li> <li>- Зниження витрат на персонал.</li> <li>- Підвищення ефективності моніторингу.</li> </ul>

Продовження таблиці 5.3

<b>Використання Jetson Nano 5GB для обробки відеопотоків у реальному часі.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Інтеграція з системами відеоспостереження.</li> <li>- Виявлення підозрілих об'єктів.</li> <li>- Аналіз поведінки натовпу.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Мінімальні витрати на модернізацію.</li> <li>- Використання існуючих камер.</li> <li>- Легка інтеграція в існуючі системи.</li> </ul>
<b>Модуль із перспективою масштабування до NVIDIA Inference для збільшення продуктивності.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Великі інфраструктурні об'єкти</li> <li>- Заводи та промислові підприємства.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Можливість роботи з великими обсягами даних.</li> <li>- Розширення функціоналу під потреби конкретного замовника.</li> </ul>

Відповідно до таблиці 5.3, система IntelliSafe Vision є багатофункціональною і універсальною, що дозволяє її застосовувати в різних галузях, таких як громадська безпека, транспортна інфраструктура, бізнес-об'єкти та індустриальні підприємства. Завдяки використанню апаратної платформи Jetson Nano 5GB, система забезпечує автоматизовану обробку відеопотоків у реальному часі з високою точністю, дозволяючи оперативно реагувати на потенційні загрози.

Однією з ключових переваг системи є її легка інтеграція з існуючими системами відеоспостереження, що значно знижує витрати на модернізацію. Це робить її привабливою для бізнесів, які прагнуть зменшити витрати на охорону без погіршення рівня безпеки. Крім того, енергоефективність рішення сприяє зниженню операційних витрат, що є важливим фактором для підприємств і муніципальних об'єктів.

Можливість масштабування до NVIDIA Inference відкриває перспективи для використання IntelliSafe Vision у великих інфраструктурних об'єктах і промислових підприємствах, де обробка великих обсягів даних є критично важливою. Це дозволяє адаптувати систему під конкретні потреби замовника, що збільшує її цінність для користувачів.

Таким чином, IntelliSafe Vision не лише вирішує актуальні проблеми в сфері безпеки, але й надає економічно вигідне, екологічно відповідальне та

гнучке рішення, яке може бути масштабоване для задоволення зростаючих потреб користувачів. Це робить проєкт перспективним для широкого впровадження на різних рівнях.

Для детального потрібно розглянути основні параметри, які визначають їх ефективність, популярність, технічні можливості та релевантність для автоматизованого моніторингу безпеки. Нижче проведемо аналіз основних конкурентів.

## **Аналіз конкурентів IntelliSafe Vision**

### **1. AppDynamics**

Призначення: Комплексний моніторинг інфраструктури, додатків і мереж.

Сильні сторони:

- Підтримка повного стека моніторингу.
- Здатність співвідносити проблеми продуктивності з джерелами.
- Орієнтованість на корпоративний сегмент.

Слабкі сторони:

- Висока вартість впровадження.
- Складність у налаштуванні для малих і середніх компаній.

Релевантність до IntelliSafe Vision:

- Орієнтований на IT-інфраструктуру, а не на відеомоніторинг.
- Непряма конкуренція через відмінність у фокусі.

### **2. Checkmk**

Призначення: Моніторинг інфраструктури із фокусом на простоті та доступності.

Сильні сторони:

- Проста інтеграція.
- Підтримка різних протоколів (SNMP, агентський моніторинг).
- Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс.

Слабкі сторони:

- Обмеження функціоналу для великих мереж.

- Вузька спеціалізація на системному моніторингу.

Релевантність до IntelliSafe Vision:

- Використання для базового моніторингу обладнання, але не підходить для автоматичного аналізу відео.

### **3. Icinga**

Призначення: Рішення для моніторингу мереж, серверів і програм

Сильні сторони:

- Відкрите програмне забезпечення з активною спільнотою.
- Підтримка інтеграцій із системами управління інцидентами.

Слабкі сторони:

- Потрібно більше налаштувань для оптимальної роботи.
- Обмежені можливості в роботі з великими даними.

Релевантність до IntelliSafe Vision:

- Вузький спектр застосування, що не перекриває задач відеомоніторингу.

### **4. SIEM-системи**

Призначення: Інформаційна безпека через аналіз логів та подій.

Сильні сторони:

- Глибокий аналіз інцидентів безпеки.
- Реагування на мережеві та інфраструктурні загрози.

Слабкі сторони:

- Висока вартість для впровадження.
- Фокус на мережевій безпеці, а не на фізичному моніторингу.

Релевантність до IntelliSafe Vision:

- Можлива інтеграція для комплексної системи безпеки, але основний фокус відрізняється.

### **5. Nagios**

Призначення: Моніторинг мережевої інфраструктури, серверів, додатків.

Сильні сторони:

- Велика кількість плагінів для розширення функціональності.
- Простота інтеграції в існуючі інфраструктури. Слабкі сторони:
- Основний акцент на мережевому моніторингу.
- Відсутність можливостей для відеоаналітики.

Релевантність до IntelliSafe Vision:

- Не є прямим конкурентом через різні сфери застосування.

## **6. Zabbix**

Призначення: Моніторинг інфраструктури з відкритим кодом.

Сильні сторони:

- Безкоштовна платформа з високою гнучкістю.
- Підтримка великої кількості інтеграцій.

Слабкі сторони:

- Відсутність інструментів для аналізу відеопотоків.
- Вимагає додаткових налаштувань.

Релевантність до IntelliSafe Vision:

- Застосовується для моніторингу мережі, але не забезпечує відеоаналітик

### **Конкурентний аналіз**

Переваги IntelliSafe Vision над конкурентами:

- Орієнтація на аналіз відеопотоків у реальному часі.
- Використання нейронних мереж (YOLOv8), що забезпечує високу точність.
- Енергоефективність та адаптація до різних об'єктів.
- Можливість масштабування до NVIDIA Inference для збільшення продуктивності.

Недоліки IntelliSafe Vision щодо конкурентів:

- Вузька спеціалізація на відеомоніторингу може обмежувати застосування.

- Складнощі із впровадженням на великих інфраструктурах без масштабування.

Основні конкуренти, представлені на ринку, фокусуються на моніторингу IT-інфраструктури, мережевої безпеки або аналізі логів. IntelliSafe Vision займає унікальну нішу в автоматизованому відеомоніторингу, що робить її перспективним рішенням для громадської, транспортної та корпоративної безпеки. Продукт пропонує високу точність, адаптивність та можливість масштабування, що створює конкурентну перевагу на ринку.

Для більш детального аналізу техніко-економічних властивостей та переваг конкурентів було проведено порівняльний аналіз показників, що наведено в таблиці 5.4 нижче, де W позначають гірші значення, N – аналогічні або нейтральні значення, а S – кращі показники.

Таблиця 5.4 - Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проєкту IntelliSafe Vision

№ п/п	Характеристика	Мій Проєкт	Конкурент 1	Конкурент 2	Конкурент N	W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
1	Наявність відеоаналітики	Наявний	Наявний	Наявний	Відсутній	-	+	-
2	Підтримка реального часу	Наявна	Відсутня	Відсутня	Наявна	-	-	+
3	Інтеграція з існуючими системами	Наявна	Відсутня	Наявна	Наявна	-	+	-
4	Енергоефективність	Наявна	Наявна	Відсутня	Відсутня	-	+	-
5	Масштабованість	Середня	Висока	Низька	Середня	+	-	-
6	Точність аналізу	Висока	Середня	Низька	Висока	-	-	+
7	Ціна обслуговування	Низька	Висока	Низька	Висока	-	-	+

Дана таблиця чітко демонструє, що **IntelliSafe Vision** має конкурентні переваги за такими ключовими характеристиками, як відеоаналітика, точність

аналізу, підтримка реального часу та низька вартість обслуговування. У той же час, система поступається за масштабованістю деяким конкурентам, але це можна компенсувати в майбутньому за рахунок переходу на продуктивніші платформи, такі як NVIDIA Inference.

### **Технологічний аудит ідеї проєкту IntelliSafe Vision**

Для оцінки технологічної здійсненності ідеї проєкту IntelliSafe Vision проведено аналіз основних аспектів реалізації, що наведено в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 - Технологічна здійсненність ідеї проєкту IntelliSafe Vision

<b>№ п/п</b>	<b>Ідея проєкту</b>	<b>Технології її реалізації</b>	<b>Наявність технологій</b>	<b>Доступність технологій</b>
1	Автоматизоване розпізнавання об'єктів у відеопотоці	Використання нейронної мережі YOLOv8 для аналізу відео в реальному часі	Наявні	У відкритому доступі
2	Інтеграція з існуючими системами відеоспостереження	Підтримка RTSP для взаємодії з камерами	Наявні	Доступно
3	Енергоефективне обчислення	Застосування NVIDIA Jetson Nano 5GB для локальної обробки відеопотоку	Наявні	Доступно
4	Точність і швидкість аналізу	Використання оптимізованої моделі YOLOv8 із підтримкою TensorRT	Наявні	У відкритому доступі
5	Масштабування системи	Перехід на NVIDIA Inference для забезпечення високопродуктивної обробки великих потоків	Наявні	Доступно
6	Розробка програмного забезпечення	Розробка інтерфейсу користувача для віддаленого моніторингу та управління	Наявні	У відкритому доступі

Результати технологічного аудиту свідчать, що реалізація проєкту IntelliSafe Vision є технологічно здійсненою. Всі необхідні технології, включаючи обчислювальну платформу NVIDIA Jetson Nano, нейронну мережу YOLOv8, і протокол RTSP, доступні для використання. Програмне забезпечення та середовище розробки також знаходяться у відкритому доступі, що знижує витрати на розробку та забезпечує можливість масштабування.

Перехід на NVIDIA Inference дозволить значно підвищити продуктивність системи у майбутньому. Завдяки доступності компонентів і технологій, IntelliSafe Vision має високий потенціал для впровадження як на локальних, так і на масштабних об'єктах.

## 5.2. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту

Для оцінки перспектив впровадження проєкту IntelliSafe Vision на ринок, проведемо аналіз його попиту, виявимо потенційні можливості та загрози, а також визначимо ключові сегменти клієнтів. Основний акцент зроблено на успішний запуск проєкту в Україні із подальшим масштабуванням на міжнародний ринок.

Аналіз розпочинається з оцінки стану ринку, враховуючи динаміку розвитку, попит і можливі обмеження для входу. Дані наведені в таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 - Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проєкту IntelliSafe Vision

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	5
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	12 000 000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Стабільний ріст
4	Наявність обмежень для входу	Висока конкуренція, захищені патенти
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Необхідність сертифікації відповідно до стандартів безпеки, ефективності.



Продовження таблиці 5.6

6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	15,2 %
---	---	--------

Аналіз стану ринку демонструє, що галузь автоматизованих систем безпеки знаходиться на стадії активного розвитку зі стабільним зростанням попиту. Середня норма рентабельності в 15,2% свідчить про високу економічну доцільність входу в цю сферу. Основними бар'єрами для входу є конкуренція з існуючими гравцями, більшість із яких є міжнародними компаніями, а також необхідність сертифікації продукту відповідно до вимог галузевих стандартів.

Запуск IntelliSafe Vision дозволяє скористатися перевагами локальної розробки, такими як гнучкість у налаштуванні під клієнтів і адаптація до регіональних стандартів. Унікальні технічні характеристики проєкту, включаючи точність розпізнавання і енергоефективність, створюють конкурентну перевагу на ринку.

Для подальшої оцінки можливостей і сегментації ринку наведено аналіз потенційних клієнтів і формування вимог до продукту (таблиця 5.7).

Таблиця 5.7 - Аналіз сегментації потенційних клієнтів та вимог до продукту

Сегмент клієнтів	Характеристики сегменту	Вимоги до продукту
Громадські установи	Школи, лікарні, спортивні арени	Надійність, легкість інтеграції, відповідність стандартам безпеки
Бізнес-сектор	Торгові центри, офіси, готелі	Висока точність, енергоефективність, простота налаштувань
Транспортна інфраструктура	Аеропорти, вокзали, метрополітени	Можливість обробки великих потоків даних, робота в реальному часі
Промислові підприємства	Заводи, логістичні центри	Інтеграція з існуючими системами, довговічність, підтримка високої продуктивності

Проведений аналіз дозволяє визначити, що основними цільовими сегментами клієнтів для IntelliSafe Vision є громадські установи, бізнес-сектор, транспортна інфраструктура та промислові підприємства. Кожен сегмент має свої специфічні вимоги до продукту, які враховано на етапі розробки.

Система IntelliSafe Vision має всі шанси зайняти вигідну позицію на ринку завдяки високій точності аналізу, можливості інтеграції з існуючими системами та конкурентній вартості. Це забезпечує перспективи успішного запуску проєкту як в Україні, так і на міжнародному ринку.

### **Аналіз потенційних викликів та можливостей для стартап-проєкту IntelliSafe Vision**

Для реалізації проєкту IntelliSafe Vision проведено аналіз потенційних викликів і можливостей, що можуть виникнути на етапі впровадження. У таблиці 5.8 представлені основні загрози, їхній зміст та можливі способи реагування, а в таблиці 5.9 розглянуто перспективні можливості для розвитку проєкту.

Таблиця 5.8 - Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Неоптимальна інтеграція з існуючими системами	Можливість недостатньої сумісності з іншими системами відеоспостереження.	Проведення тестів і оптимізація інтеграційного процесу з урахуванням особливостей роботи існуючих систем.
2	Високі витрати на обслуговування	Збільшення витрат на технічну підтримку клієнтів.	Оптимізація процесів обслуговування, впровадження програм для самостійного вирішення незначних проблем.
3	Низька готовність ринку до інновацій	Відмова ринку від нових технологій через недовіру або відсутність інформації.	Проведення інформаційної кампанії, підвищення обізнаності про переваги рішення, співпраця з ключовими гравцями ринку.
5	Обмежений фінансовий бюджет клієнтів	Недостатній бюджет клієнтів для впровадження нових технологій.	Розробка доступних рішень, пропозиція економічно вигідних варіантів із можливістю поступової модернізації.

Найбільшими викликами для IntelliSafe Vision є можливі технічні складнощі з інтеграцією з існуючими системами, високі витрати на обслуговування та потенційна низька готовність ринку до інновацій. Для подолання цих викликів передбачено тестування продукту в реальних умовах, оптимізацію обслуговування та активну інформаційну кампанію для підвищення інтересу до продукту.

Таблиця 5.9 - Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Ефективність вартості	Можливість використання оптимальних за ціною та якістю компонентів.	Розгляд можливості використання більш точних, хоча й дорожчих компонентів для покращення якості продукту.
2	Відсутність аналогів	Відсутність доступних на українському ринку аналогів із подібними характеристиками.	Швидкий запуск виробництва на українському ринку для зайняття лідерської позиції.
3	Простота конструкції	Проста реалізація продукту дозволяє швидко масштабувати виробництво.	Налагодження серійного виробництва та розширення масштабів після успішного запуску MVP.
5	Постійна технологічна підтримка	Забезпечення якісної підтримки клієнтів для підвищення їхньої задоволеності.	Надання постійних консультацій, швидке реагування на запити клієнтів і впровадження вдосконалень на основі відгуків.
5	Розвиток технології	Можливість подальшого покращення програмної та апаратної складової системи.	Проведення досліджень, залучення нових технологій і адаптація продукту до вимог клієнтів для підвищення його конкурентності.

Ключовими можливостями IntelliSafe Vision є відсутність аналогів на локальному ринку, ефективність використання компонентів, простота конструкції та потенціал для подальшого розвитку технології. Ці переваги дозволяють зайняти конкурентну позицію в галузі автоматизованого моніторингу безпеки. Постійна технологічна підтримка й адаптація продукту до змін ринку забезпечать довготривалу конкурентоспроможність проєкту.

Реалізація зазначених можливостей сприятиме успішному впровадженню продукту на український ринок із перспективою подальшого виходу на

міжнародні ринки.

## **Аналіз конкурентного середовища для стартап-проекту IntelliSafe Vision**

Для оцінки конкурентного середовища на ринку систем автоматизованого моніторингу безпеки проведено ступеневий аналіз. У таблиці 5.10 відображено ключові особливості конкурентного середовища, їхній вплив на діяльність підприємства та можливі стратегії реагування.

Таблиця 5.10 - Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

<b>№</b>	<b>Особливості конкурентного середовища</b>	<b>В чому проявляється дана характеристика</b>	<b>Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)</b>
1	Тип конкуренції: олігополія	Невелика кількість великих компаній, які через посередників домінують на ринку України.	Розвиток локального українського виробництва для зниження витрат і здобуття частки ринку.
2	Рівень конкурентної боротьби: національний	Бар'єри для входу нових гравців на ринок, високі стандарти.	Співпраця з ключовими гравцями, підвищення стандартів якості та інноваційність продукту.
3	Галузева ознака: внутрішньогалузева	Змагання між компаніями в сегменті автоматизованих систем безпеки.	Постійне вдосконалення технологій та покращення характеристик продукту.
4	Конкуренція за видами товарів: товарно-видова	Наявність аналогічних рішень від інших компаній.	Інвестування в маркетинг, реклама для підвищення впізнаваності продукту.
5	Характер конкурентних переваг: нецінова	Конкуренція на основі якості, точності та функціональності продуктів.	Акцент на якості, точності розпізнавання та енергоефективності продукту.
6	Інтенсивність конкуренції: марочна	Присутність багатьох відомих міжнародних брендів у сфері безпеки.	Розробка унікальної пропозиції для ринку, створення сильного бренду.

Аналіз конкурентного середовища показав, що основними бар'єрами для виходу IntelliSafe Vision на ринок є олігопольна структура, домінування міжнародних компаній і висока інтенсивність конкуренції. Проте, створення локального виробництва та пропозиція унікального продукту з акцентом на

якість і адаптивність відкривають значні можливості для успішного впровадження стартапу.

Налагодження локального виробництва з використанням інноваційних технологій дозволить ефективно конкурувати з іноземними брендами, пропонуючи більш гнучкі та економічно вигідні рішення.

### **Аналіз умов конкуренції за моделлю Портера**

Для детальнішої оцінки конкурентного середовища проведено аналіз умов конкуренції за Портером. Результати наведені у таблиці 5.11.

Таблиця 5.11 - Конкуренція за моделлю Портера

<b>Сила впливу</b>	<b>Прояв</b>	<b>Оцінка впливу</b>	<b>Можлива стратегія реагування</b>
Загроза нових гравців	Високі витрати на вхід, необхідність відповідати стандартам.	Середня	Співпраця з локальними партнерами для зниження витрат на входження.
Загроза заміників	Наявність альтернативних технологій для безпеки.	Середня	Розробка унікальних функцій, таких як енергоефективність і підтримка реального часу.
Вплив постачальників	Залежність від міжнародних постачальників апаратного забезпечення.	Високий	Розгляд альтернативних постачальників, локалізація компонентів.
Вплив покупців	Вимогливість до ціни, якості, інновацій.	Високий	Пропозиція гнучкої ціни, маркетингові кампанії для підвищення лояльності.
Конкуренція всередині галузі	Багато сильних міжнародних гравців.	Високий	Розвиток бренду, акцент на якості продукту, активна рекламна кампанія.

Результати аналізу за моделлю Портера підтверджують необхідність акценту на інноваційності продукту, його адаптивності до локального ринку та високій якості. Стратегія стартапу повинна включати активну роботу над маркетингом і формуванням сильного бренду для успішного виходу на український і міжнародний ринки.

### **Обґрунтування факторів конкурентоспроможності IntelliSafe Vision**

Для визначення конкурентоспроможності проекту IntelliSafe Vision були сформовані ключові фактори, що впливають на його привабливість на ринку. Аналіз факторів наведений у таблиці 5.12.

Таблиця 5.12 - Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (чинники, що роблять фактор значущим)
1	Точність і надійність аналізу	Висока точність та надійність роботи нейронної мережі YOLOv8 дозволяє вчасно ідентифікувати об'єкти та забезпечувати стабільну роботу системи моніторингу безпеки.
2	Масштабованість системи	Система підтримує масштабування від невеликих офісів до великих об'єктів, таких як аеропорти або виробничі підприємства, що забезпечує її універсальність.
3	Енергоефективність	Використання апаратної платформи NVIDIA Jetson Nano забезпечує низьке споживання енергії, що є важливим для зниження експлуатаційних витрат.
4	Гнучкість інтеграції з існуючими системами	Підтримка стандартних протоколів (наприклад, RTSP) дозволяє інтегрувати IntelliSafe Vision з існуючими системами відеоспостереження без необхідності значних змін у їхній конфігурації.
5	Регулярні оновлення програмного забезпечення	Постійне оновлення забезпечує підтримку нових функцій, виправлення недоліків і оптимізацію роботи системи, що гарантує її актуальність протягом тривалого часу.

### Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін IntelliSafe Vision

Для оцінки конкурентних переваг IntelliSafe Vision у порівнянні з існуючими рішеннями проведено порівняльний аналіз (таблиця 5.13).

Таблиця 5.13 - Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з IntelliSafe Vision						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Точність і надійність вимірювань	18							+
2	Масштабованість системи	16						+	
3	Енергоефективність	12				+			
4	Гнучкість інтеграції з існуючими системами	17						+	
5	Регулярні оновлення програмного забезпечення	14					+		

Порівняльний аналіз показав, що IntelliSafe Vision має значні переваги завдяки високій точності аналізу, масштабованості, енергоефективності, гнучкості інтеграції та регулярним оновленням програмного забезпечення. Ці фактори забезпечують конкурентну перевагу продукту над іншими рішеннями в галузі.

### **SWOT-аналіз IntelliSafe Vision**

Для узагальнення результатів проведено SWOT-аналіз, який дозволяє виділити сильні та слабкі сторони, а також можливості та загрози для реалізації проєкту **IntelliSafe Vision**.

Серед сильних сторін **IntelliSafe Vision** варто виділити високу точність і надійність аналізу, що досягається завдяки використанню сучасної нейронної мережі YOLOv8. Енергоефективність платформи NVIDIA Jetson Nano дозволяє знизити витрати на експлуатацію, що є важливим для клієнтів. Гнучкість інтеграції з існуючими системами відеоспостереження завдяки підтримці стандартних протоколів (наприклад, RTSP) спрощує впровадження продукту. Крім того, система підтримує масштабованість, що дозволяє адаптувати її для об'єктів різного масштабу — від офісів до великих інфраструктур. Регулярні оновлення програмного забезпечення забезпечують тривалу актуальність продукту.

Слабкими сторонами є потреба у додаткових інвестиціях для масштабування системи, особливо для великих об'єктів, і можливі технічні труднощі з інтеграцією в складні системи, які потребують точного налаштування.

Проєкт також має значні можливості. Вихід на міжнародний ринок є перспективним завдяки відсутності аналогів, які б могли поєднувати точність, енергоефективність і гнучкість. Використання потужнішої платформи, як-от NVIDIA Inference, у майбутньому дозволить значно розширити функціонал системи. Якісна підтримка клієнтів і реагування на їхні потреби сприятимуть формуванню лояльності та підвищенню довіри до продукту.

Серед загроз для проєкту основними є висока конкуренція з міжнародними брендами, які вже зайняли значну частку ринку, а також ризик низької готовності ринку до впровадження інноваційних технологій. Це може вплинути на швидкість адаптації продукту.

Таблиця 5.14 - SWOT-аналіз для проєкту IntelliSafe Vision

<b>Сильні сторони:</b>	<b>Слабкі сторони:</b>
1. Висока точність і надійність аналізу, досягнута завдяки використанню YOLOv8.	1. Висока конкуренція на ринку систем відеомоніторингу та автоматизованого аналізу.
2. Масштабованість системи для різних об'єктів — від офісів до великих інфраструктур.	2. Недовіра покупців до нових продуктів через відсутність відомого бренду.
3. Енергоефективність завдяки використанню NVIDIA Jetson Nano.	3. Залежність від стабільності поставок електронних компонентів та зовнішніх баз даних.
4. Гнучкість інтеграції з існуючими системами через підтримку стандартних протоколів (RTSP).	
5. Регулярні оновлення програмного забезпечення, що забезпечують актуальність продукту.	
<b>Можливості:</b>	<b>Загрози:</b>
1. Підвищення точності аналізу за рахунок впровадження нових технологій, таких як NVIDIA Inference.	1. Можливість недостатньої точності роботи системи в складних сценаріях.
2. Розширення виробництва для задоволення попиту на ринку безпеки.	2. Зростання чутливості покупців до вартості обслуговування та підтримки системи.
3. Збільшення якості обслуговування через постійну технічну підтримку та модернізацію продукту.	3. Втрата конкурентних переваг через швидкий розвиток ринку та зростання числа гравців.
	4. Тиск із боку сильних міжнародних конкурентів, які вже домінують у галузі.



**IntelliSafe Vision** має значний потенціал для успішного впровадження на ринку завдяки своїм сильним сторонам, зокрема високій точності, енергоефективності, масштабованості та гнучкості інтеграції з існуючими системами. Ці переваги дають змогу адаптувати систему до різних потреб клієнтів і підтримувати конкурентоспроможність продукту.

Разом із цим виявлені слабкі сторони, такі як залежність від стабільності поставок компонентів і довіра до нових продуктів, потребують активної роботи з клієнтами, партнерськими компаніями та постачальниками.

Можливості для розвитку включають впровадження нових технологій, масштабування виробництва та поліпшення сервісу. Водночас слід враховувати загрози, такі як конкуренція з боку міжнародних брендів, вимоги покупців до вартості обслуговування та можливі технічні обмеження.

Загалом, стратегічне планування та адаптація до потреб ринку дозволять **IntelliSafe Vision** ефективно конкурувати на українському та міжнародно

Таблиця 5.15 - Альтернативи ринкового впровадження стартап-проєкту  
IntelliSafe Vision

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Вдосконалення точності та підвищення надійності відеоаналітики.	Доступні ресурси, спрямовані на інтеграцію сучасних технологій.	3 місяці
2	Розширення функціоналу та можливостей системи	Надасть вагомим конкурентні переваги та задовольнить потреби ринку.	4-5 місяці
3	Активна маркетингова кампанія та розвиток стратегічних партнерств.	Стане ключовим фактором для зростання популярності продукту.	2 місяці

На основі аналізу конкурентного середовища та внутрішніх можливостей проєкту **IntelliSafe Vision** були розроблені три основні альтернативи для виходу на ринок. Кожна із запропонованих стратегій спрямована на вирішення конкретних завдань та підвищення ефективності впровадження продукту.

**Підвищення точності та надійності системи відеоаналітики** дозволить зміцнити позиції проєкту серед конкурентів. Це включає впровадження новітніх алгоритмів та тестування системи на складних сценаріях, що забезпечить клієнтам стабільність роботи та відповідність їхнім очікуванням.

**Розширення функціоналу** орієнтоване на створення універсального рішення, яке задовольнить потреби клієнтів у різних галузях. Це може включати додавання нових модулів, інтеграцію зі штучним інтелектом для передбачення інцидентів або розширення аналітичних можливостей.

**Інтенсивна маркетингова кампанія** є важливим кроком для формування довіри до нового продукту. Активна взаємодія з потенційними клієнтами через презентації, виставки та онлайн-кампанії дозволить не лише підвищити впізнаваність бренду, але й забезпечити довгострокову лояльність клієнтів.

### 5.3. Розроблення ринкової стратегії проєкту

Для створення ефективної ринкової стратегії для стартап-проєкту **IntelliSafe Vision**, спочатку визначено основні цільові групи потенційних споживачів та проведено їх аналіз. Цільова аудиторія охоплює підприємства та організації, які потребують сучасних систем відеомоніторингу й аналізу безпеки. Основна характеристика цільової групи — необхідність у надійних, точних, масштабованих рішеннях із низькими витратами на обслуговування.

Таблиця 5.16 - Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах сегменту	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу в сегмент
1	ІТ-компанії та дата-центри	Висока готовність до впровадження інноваційних рішень.	Високий	Висока	Складна, але перспективна
2	Технічні підприємства	Потребують стабільності для технічних систем.	Середній	Середня	Середня

Продовження таблиці 5.16

3	Бізнес-центри та офісні приміщення	Забезпечення безпечного робочого середовища.	Високий	Середня	Середня
4	Освітні установи	Орієнтація на безпеку навчального середовища.	Середній	Середня	Легкий доступ

Цільові групи охоплюють сегменти з високим потенціалом, такі як дата-центри та офісні приміщення, а також середні — технічні підприємства й освітні установи. Така сегментація дозволяє побудувати універсальну стратегію для виходу на ринок із можливістю адаптації продукту під різні потреби.

**Визначення базової стратегії розвитку**

Зважаючи на проведений аналіз, основною стратегією розвитку для **IntelliSafe Vision** є стратегія концентрованого зростання з фокусом на інноваціях, розширенні функціоналу та активному маркетинговому просуванні.

Таблиця 5.17 - Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проєкту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції	Базова стратегія розвитку
1	Розширення функціоналу системи, розвиток партнерств	Стратегія концентрованого зростання	Точність, енергоефективність, регулярні оновлення ПЗ	Стратегія диференціації за спеціалізованістю та інноваціями

Ця стратегія дозволить зміцнити конкурентні позиції продукту та сформувані чіткі переваги у вибраному сегменті.

**Визначення базової стратегії конкурентної поведінки**

Для успішного виходу на ринок, обрана стратегія конкурентної поведінки передбачає активний пошук нових споживачів, а також часткове залучення клієнтів від конкурентів за рахунок унікальних рішень.

Таблиця 5.18 - Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проєкт "першопроходцем" на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Так	Буде шукати нових клієнтів та частково забирати конкурентів.	Ні, розробка базується на альтернативних інноваційних рішеннях.	Стратегія зайняття конкурентної ніші.

Ця стратегія орієнтована на інноваційність і створення унікального рішення, що дозволить уникнути прямої конкуренції з існуючими продуктами.

### Визначення стратегії позиціонування

Обрана стратегія позиціонування підкреслює високі показники точності, ефективності та надійності системи. Основні асоціації, які формують комплексну позицію проєкту, базуються на цих характеристиках.

Таблиця 5.19 - Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції стартап-проєкту	Вибір асоціацій (три ключові)
1	Надійний та точний моніторинг безпеки.	Стратегія лідерства по витратах	Точність, ефективність, простота інтеграції.	Точність. Надійність. Ефективність.

Проєкт **IntelliSafe Vision** орієнтований на масштабування та адаптацію до потреб різних цільових груп, зокрема ІТ-компаній, бізнес-центрів і освітніх установ. Обрана стратегія диференціації та концентрації на інноваціях дозволяє підкреслити конкурентні переваги продукту. Завдяки комплексному підходу до ринкової поведінки та позиціонування, проєкт має високі перспективи зайняти конкурентну нішу та зміцнити позиції на ринку систем відеомоніторингу.

#### 5.4. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Для розробки ефективної маркетингової програми стартап-проекту **IntelliSafe Vision** сформульовано концепцію продукту, яка враховує вигоди для споживачів, конкурентні переваги та специфіку ринку. На основі цього узагальнено ключові переваги товару, що представлені у таблиці 5.20.

Таблиця 5.20 - Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
1	Точність виявлення небезпек	Забезпечення точного моніторингу	Висока точність ідентифікації загроз завдяки YOLOv8
2	Швидкість реагування на загрозу	Оперативне подання сигналу про небезпеку	Миттєве сповіщення про аномалії
3	Інтеграція з існуючими системами моніторингу	Використання разом із уже встановленими системами	Сумісність із сучасними протоколами RTSP та ONVIF

Визначені переваги підкреслюють точність, швидкість і гнучкість продукту, що робить його конкурентоспроможним у сфері систем безпеки.

#### Трирівнева модель товару

На основі маркетингового аналізу складено трирівневу модель товару, що детально описує основну концепцію, властивості продукту та додаткові послуги.

Таблиця 5.21 - Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Автоматизована система відеомоніторингу та аналізу безпеки для офісних приміщень <b>IntelliSafe Vision</b> , яка забезпечує високу точність виявлення загроз.		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Довговічність (немає строку давності)	Нм	Тх
	2. Висока інтерактивність	М	Тх
	3. Підтримка роботи з різними форматами відео та даних	Нм	Тл
	4. Хмарне зберігання даних	Нм	Ор
	5. Автоматизація сортування та управління загрозами	Нм	Е
	Якість: відповідає стандартам ISO/IEC 25010:2011 (функціональність) та ISO/IEC 27001:2022 (інформаційна безпека).		
	Пакування: Система надається у цифровому форматі із доступом до відео-інструкцій, документації та підтримки через веб-ресурс.		
Марка: IntelliSafe Vision			

### Продовження таблиці 5.21

III. Товар із підкріпленням	До продажу: демонстрація можливостей продукту, технічна консультація.
	Після продажу: регулярні оновлення програмного забезпечення, технічна підтримка 24/7, додавання нових функцій на основі зворотного зв'язку від клієнтів.

Ця модель акцентує увагу на зручності використання, високій якості та надійності системи, що є ключовими факторами успіху на ринку.

### Визначення цінових меж

Для визначення оптимальної ціни на продукт проаналізовано ринок товарів-замінників та доходи цільової аудиторії. Результати аналізу подано в таблиці 5.22.

Таблиця 5.22 - Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	Від 5000 до 40000 грн	Відсутні	Від 15000 грн і вище	Від 10000 до 60000 грн

Цінова стратегія базується на доступності для споживачів із середнім та високим рівнем доходу, забезпечуючи оптимальне співвідношення ціни та якості.

### Формування системи збуту

Для забезпечення успішного впровадження на ринок розроблено систему збуту, яка враховує особливості клієнтів і функції постачальника.

Таблиця 5.23 - Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	IT-компанії, дата-центри, адміністратори серверних кімнат	Технічна підтримка, налаштування, навчання користувачів	Ринок України	Продажі через веб-сайт та прямі поставки

Система збуту орієнтована на прямі продажі через веб-сайт із додатковим наданням послуг із налаштування та підтримки продукту.

### Концепція маркетингових комунікацій

Останнім етапом розробки маркетингової програми стало формування комунікаційної стратегії для ефективного донесення переваг продукту до цільової аудиторії.

Таблиця 5.24 - Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Пошук сучасної системи безпеки, яка відповідає вимогам щодо зручності та дистанційного моніторингу.	Спеціалізовані веб-сайти, конференції, презентації	Інноваційна автоматизована система безпеки IntelliSafe Vision.	Розкриття переваг, підкреслення ефективності та зручності системи.	Наголос на технологічності, точності та зручності.

Маркетингова програма **IntelliSafe Vision** акцентує увагу на точності, ефективності та гнучкості інтеграції продукту. Збалансована цінова стратегія, ефективна система збуту та продумана комунікаційна концепція забезпечують конкурентоспроможність продукту, а також його успішне впровадження на ринок.

### 5.5. Організація реалізації стартап-проєкту

Під час формування стратегії реалізації стартап-проєкту **IntelliSafe Vision** визначено, що основною метою є створення надійної, масштабованої та інтегрованої системи відеомоніторингу. Для ефективної реалізації стартапу розроблено календарний план, зібрано команду фахівців та проведено попередній розрахунок витрат.

Одним із ключових аспектів є комунікація з цільовими клієнтами через спеціалізовані веб-сайти, участь у конференціях та презентаціях, які

підкреслюють унікальність системи. Основні акценти зосереджені на точності, надійності та можливості інтеграції системи.

Таблиця 5.25 - Команда стартап-проєкту

Учасник команди	Посада	Завдання, що необхідно виконати
Інженер-розробник	Керівник розробки	Розробка прототипу системи IntelliSafe Vision, забезпечення повної функціональності.
Архітектор програмного забезпечення	Головний програміст	Розробка високоефективного програмного забезпечення з підтримкою сучасних алгоритмів машинного навчання (YOLOv8).
Менеджер проєкту	Керівник проєкту	Координація роботи команди, вирішення організаційних питань, забезпечення дотримання строків і бюджету.
Інженер з інтеграції систем	Спеціаліст з інтеграції	Забезпечення сумісності IntelliSafe Vision з існуючими системами управління безпекою.
Експерт маркетингу	Спеціаліст з аналізу ринку	Проведення аналізу ринку, визначення цільової аудиторії, розробка стратегії маркетингу та залучення клієнтів.

Таблиця 5.26 - Календарний план реалізації проєкту

№ п/п	Зміст етапу													Собівартість реалізації, грн	
		1	2	3	5	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	Аналіз ринку та визначення вимог	■													0
2	Розробка концепції ідеї проєкту		■												18500
3	Створення технічного завдання та конструкції		■	■	■										29600
4	Розробка електричних схем, виготовлення прототипу					■	■	■							44400
5	Розробка та вдосконалення програмного забезпечення							■							55500
6	Тестування та виправлення недоліків								■						11100
7	Пошук і залучення інвестицій									■					37000
8	Запуск виробництва										■	■	■		555000
9	Масштабна рекламна кампанія, старт продажів												■		111000
													Сума	861100	



Вартість реалізації проекту оцінюється у приблизно 865 тис. грн, що відповідає визначеному ціновому діапазону.

Таблиця 5.27 - Витрати на виробництво

№ п/п	Витрати	Тип	Терміни постачання/виконання	Вартість, грн
1	NVIDIA Jetson Nano	---	7 днів	4440
2	Камера Raspberry Pi v2 Noir	---	5 днів	1850
3	Контролер PCA9685	---	5 днів	555
4	Сервоприводи SG90	---	7 днів	370
5	Хмарне сховище (щорічна ліцензія)	---	1 день	3700
6	Проводи, макетні плати, розхідні матеріали	---	5 днів	925
<b>Сума</b>				<b>11840</b>

Задля старту виробництва одного модуля системи IntelliSafe Vision необхідно **11840 грн**. Початковий капітал у розмірі **80 000 грн** покриває витрати першого етапу виробництва, а додаткове фінансування планується залучити через інвестиційні платформи, такі як **Kickstarter**.

Залучення клієнтів буде забезпечено через презентації на конференціях, рекламні кампанії та демонстрації можливостей продукту. Інноваційна концепція та комплексний підхід до реалізації забезпечують конкурентоспроможність проекту.

У п'ятому розділі було здійснено комплексне дослідження, що охопило техніко-економічні, екологічні, організаційні та маркетингові аспекти реалізації стартап-проекту IntelliSafe Vision. Основна мета проекту полягає у створенні інтелектуальної системи відеомоніторингу, яка забезпечить високу точність виявлення загроз, інтеграцію з існуючими системами безпеки, автоматизацію аналітичних процесів та хмарне зберігання даних.

Економічна оцінка продемонструвала, що загальна вартість реалізації проекту складає 861,100 грн, що охоплює всі етапи – від аналізу ринку до

запуску виробництва та продажів. Собівартість виробництва одного модуля оцінена у 11,840 грн, що дозволяє підтримувати конкурентну ціну для кінцевих споживачів. Планується залучення інвестицій через платформи, такі як Kickstarter, а також участь у спеціалізованих галузевих виставках для демонстрації переваг системи.

У ході аналізу було визначено цільові групи споживачів, серед яких ІТ-компанії, дата-центри, технічні підприємства та освітні установи. Для забезпечення конкурентоспроможності на ринку було проведено SWOT-аналіз, який підкреслив сильні сторони продукту, серед яких висока точність, енергоефективність та гнучкість інтеграції з іншими системами. Розроблені стратегії розвитку та конкурентної поведінки акцентують увагу на інноваційності продукту та адаптації до ринкових умов.

Організаційна структура реалізації проєкту включає команду з п'яти ключових спеціалістів, кожен із яких виконує чітко визначені завдання. Також було створено детальний календарний план, що охоплює всі етапи розробки, тестування, пошуку інвестицій, запуску виробництва та масштабних рекламних кампаній. Цей план забезпечує контроль над процесом реалізації та дозволяє вчасно реагувати на виклики.

У рамках екологічної оцінки було враховано аспекти енергоспоживання системи та можливість використання екологічно чистих компонентів. Такий підхід відповідає сучасним тенденціям сталого розвитку і забезпечує мінімізацію негативного впливу на навколишнє середовище.

Маркетингова програма акцентує увагу на основних перевагах продукту, таких як точність, швидкість реагування, легкість інтеграції з існуючими системами та можливість віддаленого моніторингу. Комунікаційна стратегія включає використання веб-сайтів, конференцій та презентацій для залучення клієнтів і формування довіри до продукту

Таким чином, стартап-проект IntelliSafe Vision є перспективним, економічно вигідним та технологічно обґрунтованим. Інноваційна концепція, високі стандарти виконання та стратегічний підхід до реалізації дозволять забезпечити успішне впровадження продукту на ринку та задовольнити потреби цільових споживачів. Виявлені ризики та загрози можуть бути подолані завдяки стратегічному плануванню та активній роботі з ринком, що створює міцний фундамент для успішного розвитку та експансії проекту.

## ВИСНОВОК

У даній дипломній роботі було розроблено та реалізовано систему автоматизованого розпізнавання та слідування за об'єктами в реальному часі з використанням сучасних методів комп'ютерного зору та керування виконавчими механізмами. Основною метою роботи було створення ефективної та стабільної системи, здатної точно розпізнавати об'єкти, визначати їх положення та здійснювати плавне слідування за ними за допомогою сервоприводів.

Розроблена система автоматизованого розпізнавання та слідування за об'єктами є ефективним рішенням для задач, що вимагають точного та стабільного відстеження об'єктів у реальному часі. Впровадження сучасних методів комп'ютерного зору та алгоритмів керування забезпечило високу продуктивність та точність системи. Проведені експерименти підтвердили її ефективність та визначили напрямки для подальшого вдосконалення.

Система має великий потенціал для застосування в різних галузях, де необхідно автоматизоване розпізнавання та слідування за об'єктами. Подальші дослідження та вдосконалення дозволять підвищити її точність, стабільність та адаптивність, що зробить її ще більш корисною та надійною у практичних застосуваннях.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бенайм, А., & Рой, С. (2023). *Розпізнавання об'єктів у режимі реального часу за допомогою YOLOv8 на вбудованих системах*. Журнал комп'ютерного зору та робототехніки, 15(2), 123-145.
2. Бут, Д., & Сміт, Дж. (2022). *Mastering OpenCV 4: Комп'ютерний зір з Python*. Packt Publishing.
3. Браун, Т., & Девіс, Л. (2021). *PID-регулювання: Теорія, дизайн та налаштування*. Springer.
4. Ultralytics. (2023). *Документація YOLOv8*. Отримано 20 квітня 2024, з <https://docs.ultralytics.com/yolov8>
5. Adafruit Industries. (2023). *Документація бібліотеки Adafruit ServoKit*. Отримано 18 квітня 2024, з <https://learn.adafruit.com/adafruit-circuitpython-servokit>
6. Консорціум OpenCV. (2023). *Документація OpenCV*. Отримано 15 квітня 2024, з <https://docs.opencv.org>
7. NVIDIA Corporation. (2023). *Документація Jetson Nano Developer Kit*. Отримано 10 квітня 2024, з <https://developer.nvidia.com/embedded/jetson-nano-developer-kit>
8. Розробники Simple-PID. (2023). *Документація бібліотеки Simple-PID*. Отримано 12 квітня 2024, з <https://github.com/m-labs/simple-pid>
9. Розробники NumPy. (2023). *Документація NumPy*. Отримано 14 квітня 2024, з <https://numpy.org/doc>
10. Команда GStreamer. (2023). *Документація GStreamer*. Отримано 16 квітня 2024, з <https://gstreamer.freedesktop.org/documentation/>
11. Гудфелоу, І., Бенжіо, Ю., & Кюрвіл, А. (2016). *Глибоке навчання*. MIT Press.
12. Расселл, С., & Норвіг, П. (2021). *Штучний інтелект: Сучасний підхід (4-е вид.)*. Pearson.
13. Хехт-Нільсен, Р. (1990). *Нейронні мережі для розпізнавання образів*. IEEE Press.

14. Саттон, Р. С., & Барто, А. Г. (2018). *Вступ до підкріплювального навчання* (2-е вид.). MIT Press.
15. Тодоров, Е., Ерез, Т., & Тасса, Ю. (2009). *Оптимальне керування з глибоким підкріплювальним навчанням*. Міжнародна конференція з робототехніки та автоматизації (ICRA), 7559-7566.
16. Шмідхубер, Й. (2015). *Глибоке навчання в нейронних мережах: Огляд*. Нейронні мережі, 61, 85-117.
17. Кормушев, П., Ненчев, Д. Н., Калайнон, С., & Калдінг, Д. Г. (2011). *Кінестетичне навчання верхньої частини тіла автономного гуманоїдного робота*. Міжнародна конференція з робототехніки та автоматизації (ICRA), 3970-3975.
18. Хасабіс, Д., Сілвер, Д., & Кавукчоглу, К. (2017). *Оволодіння шахами та Сьогі самообученням за допомогою загального алгоритму підкріплювального навчання*. arXiv препринт arXiv:1712.01815.
19. MIT Technology Review. (2023). *Еволюція комп'ютерного зору в робототехніці*. Отримано 22 квітня 2024, з <https://www.technologyreview.com/2023/04/15/computer-vision-robotics>
20. IEEE. (2022). *Стандарти IEEE для робототехнічних операційних систем*. IEEE Standards Association. Отримано 19 квітня 2024, з <https://standards.ieee.org/robotics>
21. Білек, А. (2020). *Комп'ютерний зір з використанням OpenCV*. Київ: Наукова думка.
22. Дьяків, О. В. (2019). *Основи робототехніки та автоматизації*. Львів: ЛНУ імені Івана Франка.
23. Ковальчук, М. С. (2021). *Програмування для вбудованих систем на Python*. Харків: Харківський національний університет.
24. Соловйов, В. І. (2022). *Глибоке навчання та його застосування в комп'ютерному зорі*. Одеса: Одеський національний університет імені І. І. Мечникова.

25. Ткаченко, І. П. (2023). *Керування сервоприводами: Теорія та практика*. Чернівці: Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича.
26. Ляшенко, О. А. (2021). *Нейронні мережі для обробки зображень*. Дніпро: Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара.
27. Мельниченко, О. І. (2022). *Використання YOLO в робототехніці*. Харків: Харківський національний університет радіоелектроніки.
28. Криворучко, В. Г. (2020). *Комп'ютерний зір та машинне навчання*. Полтава: Полтавський національний технічний університет.
29. Назаренко, А. М. (2019). *Основи оптимізації нейронних мереж*. Житомир: Житомирський державний технологічний університет.
30. Open Neural Network Exchange. (2023). Документація ONNX. Отримано 18 травня 2024, з <https://onnx.ai>
31. Jetson Community. (2023). Підручник для Jetson Nano. Отримано 12 травня 2024, з <https://jetsonhacks.com>
32. Redmon, Дж., & Фархан, А. (2020). Огляд архітектури YOLO. *Журнал комп'ютерного зору*, 12(3), 123–135.
33. Штучний інтелект у сучасних системах безпеки. (2023). Львів: Львівський політехнічний університет.
34. Бойко, А. В. (2021). *Технології розпізнавання об'єктів у реальному часі*. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського.
35. Матеріали конференції "Інтелектуальні системи обробки даних". (2022). Одеса: Одеський національний університет імені І. І. Мечникова.
36. TensorFlow Developers. (2023). Офіційна документація TensorFlow. Отримано 20 травня 2024, з <https://www.tensorflow.org>
37. Додатки OpenCV для комп'ютерного зору. (2022). Харків: Харківський національний університет.
38. Використання нейронних мереж у робототехніці. (2022). Львів: ЛНУ імені Івана Франка.
39. Миколаєнко, В. (2021). *Машинне навчання та його застосування в автоматизації*. Полтава: Полтавський університет економіки і торгівлі.

40. Ковальчук, І. С. (2020). Нейронні мережі у задачах розпізнавання образів. Київ: Наукова думка.
41. PyTorch Documentation. (2023). Документація PyTorch. Отримано 22 травня 2024, з <https://pytorch.org>
42. Пархоменко, А. О. (2020). Застосування глибокого навчання у комп'ютерному зорі. Київ: Інститут кібернетики НАН України.
43. Базові підходи до обробки зображень. (2021). Житомир: Житомирський державний університет.
44. Використання сервоприводів у вбудованих системах. (2023). Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського.
45. Basic Computer Vision Techniques. (2022). Отримано 15 травня 2024, з <https://basiccvtech.com>
46. Експериментальні дослідження з використання YOLOv8. (2023). Одеса: Одеський національний університет.
47. Інтелектуальні алгоритми для системи комп'ютерного зору. (2023). Львів: Львівський політехнічний університет.
48. Використання GStreamer для потокового відео. (2023). Отримано 16 травня 2024, з <https://gstreamer.freedesktop.org/documentation>
49. Шевченко, І. Г. (2022). Основи аналізу даних у машинному навчанні. Київ: Наукова думка.
50. Сучасні підходи до роботи з нейронними мережами. (2023). Харків: Харківський національний університет радіоелектронік
51. Огляд автоматизації процесу сортування сміття оптико-механічним методом / Д. В. Клименко, С. О. Нечай // Погляд у майбутнє приладобудування : збірник праць XIV Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, 18-19 травня 2021р. – К. : ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – с. 196-198.
52. Дослідження ефективності систем стабілізації зображення фотокамер / С.О. Нечай, Т.В. Хильченко // Журнал “Вісник Національного технічного



університету ХПІ” Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. — 2015. — № 22. — с. 35-38.

53. Безвесільна О.М., Котляр С.С., Нечай С.О., Горжий І.В. Методи стабілізації./ Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки, №6, 2021, с.174-180

<http://journals.khnu.km.ua/vestnik/?p=11329>

54. Шляхи зменшення габаритів фотокамер / Є. О. Захаров, С. О. Нечай // Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні : збірник праць XVII Всеукраїнської науково-практичної конференції, 7 - 8 грудня 2021 р. - К. : ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. - с. 140 - 143.

55. Мобільний додаток з використанням міні відеокамери для підвищення ефективності запам'ятовування інформації / О.С. Ярошевська, С. О. Нечай // Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні : збірник праць XVIII Всеукраїнської науково-практичної конференції, 6 - 7 грудня 2022 р. - К. : ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. - с. 142 - 146.

56. Автоматизація керування композицією кадра при зйомках відеокамерою / С. О. Нечай // ПРИЛАДОБУДУВАННЯ: стан і перспективи : збірник тез доповідей XIV науково-технічної конференції, 22-23 квітня 2015 р. - К. : ПБФ, НТУУ “КПІ, 2015. - с. 115 -116.

[https://pbf.kpi.ua/old/arch/scientific/PB/2015/conf\\_PB\\_s4\\_2015.pdf](https://pbf.kpi.ua/old/arch/scientific/PB/2015/conf_PB_s4_2015.pdf)